



Mobilité électrique et énergies renouvelables : Destins croisés pour un avenir durable

Orientations pour les décideurs publics



Mobilité électrique et énergies renouvelables : Destins croisés pour un avenir durable

Orientations pour les décideurs publics

À propos

À propos de l'Avere-France

Depuis 1978, l'Avere-France fédère l'ensemble des acteurs de l'écosystème de la mobilité électrique dans les domaines industriel, commercial, institutionnel et associatif. Elle adresse ainsi la mobilité électrique utilisant des véhicules à batterie, hybrides rechargeables ou pile à combustible, des deux-roues, véhicules légers ainsi que les poids lourds et bus.

La présence, parmi nos 270 adhérents, de constructeurs, d'énergéticiens, d'utilisateurs mais aussi de collectivités territoriales nous permet de disposer d'une expertise sur tous les axes de la chaîne de valeur de l'écosystème, des types d'énergie, et des moyens de mobilité. L'Avere-France est également depuis 2016 le pilote d'Advenir, un programme de financement de points de recharge, de formation et de sensibilisation du grand public.

Contact :

Bassem HAIDAR
Responsable des études et de la prospective
bassem.haidar@avere-france.org
www.avere-france.org



À propos d'Enerplan

Créé en 1983, Enerplan est un syndicat représentatif de la filière solaire en France (chaleur et électricité) et compte des membres sur l'ensemble de la chaîne de création de valeur (industriels, assembleurs, distributeurs, bureaux d'études, développeurs, exploitants, installateurs, énergéticiens, gestionnaires de réseaux, banques et sociétés d'assurance...).

Enerplan rassemble aujourd'hui plus de 300 d'entreprises pour représenter les professionnels du solaire et défendre leurs intérêts. Le syndicat participe également à animer, structurer et développer la filière solaire.

Contact :

Richard LOYEN
Délégué Général
richard.loyen@enerplan.asso.fr
www.enerplan.asso.fr



A propos du Syndicat des Energies Renouvelables

Créé en 1993, le Syndicat des Energies Renouvelables (SER) représente l'ensemble des filières des énergies renouvelables en France. Depuis sa création, il œuvre pour le développement des énergies renouvelables dans notre pays, au bénéfice de la collectivité.

Le SER regroupe, directement ou indirectement, plusieurs milliers d'entreprises, producteurs de ressources (forestiers, agriculteurs), concepteurs, industriels et installateurs, développeurs et exploitants de centrales de production et associations professionnelles spécialisées. Pour chaque filière renouvelable, il fédère donc l'ensemble des acteurs présents sur la chaîne de valeur.

Depuis sa création, son action a permis de faire évoluer le cadre législatif, réglementaire et économique des énergies renouvelables et d'engager ainsi la France dans une trajectoire de transition énergétique.

Contact :

Jérémy SIMON
Délégué général adjoint
contact@enr.fr
www.syndicat-energies-renouvelables.fr



A propos de Wavestone

Wavestone, l'un des tout premiers cabinets de conseil indépendants en France, et Q_PERIOR, l'un des leaders indépendants du conseil sur le marché germanophone (Allemagne – Suisse – Autriche) se sont rapprochés en décembre 2023 pour devenir le partenaire privilégié des transformations majeures.

En s'appuyant sur plus de 5 500 collaborateurs à travers l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Asie, le cabinet dispose d'expertises sectorielles de premier plan complétées par un portefeuille de savoir-faire cross-sectoriels permettant d'adresser à 360° les grands programmes de transformation.

Le secteur de l'Énergie et celui de la Mobilité et des Transports comptent parmi les industries principales sur lesquelles le cabinet est positionné, avec des missions combinant des savoir-faire et des compétences business, technologiques et développement durable.

Wavestone est coté sur Euronext à Paris, et labellisé Great Place to Work®.

Contact :

Clément LEROY

Associé

clement.leroy@wavestone.com

www.wavestone.com

WAVESTONE



An aerial photograph of a road with a grid overlay, tinted in a teal color. The road has white arrows indicating traffic flow. The text "En résumé" is centered on the image.

En résumé

L'électrification croissante du secteur du transport routier en France, marquée par l'arrêt prévu des ventes de véhicules légers à moteur thermique d'ici 2035, a conduit à une augmentation significative du parc de véhicules électriques et hybrides rechargeables. Il est prévu d'atteindre 8,5 millions de véhicules électriques d'ici 2030, avec une perspective de 40 % du parc automobile léger composé de véhicules électriques ou hybrides rechargeables d'ici 2035. Parallèlement, le déploiement des infrastructures de recharge s'accélère, visant entre 330 000 et 480 000 points de recharge publics d'ici 2030. Concernant les énergies renouvelables, **le parc photovoltaïque français a atteint 19 GW fin 2023, avec une prévision ambitieuse de 65 à 90 GW d'ici 2035.** L'éolien terrestre a dépassé les 20 GW, et l'éolien en mer vise 18 GW en 2035. La croissance des marchés du véhicule électrique et des énergies renouvelables est soutenue par un cadre juridique européen, national et régional.

Une étude réalisée en 2021 et menée par l'Avere-France, Enerplan et Wavestone, a examiné les synergies entre l'énergie photovoltaïque et la mobilité électrique, concluant que le couplage était au stade expérimental mais suscitait un intérêt croissant. En 2023, le Syndicat des Energies Re-

nouvelables (SER) a rejoint Avere-France, Enerplan et Wavestone pour une nouvelle étude dont l'objectif est d'actualiser l'état des lieux, en s'appuyant sur des entretiens avec des acteurs clés des secteurs concernés, et de proposer aux pouvoirs publics des idées pour développer ce couplage.

8,5
MILLIONS
DE VÉHICULES
ÉLECTRIQUES
D'ICI 2030

Nous concluons que la décarbonation du transport et le développement des énergies renouvelables ont des destins croisés. Le couplage EnR/IRVE a connu un développement significatif au cours des trois dernières années, passant d'une perception d'innovation à la disponibilité de solutions clés en main sur le marché. Le couplage EnR/IRVE représente une technologie prometteuse qui pourrait se développer exponentiellement avec les bonnes conditions réunies. Cependant, des éléments réglementaires et commerciaux, ainsi que des points de rentabilité, doivent encore être résolus pour faire du couplage physique une réalité commune. Le secteur résidentiel individuel est identifié comme un terrain propice, avec des avantages potentiels tels que l'autoconsommation maximisée et des innovations comme le Vehicle-to-Everything (V2X) ou le stockage stationnaire.

Des recommandations sont formulées pour les pouvoirs publics afin de favoriser le développement de ces synergies entre la mobilité électrique et les énergies renouvelables :

- 1 / Harmoniser les règles de déploiement des EnR et IRVE
- 2 / Développer des incitations financières pour l'installation des sites mixtes et les solutions de recharge innovantes
- 3 / Réfléchir à une évolution des règles du TURPE qui reflète mieux l'impact du couplage EnR/IRVE sur les besoins d'investissement sur le réseau de transport et de distribution
- 4 / Pérenniser les objectifs de la TIRUERT au-delà de 2030, acter son extension à la recharge privée, définir la notion de connexion directe pour son application et la valoriser dans le cadre de l'auto-consommation collective
- 5 / Lancer des campagnes de communication pour le déploiement des solutions couplées EnR/IRVE
- 6 / Mieux informer des contraintes réglementaires EnR et IRVE à venir
- 7 / Développer les expertises techniques pour la filière du couplage
- 8 / Préparer l'évolution des matériels

Mobilité électrique et énergies renouvelables : Destins croisés pour un avenir durable

Orientations pour les décideurs publics

Table des matières

1. Couplage EnR/IRVE : de quoi parle-t-on ?	12
1.1. Plusieurs échelles de couplage existent	12
1.2. Quatre cas d'usage principaux	13
Couplage en maison individuelle	13
Couplage en parking privé pour les établissements recevant du public	14
Couplage en parking privé d'entreprise	14
Couplage sur les aires d'autoroute des bornes de recharge rapide	14
1.3. Pour aller plus loin, le stockage stationnaire et l'autoconsommation	15
1.4. Le pilotage de la recharge des véhicules électriques au service du couplage EnR/IRVE	16
1.5. Le Vehicle-to-X (V2X), une solution d'avenir	17
2. Corpus réglementaire et législatif	19
2.1. L'Union Européenne veut réduire ses émissions de gaz à effet de serre	19
2.2. Des lois récentes en France	20
2.3. Des subventions à l'installation et à l'exploitation	20
Pour les IRVE	20
Pour les installations solaires	21
2.4. La réfaction tarifaire du TURPE allège les coûts d'installation des IRVE	21
2.5. La TIRUERT : levier potentiel, mais à la durée de vie limitée	22
2.6. Si on applique ces lois, règlements et autres incitations financières aux cas d'usage du couplage...	22
Couplage en maison individuelle	22
Couplage en parking privé pour les établissements recevant du public	22
Couplage en parking privé d'entreprise	23
Couplage sur les aires d'autoroute	23

3. Le couplage EnR/IRVE est-il pertinent ?	24
3.1. Le modèle du couplage est encore très peu développé en France	24
3.2. Coupler moyens de production EnR et IRVE est pertinent pour les parties prenantes des deux écosystèmes et pour le système électrique	24
Pertinence pour les parties prenantes EnR et les parties prenantes IRVE	24
Pertinence pour le système électrique	25
4. Qu'est-ce qui freine le développement du couplage ?	26
4.1. Un retour sur investissement incertain	26
Un calcul compliqué	26
Des batteries stationnaires encore trop chères	26
4.2. Le couplage, un impensé réglementaire	27
4.3. Un couplage techniquement complexe	27
5. Préconisations aux pouvoirs publics	29
5.1. Harmoniser les règles de déploiement des EnR et IRVE	29
5.2. Développer des incitations financières pour l'installation des sites mixtes et les solutions de recharge innovantes	30
5.3. Réfléchir à une évolution des règles du TURPE qui reflètent mieux l'impact du couplage EnR/IRVE sur les besoins d'investissement sur le réseau de transport et de distribution	31
5.4. Pérenniser les objectifs de la TIRUERT au-delà de 2030, acter son extension à la recharge privée, définir la notion de connexion directe pour son application et la valoriser dans le cadre de l'autoconsommation collective	32
5.5. Lancer des campagnes de communication pour le déploiement des solutions couplées EnR/IRVE	34
5.6. Mieux informer des contraintes réglementaires EnR et IRVE à venir	34
5.7. Développer les expertises techniques pour la filière du couplage	35
5.8. Préparer l'évolution des matériels	35
6. Conclusion	37
7. Remerciements	38
8. Termes et abréviations	39
9. Annexes	40
9.1. Un panel de solutions pour le couplage PV/IRVE	40
Hypermarché Moulins-Averme	40
Les ombrières photovoltaïques du Pays S.U.U (intercommunalité)	40
Carrefour de Bordeaux-Ferry	40
9.2. Des solutions de recharges intelligentes (V1G et V2G)	41
Projet aVEnir	41
Projet Flexitanie	42
Projet Mobelsol	42
Sweencharge et autoconsommation collective	43
9.3. Des solutions de stockage de l'énergie	43
Projet Lumelec x Eaton	43
Projet DHL Express France x Mob Energy	43



Introduction

Une étude participative et objective

Aujourd'hui, **l'électrification du secteur des transports s'accélère en France avec la fin de la vente des véhicules légers à moteur thermique neufs d'ici 2035**. En France, la barre des 1,5 million de véhicules électriques à batterie et hybrides rechargeables a été dépassée, avec plus de 25 % de part des nouvelles immatriculations fin décembre 2023¹. Les études de RTE prévoient un parc de 8,5 millions de véhicules électriques en 2030². À l'horizon 2035, plus de 40 % du parc automobile léger et plus de 80 % des immatriculations neuves seront composées de véhicules électriques ou hybrides rechargeables. À l'horizon 2050, la trajectoire de référence indique une électrification de 95 % du parc des véhicules légers français, soit près de 36 millions véhicules électriques. **Parallèlement, le déploiement des infrastructures de recharge des véhicules électriques (IRVE) de différentes puissances s'accroît** pour accompagner la conversion des propriétaires des véhicules thermiques en véhicules électriques. En novembre 2023, la barre des 118 000 points de recharge ouverts³ au public est dépassée et il est prévu d'atteindre entre 330 000 et 480 000 de points de recharge ouverts au public en 2030⁴.

S'agissant du photovoltaïque (PV), le parc photovoltaïque français s'élevait à 19 GW à fin 2023.

Le troisième trimestre de cette année a été marqué par une hausse importante du segment de l'auto-consommation (totale ou partielle) avec près de 63 000 installations raccordées sur ces trois mois et plus de 200 000 installations sont attendues sur l'année. Pour l'éolien terrestre, le parc a dépassé les 20 GW et les premiers parcs éoliens en mer sont en cours de mise en service. Différents documents prospectifs s'accordent sur des objectifs ambitieux pour la filière photovoltaïque. Le bilan prévisionnel de RTE, publié en septembre 2023, a présenté un potentiel PV entre 65 et 90 GW à l'horizon 2035 et 45 GW pour l'éolien terrestre. Dans cette continuité, en vue de la troisième édition des programmations pluriannuelles de l'Énergie (PPE 3), un premier document⁵ soumis à consultation publique a été publié par le gouvernement. La stratégie affichée est de doubler le rythme de déploiement du PV avec une cible de 75 à 100 GW de PV raccordés à l'horizon 2035 et de 40 à 45 GW pour l'éolien terrestre. Pour l'éolien en mer, la cible définie est de 18 GW en 2035, telle que prévue par le pacte signé par le gouvernement et la filière.

Les marchés du véhicule électrique et des énergies renouvelables s'accroissent grâce à la mise en place d'un cadre juridique au niveau européen, national et régional. Afin d'investir les points de synergie entre les deux secteurs et les développer, l'association nationale pour le développement de la mobilité électrique (Avere-France), le syndicat des professionnels de l'énergie solaire (Enerplan) et le cabinet de conseil Wavestone s'étaient associés, en 2021, pour produire une étude intitulée "Énergie photovoltaïque et mobilité électrique : quelles synergies pour la transition énergétique ? Retours d'expérience de pionniers". L'objectif de cette étude était de rendre compte de la réalité du couplage entre les moyens de production d'énergie solaire et bornes de recharge. Elle concluait que ce couplage ne dépassait pas le stade expérimental mais suscitait l'intérêt des acteurs tant de la filière photovoltaïque que de la filière de la mobilité électrique. Nous estimions alors que le couplage pourrait se développer significativement.

En 2023, le Syndicat des Énergies Renouvelables (SER) a rejoint Avere-France, Enerplan et Wavestone pour une nouvelle étude dont l'objectif est d'actualiser l'état des lieux et de proposer aux pouvoirs publics des idées pour développer ce couplage. L'état des lieux a été construit sur la base de plus de vingt entretiens avec des personnalités clés des secteurs concernés⁶. Nous les remercions chaudement d'avoir répondu de très bon cœur à l'appel initial, lancé aux adhérents des associations. Connaissant les limites associées à un tel échantillonnage, nous avons cherché à rester objectifs et lucides et nous souhaitons, par les quelques illustrations en encart, éclairer les lecteurs et les inciter à poursuivre la réflexion.

Pour faciliter la lecture, nous désignerons par "**couplage EnR/IRVE**" le fait de coupler une installation locale de production d'électricité d'origine renouvelable (EnR) avec une ou des installations de recharge de véhicules électriques (IRVE).

Théoriquement, nous avons étendu l'étude de 2021 à d'autres sources renouvelables que le solaire. En pratique, "EnR" équivaudra à peu près à solaire photovoltaïque dans ce document : nous n'avons trouvé trace d'un couplage éolien/IRVE que marginalement (en l'occurrence sur une aire d'autoroute), ce qui s'explique par le caractère concomitamment plus urbain (ou périurbain) des installations photovoltaïques et des installations de recharge.

¹ « Baromètre des immatriculations des véhicules électriques et hybrides rechargeables », Avere-France, Janvier 2024

² « Bilan Prévisionnel 2023 : Point d'étape », RTE, 2023

³ « Baromètre national des infrastructures de recharge ouvertes au public », Baromètre Ministère de la Transition énergétique - Avere-France, élaboré par Gireve, Janvier 2024

⁴ « Le développement de la recharge en France pour les véhicules légers », Avere-France, 2022

⁵ Consultation publique sur la Stratégie française énergie-climat, du 22 novembre 2023 au 22 décembre 2023.

1. Couplage EnR/IRVE : de quoi parle-t-on ?



1.1. Plusieurs échelles de couplage existent

Selon les études de RTE, la consommation du secteur de transport routier sera d'environ 13 TWh en 2030⁷ et la production renouvelable sera autour de 300 TWh en 2035⁸. La montée en puissance de la production d'énergie renouvelable, qui est à la fois économique et peu émettrice de CO₂ mais variable, nécessite une gestion minutieuse de la correspondance entre la production et la demande d'électricité, afin d'exploiter au maximum son efficacité. En d'autres termes, et pour le cas qui nous intéresse, **il s'agit de synchroniser au mieux la recharge des véhicules électriques et les périodes de production renouvelable.**

Plusieurs possibilités de couplage EnR/IRVE sont envisagées :

⚡ Couplage local EnR/IRVE

Dans le couplage "direct" ou "local", la borne et le moyen de production d'électricité renouvelable ne forment qu'un seul système électriquement connecté derrière un même point de raccordement au réseau public d'électricité. Une batterie de stockage stationnaire pourrait être installée en sus pour stocker l'énergie renouvelable produite pendant la journée et la restituer dans le véhicule le soir afin d'augmenter les taux d'autoconsommation et de soutirer moins d'électricité au réseau public.

⚡ Couplage zonal EnR/IRVE

Le couplage peut aussi s'envisager à l'échelle du quartier. Dans ce couplage "zonal", le réseau public d'électricité relie entre elles plusieurs IRVE et plusieurs installations de production solaire situées derrière des points de raccordement différents. Ce couplage se prête notamment aux opérations d'autoconsommation collective (ACC). En zone urbaine, le périmètre de l'ACC est limité à 2 km mais peut être étendu, sous dérogation, à 10 km en zone périurbaine voire 20 km en zone rurale. Cette échelle facilite les échanges d'électrons et l'équilibrage des flux.

⚡ Couplage virtuel EnR/IRVE

Le couplage plus étendu (à l'échelle d'une région par exemple) est dit virtuel dans la mesure où les flux transitent par le réseau de transport et où l'identification et le traçage des flux est réalisé par des

⁶ Les personnes interrogées sont nommées en annexe du document.

⁷ La consommation reliée au secteur du transport routier est d'environ 45 TWh en 2035 selon le point d'étape du Bilan prévisionnel 2023 de RTE, RTE, 2023

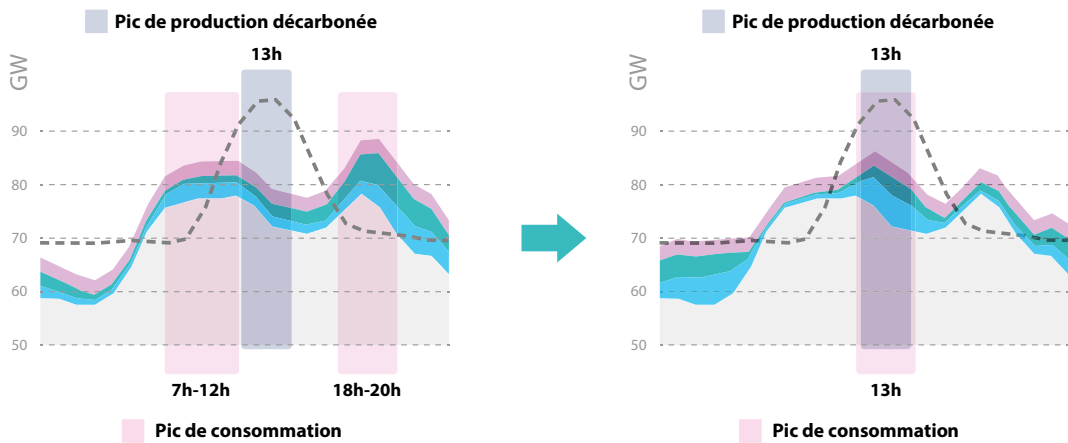
⁸ « Bilan Prévisionnel 2023 : Point d'étape », RTE, 2023

mécanismes de marché. Il est notamment rendu possible avec de nouveaux contrats d'achat de gré à gré, dits "PPA" (Power Purchase Agreement).

Ils permettent de fournir à des IRVE une électricité estampillée "100 % renouvelable" (en identifiant précisément la centrale d'injection et le moment de son injection). Ces contrats d'achats d'électricité verte permettent de faire profiter leurs signataires de certains des avantages du couplage physique (électricité verte et prix fixes).

Illustration de l'effet des flexibilités sur le placement de la consommation lors des pics de production décarbonée

Bilan prévisionnel - Édition 2023 (RTE, 2023)



Profil moyen de consommation hivernale **sans flexibilité** (situation théorique)

Profil moyen de consommation hivernale **avec flexibilité** (situation théorique)

■ Eau chaude sanitaire ■ Mobilité ■ Power-to-gas ■ Consommation autres usages - - - Production nucléaire et Enr

1.2. Quatre cas d'usage principaux

Pour installer des bornes de recharge et/ou des moyens de production renouvelable, il faut l'accord du propriétaire du sol. Pour cette raison, les cas d'usage portés à notre connaissance ont un caractère commun : un acteur identifié possède l'emprise foncière, nécessaire au couplage.

⚡ Couplage en maison individuelle

Pour les particuliers, notamment pour les foyers disposant d'un parking privé, le déploiement des bornes de recharge à domicile s'est accéléré grâce aux aides à l'acquisition de véhicules électriques (bonus écologique, prime à la conversion, etc.) et à l'installation de bornes de recharge à domicile comme le crédit d'impôt bornes de recharge. Cette accélération n'a pas seulement été observée chez les particuliers résidant en maison individuelle mais aussi en résidentiel collectif où l'introduction du "droit à la prise" par la loi⁹ a fortement simplifié les démarches administratives pour l'installation de bornes de recharge. Également, l'installation de panneaux solaires présente une grande facilité, comme le foncier est déjà acquis. **Dans le cadre d'une maison individuelle disposant des panneaux photovoltaïques et d'une borne de recharge, le couplage direct EnR/IRVE entre les moyens de production et de consommation s'impose**, en suivant le modèle de

⁹ Loi n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités, dite la LOM ; cf. chapitre « corpus réglementaire et législatif » pour plus de détails

la maison intelligente à l'aide d'un gestionnaire d'énergie local (Home Energy management System - HEMS) ou via le cloud à l'aide des équipements connectés à Internet. L'HEMS pilote de manière dynamique la consommation électrique de la borne et des autres équipements domestiques pour absorber le maximum de la production renouvelable et optimiser la facture. De plus, la technologie Vehicle-to-X, détaillée plus tard dans cette étude, pourrait maximiser encore le potentiel du couplage EnR/IRVE en stockant le surplus de l'énergie solaire produite pendant la journée dans la batterie du véhicule et en restituant cette énergie pendant les heures de forte consommation dans la maison, notamment les heures pleines, et dans le réseau.

⚡ Couplage en parking privé pour les établissements recevant du public

Les établissements recevant du public (ERP) vont devoir s'équiper de moyens de production renouvelable et d'IRVE dans les mêmes horizons de temps : **mutualiser les travaux d'installation d'ombrières photovoltaïques et de bornes de recharge permet d'optimiser les investissements, réduit le coût des travaux ainsi que les pertes électriques de transit sur le réseau public dans les câbles.** Certes, la production solaire peut ne pas satisfaire le besoin de recharge des véhicules électriques, notamment la recharge rapide et ultra-rapide. Cependant, le couplage direct garantit qu'une partie de la recharge est verte, gratuite et non taxée et maximise le taux d'autoconsommation.

Dans ce cas d'usage, on distingue deux types d'électromobilistes :

- **Les employés**, qui stationnent leurs véhicules pendant les heures de la journée. Leurs véhicules utilisent des bornes de recharge normale, voire lente, en bénéficiant totalement de l'énergie solaire ;
- **Les visiteurs**, suivant le temps dont ils disposent et leurs besoins de recharge, s'orienteront vers une charge lente, rapide ou ultrarapide. L'électricité du réseau est nécessaire en plus ou moins grosse proportion.

⚡ Couplage en parking privé d'entreprise

Dans ce cas d'usage, proche du précédent, les motivations de l'entreprise et les bénéfices du couplage sont les mêmes. S'y ajoutent les contraintes d'électrification de sa flotte¹⁰.

Les véhicules électriques (VE) qui stationnent en journée (véhicules des employés de bureau et véhicules roulant la nuit) profitent directement de l'énergie solaire, contrairement aux véhicules qui circulent pendant la journée et sont garés pour la nuit. Dans ce cas, un système gestionnaire d'énergie local, à l'aide d'algorithmes très basiques et à l'aide d'une conduite de changement adaptée par l'utilisateur, distribue l'énergie solaire d'une façon optimale entre la flotte et les bâtiments.



Crédits photos Wallbox

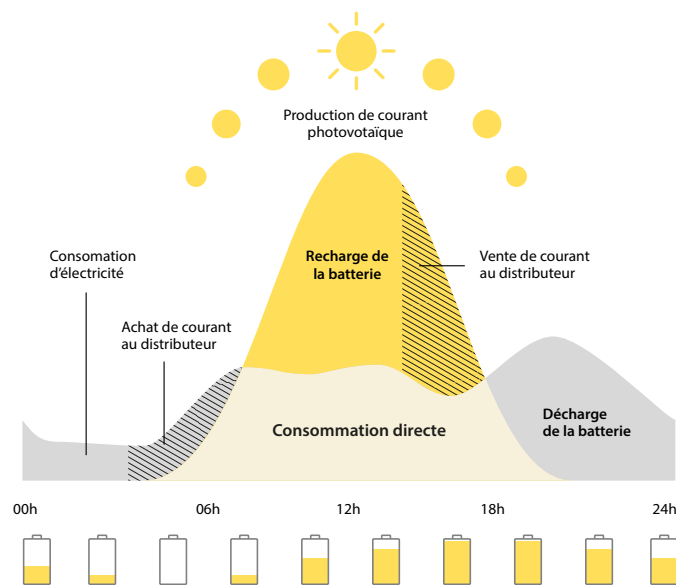
¹⁰ Cf. chapitre corpus réglementaire et législatif

¹¹ <https://www.electro-partner.ch/fr/electrotechnique/photovoltaïque/photovoltaïque-batteries-stockage>

⚡ Couplage sur les aires d'autoroute des bornes de recharge rapide

Afin de respecter la réglementation, les aires de repos sur les autoroutes sont équipées de bornes de recharge rapide ainsi que de panneaux photovoltaïques. La dynamique de couplage entre les infrastructures de recharge et les sources d'énergies renouvelables, solaire voire éolienne, se multiplient. La recharge sur autoroute ne présente pas un problème pour l'équilibrage du réseau électrique. En effet, elle se fait pendant les heures creuses de la journée, midi et après-midi notamment. Le couplage trouve son efficacité maximale dans ce cas d'usage : les électromobilistes rechargent leurs véhicules électriques pendant leurs moments de pause durant leurs trajets, notamment pendant les heures creuses de la journée.

Illustration de l'utilisation de la batterie de stockage stationnaire dans le cadre du couplage EnR/IRVE ¹¹



1.3. Pour aller plus loin, le stockage stationnaire et l'autoconsommation

L'énergie solaire est générée pendant les périodes d'ensoleillement, le pic de production est logiquement en milieu de journée. Mais le milieu de journée n'est pas nécessairement le moment où les besoins énergétiques sont les plus élevés. En conséquence, durant cette période, l'injection du surplus de la production photovoltaïque dans le réseau aura une rémunération moins attractive.

Le couplage EnR/IRVE local atteindrait son plein potentiel s'il venait à être associé à une batterie stationnaire (de première vie ou de seconde vie issues des VE à l'issue de leur première vie).

Le mécanisme est le suivant :

- Lorsque l'énergie disponible excède le besoin immédiat de charge du VE, elle est stockée dans la batterie ;
- Lorsque la demande de charge du VE excède la production solaire, la batterie stationnaire, chargée entièrement ou partiellement, prend le relais.

La batterie stationnaire confère une certaine autonomie vis-à-vis du réseau électrique et l'auto-consommateur pourrait réaliser des économies en achetant moins d'électricité.

1.4. Le pilotage de la recharge des véhicules électriques au service du couplage EnR/IRVE

Coupler (physiquement ou non) des sources de production d'énergies renouvelables et la mobilité électrique est vraiment intéressant à condition de savoir adapter la consommation aux variations de la production.

Dans ce contexte, le véhicule électrique est l'appareil le mieux placé pour répondre à ce besoin de flexibilité pour trois raisons :

1. 70 à 80 % du volume de recharge s'effectue en temps non contraint (car le véhicule électrique reste stationné 95 % du temps) ;
2. La fenêtre d'optimisation varie de l'intra journalier à l'intra hebdomadaire ;
3. Enfin, la quantité d'énergie stockable dans un véhicule électrique est plus importante que celle stockable dans un ballon d'eau chaude sanitaire.

La décarbonation du transport et le développement des énergies renouvelables ont des destins croisés. C'est à travers le pilotage de la recharge et la recharge bidirectionnelle que le couplage maximise son potentiel.

D'après l'étude RTE et Avere-France¹², le pilotage de la recharge des véhicules électriques à grande échelle ne constitue « pas un prérequis technique à l'intégration de la mobilité électrique » mais offre toutefois des « marges supplémentaires considérables » pour le système électrique de demain. On distingue trois grandes familles de pilotage de la recharge :

⚡ Le pilotage statique

La charge est effectuée pendant des heures fixées au préalable. L'idée est donc de décaler la recharge du véhicule électrique pendant les heures creuses afin de profiter des faibles tarifs d'électricité et d'éviter les pointes de consommation nationales.

⚡ Le pilotage dynamique

La charge s'adapte aux signaux du système électrique en temps réel : effacement, prix de l'électricité en J-1, production solaire, etc. (c'est le « Smart charging » en anglais). L'idée ici est de maximiser le potentiel de l'énergie solaire, en temps réel, en décalant ou en arrêtant la recharge du véhicule électrique à la suite de la réception des signaux externes : surplus de production solaire des panneaux installés à la maison, baisse des prix de l'électricité par suite d'un surplus de production d'énergie renouvelable au niveau national, signal d'effacement, etc.



¹² "Une intégration de la mobilité électrique sans difficulté pour le réseau", Avere-France et RTE, 2019

⚡ La charge bidirectionnelle (dite "V2X" pour Vehicle-to-Everything),

On distingue : réinjection dans une maison (Vehicle-to-Home - V2H), un bâtiment (Vehicle-to-Building - V2B) ou le réseau (Vehicle-to-Grid - V2G)¹³. La technologie Vehicle-to-X pourrait maximiser encore le potentiel du couplage ENR-IRVE en stockant le surplus de l'énergie solaire produite pendant la journée dans la batterie du véhicule et la restitution de cette énergie pendant les heures de forte consommation, notamment les heures pleines.

1.5. Le Vehicle-to-X (V2X), une solution d'avenir

Théoriquement, **la technologie V2X serait un complément logique du couplage**, une brique de plus pour pleinement valoriser la production d'électricité renouvelable et le potentiel de la mobilité électrique au service du système électrique.

Le Vehicle-to-X (du véhicule vers une source indéfinie) permet de puiser et de redistribuer l'énergie stockée dans la batterie d'un véhicule électrique vers une source indéfinie. Le V2X comprend ainsi le V2H (Vehicle-to-Home, ou du véhicule vers le domicile), le V2B (Vehicle-to-Building, ou du véhicule vers un bâtiment), et le V2G (Vehicle-to-Grid, ou du véhicule vers le réseau électrique). Cette technologie permet de charger ou décharger la batterie d'une voiture électrique selon les besoins, la demande et la capacité de la source destinataire. Un système de pilotage HEMS (pour le V2H, V2B) ou un système agrégateur (pour le V2G) lance la recharge/décharge des véhicules en réponse à des signaux externes ou à des prévisions météorologiques, suivant des algorithmes. Le V2X permettrait de soutirer ou d'injecter l'électricité dans le réseau ou dans le bâtiment aux meilleurs moments. Par exemple, la recharge du véhicule pourrait se réaliser pendant les heures creuses ou les heures de surplus de production d'énergies renouvelables et la décharge pourrait s'effectuer pendant les heures de congestion ou de pics de consommation nationale. Ainsi, en activant en quelques secondes la charge et la décharge des batteries d'un grand nombre de véhicules électriques répartis sur le territoire national, le V2X contribuerait à ajuster l'équilibre production-consommation et le réglage primaire de la fréquence, essentiel au bon fonctionnement du système électrique français et européen. Ce faisant, on écrêterait le pic de consommation, on préserverait le réseau électrique, on limiterait les investissements dans ce réseau et on réduirait les émissions de gaz à effet de serre en évitant la sollicitation de moyens de production de pointe les plus polluants.

Les scénarios prévisionnels de RTE accordent une place significative au pilotage de la recharge pour 2050 : entre 2 % et 20 % des électromobilistes pourraient avoir recours à la recharge bidirectionnelle ou Vehicle-to-Grid (V2G). Mais, **si la technologie V2X est en cours de développement, elle n'est pas encore largement déployée à l'échelle nationale voire mondiale :**

- En 2022, RTE a certifié pour la première fois la participation de batteries de véhicules électriques de flottes d'entreprises à l'équilibre temps-réel du système électrique (réserve primaire)¹⁴. Ceci est rendu possible grâce à la technologie « *Vehicle-to-Grid* » mise en œuvre par DREEV, co-entreprise créée entre EDF et NUVVE.
- Plusieurs expérimentations lancées en France et en Europe visent à étudier les avantages potentiels de l'intégration des véhicules électriques dans le réseau électrique, les freins ainsi que les retours d'expérience. Les projets aVEnir à Aix-en-Provence, Flexitanie et Mobesol en Occitanie, KALUZA au Royaume-Uni et d'autres encore ont permis de prouver la valeur des services du véhicule électrique au système électrique et de valider les algorithmes conçus.
- Même si la priorité des constructeurs automobiles est de respecter les normes CAFE (Corporate Average Fuel Economy), certains préparent le lancement de quelques modèles compatibles avec la technologie V2G : autre que la Nissan Leaf, la Hyundai IONIQ 5 et la Kia EV 6, la nouvelle R5 de Renault sera compatible V2G et

¹³ Autres solutions V2X existent : V2V (Vehicle-to-Vehicle), V2L (Vehicle-to-Load). Ces solutions ne seront pas étudiées dans cette étude.

¹⁴ « Première en France : des véhicules électriques pourront participer à l'équilibrage en temps-réel du système électrique », Communiqué de presse, RTE, 2022

les futurs véhicules de Renault seront équipés d'un chargeur embarqué bidirectionnel à très haut rendement développé avec le CEA. Également, les fabricants et opérateurs de bornes de recharge commencent à lancer leurs gammes compatibles V2G. Les bornes actuellement déployées sont pilotables, assurant un pilotage statique ou dynamique, et connectables à internet (via la borne elle-même ou en cloud).

Trois difficultés expliquent la lenteur de ce développement :

1. La communication entre les bornes, les véhicules, les HEMS et les agrégateurs nécessite la mise en place de normes et protocoles ouverts à l'échelle internationale.
2. Pour que la technologie fonctionne, il faut en outre que les bornes et les véhicules soient compatibles avec la recharge bidirectionnelle. En d'autres termes, il faut que le véhicule soit conçu pour se décharger en dehors des usages de mobilité et que la borne sache passer le courant dans les deux sens. L'acquisition des bornes de recharge et des véhicules électriques compatibles avec la technologie V2G nécessite des investissements non négligeables (surcoût au niveau l'infrastructure de recharge et au niveau du véhicule) : une estimation du surcoût pourrait atteindre 50 % par rapport à un VE sans V2G.
3. Enfin, il faut l'accord de l'utilisateur du véhicule électrique pour décharger la batterie. Or le grand public craint de ne pas disposer d'un véhicule suffisamment chargé quand il en a besoin. Le pilotage de la recharge du véhicule électrique nécessite la prise en compte des besoins de mobilité de l'utilisateur (niveau de recharge souhaité à l'heure de départ prévue) afin de prioriser la recharge selon l'usage du véhicule et doit garantir l'accès de l'utilisateur en cas de besoin. L'arbitrage entre les critères de pilotage est un élément clé pour garantir la disponibilité du véhicule pour son usage principal : la mobilité.



Crédits photos Electra

2. Corpus réglementaire et législatif

Ce chapitre donne au lecteur un aperçu des règles et des lois qui influencent ou cadrent le développement des moyens de production renouvelable d'un côté et de la mobilité électrique de l'autre, à l'échelle européenne ou française.

2.1. L'Union Européenne veut réduire ses émissions de gaz à effet de serre

Depuis les premières discussions sur le changement climatique jusqu'à **l'Accord de Paris en 2015**, l'Union Européenne (UE) s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de manière significative. Dans cette perspective, le secteur des transports, en grande partie dépendant des énergies fossiles, est devenu une cible prioritaire pour la transition vers des sources d'énergie plus propres. La mobilité électrique, avec ses avantages potentiels en termes de réduction des émissions de CO₂ et de dépendance aux carburants fossiles a ainsi acquis une importance stratégique dans le paysage réglementaire de l'Union Européenne.

Pour soutenir cette transition, l'UE a mis en place un cadre réglementaire solide visant à encourager l'adoption des véhicules électriques. Ces règlements couvrent divers aspects, de la normalisation des infrastructures de recharge à la promotion de la recherche et du développement dans le domaine des technologies liées à la mobilité électrique.

La croissance globale du marché a été largement alimentée par **la norme CAFE** qui impose depuis le 1^{er} janvier 2020 aux différents constructeurs automobiles une certaine cible d'émissions moyennes de CO₂ dans leurs ventes de véhicules légers dans les États membres (cible autour de 95 gCO₂/km en 2020, déclinée selon les constructeurs et baissant de 15 % en 2025). Le non-respect de cette norme engagerait des pénalités de 95€ /par gCO₂/km en écart par véhicule vendu. Les constructeurs automobiles ont donc adopté pour stratégie d'augmenter la disponibilité de leurs véhicules électriques en volume et en modèles sur tous les marchés et ont poussé fortement les ventes de ces motorisations auprès des clients depuis 2020, afin d'atteindre ces niveaux d'émissions.

Également, en 2022, le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne ont voté **l'interdiction de la vente de voitures neuves à moteur thermique dans l'Union européenne à partir de 2035**. Cette décision historique aura un impact positif sur le déploiement du parc des véhicules électriques. Ensuite, **le paquet législatif « Fit for 55 »**¹⁵ qui vise à rendre l'UE plus résiliente face aux changements climatiques et à respecter ses engagements en matière de réduction des émissions impose une accélération de la décarbonation d'ici 2030. Les propositions et réformes de « Fit for 55 », touchent de nombreux secteurs économiques.

Parallèlement, les directives européennes énoncent également des objectifs spécifiques, tels que l'augmentation du nombre de points de recharge accessibles au public, la promotion de l'interopérabilité des systèmes de recharge et le renforcement des incitations financières pour stimuler l'achat de véhicules électriques. Nous remarquons, à titre d'exemple, que **le règlement européen AFIR** (Alternative Fuels Infrastructure Regulation), faisant partie intégrante du paquet « Fit for 55 », vise à assurer un niveau minimal d'infrastructures de recharge à travers les États membres :

- Le réseau Transeuropéen principal¹⁶, aussi appelé « core network », doit être équipé par un hub de charge d'au moins 400 kW (avec au moins un point de recharge de 150 kW) tous les 60 km d'ici 2025 ; puis dès 2027, au moins 600 kW (avec au moins un point de recharge de 150 kW) ;

¹⁵ En français : « Ajustement à l'objectif 55 ».

¹⁶ Le réseau transeuropéen de transport (RTE-T) est un ensemble d'infrastructures intermodales visant à faciliter la mobilité des personnes et des marchandises à travers l'Union européenne.

- Sur au moins 50 % en 2027, puis sur la totalité du « comprehensive network » (la totalité du réseau RTE-T) en 2030, un hub de charge d'au moins 300 kW (avec au moins un point de recharge de 150 kW) ; puis en 2035, au moins 600 kW (avec au moins deux points de recharge 150 kW).

Concernant le développement des énergies renouvelables électriques, la feuille de route est aussi à l'accélération. Au niveau européen, **la directive sur les énergies renouvelables RED III**, publiée au Journal officiel européen le 18 octobre 2023, enjoint d'accélérer fortement le rythme de déploiement des énergies renouvelables. Ce texte est applicable dans les 18 mois à compter de sa publication, dans tous les Etats membres de l'Union européenne. Pour la France, une cible de 45 % d'EnR rapportée à la consommation finale a été proposée. On retrouve dans les premières versions de **la Stratégie Française pour l'Energie et le Climat (SFEC)** un tel niveau d'ambition. Cette accélération du déploiement des EnR passera par un cadre européen et national prévoyant des zones où les autorisations de projets seront accélérées, que ce soit pour l'éolien terrestre en repowering¹⁷ ou les nouveaux sites EnR.

2.2. Des lois récentes en France

En France, le développement de la mobilité électrique est encadré par plusieurs réglementations et initiatives visant à promouvoir l'adoption de véhicules électriques et à faciliter la mise en place des infrastructures de recharge. Autres que les aides nationales et régionales pour l'achat d'un véhicule électrique, **la Loi n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'Orientation des Mobilités**, dite la LOM, vise à transformer les mobilités en France.

Quant à la filière photovoltaïque, plusieurs dispositions législatives récentes vont permettre de mobiliser davantage de sites pour le développement du photovoltaïque :

La loi Climat et Résilience du 22 août 2021 (article 101) concerne les nouvelles constructions de bâtiments à l'usage de bureaux de plus de 1000 m² et les nouvelles constructions de bâtiments industriels, d'entrepôts et de parcs de stationnement de plus de 500 m². La surface à couvrir varie selon la date de construction du bâtiment et l'obligation d'application qui s'échelonne entre 2023 et 2027. De plus, **la loi relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables** (dite "APER") du 10 mars 2023 (Article 40) s'applique pour les parkings existants, au 1^{er} juillet 2023, de plus de 1500 m² et rend obligatoire la solarisation d'au moins 50 % de leur surface. En fonction du statut de concession et de la superficie du parc de stationnement, les délais d'application varient entre le 1^{er} juillet 2026 et le 1^{er} juillet 2028. Elle prévoit par ailleurs un dispositif de planification territoriale, « les zones d'accélération », en cours de définition par les communes, qui permettra de flécher des espaces spécifiques pour le développement de sites éoliens et photovoltaïques.



Crédits photos Wallbox

¹⁷ Démantèlement d'un parc éolien existant, afin de remplacer l'ensemble des éoliennes existantes par de nouvelles.

2.3. Des subventions à l'installation et à l'exploitation

⚡ Pour les IRVE

Sans entrer dans les détails, les IRVE bénéficient de plusieurs subventions à l'installation, notamment :

- **Le crédit d'impôt à l'installation d'une borne de recharge** à domicile pour les particuliers qui habitent dans des résidences individuelles. À partir de 2024, ce crédit d'impôt est désormais conditionné à la pilotabilité de la borne, ce qui permet de développer le couplage EnR/IRVE;
- **Le programme ADVENIR**, qui est un programme CEE (Certificats d'Économies d'Énergie opéré par l'Avare-France, et qui permet de diminuer les investissements associés au déploiement des bornes de recharge ouvertes au public grâce à des primes, sous conditions ;
- **Les Appels à Projets de l'ADEME**, qui ont été lancés dans le cadre du plan d'investissement « France 2030 » afin de soutenir le déploiement de stations de recharge ouvertes au public pour les véhicules électriques légers et poids lourds.

⚡ Pour les installations solaires

Les installations solaires, quant à elles, bénéficient de soutiens publics soit au travers de primes couplées à un tarif d'achat du surplus pour les installations de moins de 100 kWc, soit par un tarif d'achat du surplus seul pour les installations entre 100 et 500 kWc. Au-delà de 500 kWc, les installations peuvent être soutenues au travers d'appels d'offres autoconsommation, qui rémunèrent les kWh autoconsommés et ceux vendus sur le réseau. Il est à noter que la présence de stockage est permise, mais n'est pas soutenue par une prime complémentaire. Ces dispositifs de soutien public au travers de l'arrêté tarifaire ou des appels d'offres est exclusif de tout autre soutien public, et ne permet de complément de subvention publique que sous des conditions très restreintes.

2.4. La réfaction tarifaire du TURPE allège les coûts d'installation des IRVE

Le TURPE (ou Tarif d'Utilisation du Réseau Public d'Electricité) est une redevance d'utilisation du réseau permettant d'assurer la pérennité économique des gestionnaires de réseau de transport et de distribution (RTE, Enedis et les entreprises locales de distribution). Son montant est calculé pour permettre de financer 90 % des activités des gestionnaires. Cette redevance est prélevée sur chaque opération de soutirage via le réseau à un prix donné, refixé tous les quatre ans par la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) en deux principales composantes :

- Une par rapport à l'abonnement (part fixe par rapport à la puissance souscrite) ;
- Et une pour chaque kWh consommé (part variable selon l'énergie effectivement soutirée).

Concernant le déploiement des bornes de recharge, un dispositif appelé « réfaction tarifaire » est mis en place afin que les gestionnaires de réseaux prennent en charge une partie des coûts de raccordement (et donc indirectement l'assiette des acteurs astreints au paiement du TURPE), à la hauteur de 40 % du montant total. Jusqu'à la fin de l'année 2025¹⁸, si le déploiement de l'IRVE ouverte au public s'inscrit dans le cadre d'un Schéma Directeur Infrastructure de Recharge des Véhicules Electriques (SDIRVE) et si les bornes de recharge sont directement raccordées au réseau public de distribution jusqu'à 250 kVA, la prise en charge maximale a été fixée à 75 % au lieu de 40 %. La réfaction tarifaire s'applique aussi aux producteurs avec des taux différenciés selon la puissance allant de 60 % (pour les petites installations raccordées en basse tension) à quelques pourcents pour les installations jusqu'à 5 MW.

À ce jour, aucun taux de réfaction ad hoc n'est envisagé pour les sites combinant borne de recharge et ombrières PV. Selon le porteur de la demande de raccordement initial (consommateur ou producteur), le taux de réfaction afférent est appliqué.

¹⁸ Cette mesure est prolongée par l'arrêté du 6 février 2023.

2.5. La TIRUERT : Levier potentiel, mais à la durée de vie limitée

La **taxe incitative relative à l'utilisation d'énergie renouvelable dans le transport (TIRUERT)**, prévue par l'article 266 quinquies du code des douanes, **est une taxe à finalité spécifique, avec un objectif d'utilisation d'énergie renouvelable dans le transport au-delà duquel le montant dû au titre de cette taxe est nul pour le redevable**. Il s'agit d'un mécanisme incitatif dont l'objectif principal n'est pas le paiement de la taxe mais la modification du comportement des redevables (principalement les metteurs à la consommation des produits énergétiques), pour améliorer l'utilisation d'énergie renouvelable dans le transport. Le redevable peut ainsi minorer le taux de la taxe à proportion de la part d'énergie renouvelable réputée contenue dans les carburants qu'il met à la consommation durant l'année considérée.

Depuis le 1^{er} janvier 2022, ce dispositif a été élargi à l'électricité produite à partir de sources renouvelables et utilisée pour la recharge des véhicules électriques¹⁹ ouverte au public seulement²⁰. Concrètement, les assujettis à la TIRUERT peuvent contribuer à l'atteinte de leurs objectifs d'incorporation d'énergie renouvelable dans leurs carburants en produisant des certificats TIRUERT s'ils sont eux-mêmes aménageurs d'infrastructures de recharge ouvertes au public en achetant directement ces crédits auprès d'aménageurs d'infrastructures de recharge. Cette taxe est donc un vrai incitateur économique pour les opérateurs d'IRVE et par extension pour le couplage, lequel dispose d'un effet multiplicateur dans ce dispositif. Les certificats d'énergie (tarifés à 1400€ pour un m³ de produits pétroliers en 2023, soit une hausse de 35 % par rapport à 2022) représentent un complément de revenu en OPEX permettant d'améliorer le modèle de rentabilité des opérateurs.

À court terme et étant donné que l'application de cette taxe n'est engagée que jusqu'à 2030, la TIRUERT peut donc être considérée comme l'un des leviers fondamentaux du développement du couplage EnR/IRVE. Cependant, il existe une incertitude sur le gain apporté pour le long terme et des modifications des modalités sont apportées annuellement par les lois des Finances.

2.6. Si on applique ces lois, règlements et autres incitations financières aux cas d'usage du couplage...

⚡ Couplage en maison individuelle

Pour les particuliers, notamment ceux qui disposent d'une place de parking privée, le déploiement des bornes de recharge à domicile est très simple. L'installation d'une borne de recharge à domicile bénéficie d'un crédit d'impôt, prenant en charge 75 % du montant des dépenses, limité à 500 € par système de charge pilotable. L'arrêté tarifaire de novembre 2021 ("S21") fixe et encadre les conditions d'achat de l'électricité photovoltaïque pour les particuliers et les moyennes installations en toiture (jusqu'à 500 kWc) et propose une prime et un tarif dédié pour le segment des petites installations (inférieures à 36 kVA). Il incite fortement les producteurs à autoconsommer l'énergie qu'ils produisent, le cas échéant pour de la recharge de véhicule électrique, « EDF Obligations d'achat » n'achetant que le surplus par rapport à la consommation qui doit être injectée sur le réseau.

⚡ Couplage en parking privé pour les établissements recevant du public

Les propriétaires des Etablissements Recevant du Public (ERP), notamment les grands magasins, doivent désormais se conformer à la réglementation IRVE et seront bientôt soumis à un minimum légal de bornes installées par places de parking. L'article 64 de la LOM impose à tous les exploitants de parcs de stationnement existants non résidentiels dotés de plus de 20 places de disposer au 1^{er} janvier 2025 d'au moins 5 % de places de stationnement équipées en points de recharge pour véhicules électriques ou hybrides rechargeables (Article L113-13 du code de la construction et de l'habitation). Ce pourcentage pourrait atteindre 10 % si l'on s'inscrit dans le cadre de l'article 12 de la future transposition de la directive sur la performance énergétique des bâtiments (DPEB) au 1^{er} janvier 2027. Concernant les bâtiments neufs

¹⁹ Article 58 de la loi de finances pour 2021.

²⁰ Article 266 quinquies du code des douanes.

et ceux faisant l'objet d'une rénovation importante : la LOM actuellement mentionne l'obligation de précâbler 20 % des emplacements de parking et d'installer des points de recharge sur deux places seulement. Après la transposition de la directive sur la performance énergétique des bâtiments, ces critères pourraient évoluer pour atteindre un précâblage pour chaque emplacement de parking et d'installer des infrastructures de recharge des véhicules électriques sur 20 % des emplacements du parking²¹. L'installation d'une borne de recharge ouverte au public bénéficie d'une prime sous conditions.

En parallèle, l'article 11 de la loi relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables, adoptée en 2023, impose d'équiper les parcs de stationnement extérieurs d'une superficie supérieure à 1 500m² d'ombrières couvertes de panneaux photovoltaïques sur au moins la moitié de leur surface. Progressivement, les parkings devront être équipés d'ombrières photovoltaïques sur au moins 50 % de leur surface d'ici le 1^{er} juillet 2028 pour les parkings entre 1 500 et 10 000m² et le 1^{er} juillet 2026 pour les parkings supérieurs à 10 000 m².

Les ombrières de stationnement seront éligibles à l'arrêté tarifaire jusqu'à 500 kWc. Au-delà les ERP devront peuvent candidater à un appel d'offres (AO) de l'Etat et de la CRE qui permet de réaliser de plus grandes surfaces.

⚡ Couplage en parking privé d'entreprise

Les entreprises qui gèrent directement ou indirectement, au titre de leurs activités relevant du secteur concurrentiel, un parc de plus de cent véhicules automobiles sont dans l'obligation d'électrifier leurs flottes, par des véhicules électriques à batterie ou hybrides rechargeables, lors du renouvellement annuel de leur parc, de 10 % à partir du 1^{er} janvier 2022, de 20 % à partir du 1^{er} janvier 2024, de 40 % à partir du 1^{er} janvier 2027 et de 70 % à partir du 1^{er} janvier 2030.

Afin d'accompagner l'électrification de leurs flottes et afin de respecter la réglementation, les entreprises s'intéressent de près au déploiement des bornes de recharge. Les obligations sont similaires à celles des établissements recevant du public.

⚡ Couplage sur les aires d'autoroute

Le déploiement des IRVE sur les axes routiers est fixé par le règlement européen AFIR. L'installation d'une borne de recharge ouverte au public bénéficie d'une prime sous conditions.

En parallèle, la loi APER (article 111-7 du code de l'urbanisme) a ouvert la possibilité d'installations solaires sur les délaissés routiers et autoroutiers, permettant des installations au plus proche de ces axes.



²¹ La France doit transposer dans son droit national la directive sur la performance énergétique des bâtiments (EPBD) dans les deux ans qui suivent l'adoption au niveau européen.

3. Le couplage EnR/IRVE est-il pertinent ?

3.1. Le modèle du couplage est encore très peu développé en France

L'étude Avere-France-Enerplan-Wavestone de 2021 a montré que l'essor de projets PV en France donnait une chance au couplage EnR/IRVE de se développer et de sortir du cadre expérimental dans lequel il évoluait.

Nous identifions alors de nombreux freins :

- L'absence de modèles types, de choix contractuels et de stratégies de financement ;
- La nécessité d'investissements importants ;
- Le manque de solutions mûres.

Mais qu'en est-il aujourd'hui ?

En 2023, le couplage physique EnR/IRVE est encore perçu comme une innovation, toujours en phase d'expérimentation selon certaines parties prenantes.

À l'heure actuelle, quelques entreprises proposent des solutions opérationnelles de couplage physique (par exemple des solutions de câblage sur étagère dites « ombrières-IRVE ready »). D'autres proposent du couplage virtuel²².

Mais ces solutions sont encore trop peu nombreuses pour être visibles de la grande masse des clients potentiels et sont peu déployées sur le territoire français.

Nous constatons que les entreprises ou les collectivités locales qui investissent et installent des IRVE ont choisi jusqu'à présent de ne pas les coupler à des panneaux photovoltaïques. Cela peut s'expliquer par plusieurs raisons : le manque d'informations des collectivités, qui ignorent que ce genre de dispositifs existe, la complexité des tâches administratives et la complexité de leurs systèmes d'installation d'IRVE (Gestion en régie, délégation à différentes instances des services publics, concessions, affermage, etc.).

Même si le couplage n'est pas assez déployé en France, cette situation ne signifie pas que ce dispositif est inintéressant. Il mérite d'être plus développé dans les différents cas d'étude. En effet, les acteurs spécialisés de la mobilité électrique et des énergies renouvelables voient le couplage EnR/IRVE comme une évidence dans un futur proche. Le couplage pourrait même se développer plus rapidement que prévu avec une prise de conscience du grand public et avec des incitations politiques. En Allemagne, par exemple, le gouvernement subventionne l'installation d'IRVE couplées avec des panneaux solaires et des batteries de stockage stationnaires.

3.2. Coupler moyens de production EnR et IRVE est pertinent pour les parties prenantes des deux écosystèmes et pour le système électrique

En croisant les points de vue des différents interlocuteurs de l'étude, il nous apparaît que la pertinence du couplage est confirmée.

⚡ Pertinence pour les parties prenantes EnR et les parties prenantes IRVE

Du point de vue du propriétaire du foncier, coupler physiquement moyens de production EnR et IRVE est pertinent pour les raisons suivantes :

- Premièrement, **le couplage EnR/IRVE est une opportunité économique pour les installateurs et exploitants de bornes de recharge** : il permet notamment de mutualiser les projets et réduire le coût

²² Par exemple, l'outil de localisation de bornes Chargemap permet de repérer les bornes virtuellement couplées à du PV ou de l'éolien (via des garanties d'origine et/ou des contrats d'achat en gré à gré renouvelables, dits "PPA").



Crédits photos Fastned

des travaux, notamment de raccordement, en menant un seul chantier.

- De plus, si le système de couplage fonctionne en autoconsommation, alors **l'électricité produite devient plus compétitive** : Comme cette dernière ne passe pas par le réseau électrique, elle n'est pas soumise aux droits qui frappent sa vente (accises sur l'électricité/CSPE, TVA et TURPE notamment). Le couplage direct permet de minimiser le coût de la recharge lente, dans un contexte où la volatilité des prix de l'électricité est une inquiétude récurrente. Ceci aura un impact positif sur le TCO (Total Cost of Ownership, coût total de possession) du véhicule.

Du point de vue d'une entreprise, s'ajoutent aussi les raisons suivantes :

- Elle est soumise à **des obligations réglementaires plus ou moins concomitantes** : électrifier sa flotte et équiper en panneaux solaires ses toitures et ses parkings ;
- Elle est beaucoup plus exposée qu'un particulier à la **volatilité des prix** de l'électricité, donc intéressée par l'autoconsommation.
- Elle assume une **responsabilité environnementale**. Le couplage améliore légèrement son bilan carbone (par la mutualisation des chantiers et par la possibilité d'autoconsommer plus d'EnR) ;
- Elle assume une **responsabilité sociale**. Le couplage participe de l'effort collectif (collaborateurs, clients, fournisseurs, collectivités locales) de réduction de l'empreinte carbone. Les salariés bénéficient d'un service supplémentaire. Les autres parties prenantes aussi si elles accèdent aux installations (clients, fournisseurs, locaux attenants) ;
- Par conséquent, elle améliore son **image de marque** auprès de toutes ses parties prenantes, y compris les candidats à l'embauche. Les salariés se sentent plus attachés à l'entreprise. Les autres parties prenantes bénéficient du "transfert d'image" associé à ce comportement vertueux. Enfin elle peut valoriser son projet dans un reporting extra-financier validé par des cabinets d'audit et dont le contenu est noté par des agences de notation extra-financière.

⚡ Pertinence pour le système électrique

Du point de vue du réseau électrique, le couplage physique possède aussi des avantages pour les gestionnaires de réseau de distribution et de transport d'électricité. Il permet notamment de minimiser les flux sur le réseau électrique en maximisant l'autoconsommation, limiter la congestion locale, écrêter les pics de consommation nationaux et minimiser les investissements d'extension des réseaux, même du système au global, tout en assurant un plus grand équilibre tout au long de la journée.

Malgré la pertinence du couplage EnR/IRVE, pourquoi se développe-t-il si lentement ?

4. Qu'est-ce qui freine le développement du couplage ?

Nous développons dans ce chapitre les trois natures de freins au couplage : le risque économique, l'absence de réglementation spécifique et la complexité technique.

4.1. Un retour sur investissement incertain

⚡ Un calcul compliqué

Ce qui rebute avant tout les investisseurs ce ne sont pas les sommes à investir, c'est la difficulté à calculer un retour sur investissement fiable. Si les coûts d'installation sont relativement faciles à connaître, il en va différemment pour les coûts de fonctionnement et les revenus et la formation des prix est incertaine sur le long terme.

Aujourd'hui, il existe des obligations et des subventions pour l'installation de bornes de recharge, d'un côté, et pour celle de panneaux solaires de l'autre. Quant au couplage physique entre les deux matériels, il n'existe ni obligation ni soutien.

Le premier frein au couplage EnR/IRVE est donc l'absence d'une vision de long terme permettant de garantir une rentabilité aux investisseurs. L'instabilité relative des mécanismes de prélèvement a empêché jusqu'à présent les investisseurs de trouver un modèle de rémunération rentable entre :

- Facturer le système EnR/IRVE et son installation ;
- Facturer le service d'exploitation et de maintenance (abonnement ou forfait) ;
- Revendre la production d'électricité non consommée par les IRVE ;
- Une combinaison de ces différents revenus.

⚡ Des batteries stationnaires encore trop chères

Nos interlocuteurs sont pratiquement unanimes :

le stockage stationnaire couplé aux IRVE ne présente pas, à ce jour, une rentabilité garantie, malgré les incitations et subventions.

Deux explications avancées :

1. Le coût encore élevé des batteries ;
2. De nouveau, le manque de visibilité sur les revenus pour amortir les coûts.

Intégrer du stockage stationnaire ouvrirait de nouvelles possibilités (comme la recharge rapide 100 % renouvelable à toute heure), mais compromettrait la rentabilité déjà fragile de l'investissement et les batteries de stockage sont actuellement majoritairement perçues comme une charge financière supplémentaire dans l'équation du couplage. Dans sa forme actuelle, le stockage stationnaire, couplé aux IRVE, ne connaîtra donc pas un développement significatif. Sa capacité à soulager le réseau n'est pas suffisante pour justifier ses coûts. Son essor véritable débutera dès que sa rentabilité sera garantie, que ce soit grâce à des subventions, des avancées techniques ou économiques (un domaine où le stockage ne brille pas encore suffisamment selon certains experts et qui nécessite des investissements non négligeables), ou en espérant que la tendance à la baisse des prix des batteries se poursuive, éventuellement favorisée par l'émergence de nouvelles gigafactories dans le futur.

Beaucoup d'entre eux estiment cependant que si les coûts de stockage baissaient suffisamment, l'autoconsommation pourrait fortement se développer. Un tel essor aurait des répercussions positives sur la combinaison EnR/IRVE/Batterie de stockage stationnaire, en éliminant la contrainte liée aux sources d'énergie renouvelable qui ne peuvent fournir de l'électricité qu'en fonction de l'heure ou des conditions météorologiques. Il nous a également été rapporté que l'évolution de l'autoconsommation est étroitement surveillée par d'importants acteurs privés, notamment industriels, qui possèdent d'importants parcs de stationnement

et de vastes entrepôts susceptibles d'accueillir des installations de panneaux solaires. Bien que l'auto-consommation à grande échelle ne semble pas encore réalisable pour l'instant, elle demeure un sujet sérieusement envisagé en raison des avantages économiques potentiels qu'elle pourrait générer.

4.2. Le couplage, un impensé réglementaire

La loi d'orientation des mobilités (LOM) régit le déploiement des infrastructures de recharge des véhicules électriques, la loi climat et résilience régit le déploiement des panneaux solaires pour les toitures et la loi relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables régit le déploiement des ombrières de parking.

Mais, pensés séparément, ces textes n'envisagent pas la possibilité du couplage. On pourrait en dire autant du TURPE.

En pratique, cet impensé affecte les porteurs de projet. Quelques illustrations :

- La compétence IRVE est une prérogative de la commune²³, mais qui peut être confiée à des syndicats d'énergie ou des intercommunalités. La production d'énergies renouvelables est, elle, une prérogative mixte, incluant les communes²⁴, les régions²⁵ et l'Etat. Par conséquent il n'y a pas de maître d'ouvrage naturel pour le couplage dans l'espace public ;
- **Les permis de construire et d'installer sont instruits et délivrés à l'issue de procédures totalement distinctes**, ce qui peut rallonger le délai total d'un projet et ajoute de l'incertitude ;
- Un consommateur final est une personne physique ou morale achetant de l'électricité pour sa propre consommation (art. 2, alinéa 3 de la directive (UE) 2019/944 du 5 juin 2019). **Dans le cadre des bornes IRVE, le consommateur final serait donc l'utilisateur de la borne et non l'exploitant des bornes IRVE, ce qui peut être pénalisant pour les opérations d'autoconsommation ;**
- **Le TURPE taxe deux fois la recharge bidirectionnelle. La seconde taxation est appliquée à la deuxième recharge**, qui suit l'injection au réseau électrique ou au bâtiment/maison. Pour une même énergie dans la batterie, l'électromobiliste est donc obligé de payer deux fois le TURPE et la TVA. Ce modèle tarifaire de double taxation nuit donc grandement à la rentabilité du couplage. À titre de comparaison, il n'existe pas une double taxation de la TICFE (Taxe Intérieure sur la Consommation Finale d'Électricité).

4.3. Un couplage techniquement complexe

Derrière la simplicité du concept de couplage, sa mise en œuvre opérationnelle est techniquement complexe pour aboutir à un système efficace.

Le couplage associe plusieurs composants :

- En base, les panneaux photovoltaïques, les bornes de recharges et leurs connexions électriques ;
- Mais aussi un gestionnaire d'énergie local connecté pour optimiser les flux d'énergie ;
- Et encore un mécanisme de comptage des flux d'énergie ;
- Et enfin, idéalement, une batterie de stockage stationnaire pour stocker les surplus immédiats. Or si quelques entreprises petites ou grandes innovent, le marché n'offre pas encore de solutions éprouvées à grande échelle.

En particulier :

- La majorité des bornes actuelles en service ne dispose pas de mécanisme de comptage ;
- Il n'existe pas de standard de fabrication ou de connexion de ces composants facilitant le couplage. Enfin, l'installation d'un système couplé requiert d'associer différents savoir-faire techniques au sein d'une même équipe. La main d'œuvre qualifiée manque cruellement aujourd'hui.

²³ Article L.5215-20 du code général des collectivités territoriales (CGCT).

²⁴ Articles L.2224-31 à 2224-34 du CGCT.


²⁵ Article 88 de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010.



*Préconisations aux
pouvoirs publics*

5. Préconisations aux pouvoirs publics

Le groupe de travail a listé collaborativement les grands points suivants qui doivent faire l'objet d'une précision, d'une évolution ou d'une révision réglementaire qui sera détaillée dans ce chapitre²⁶.

 Préconisation 1 Harmoniser les règles de déploiement des EnR et IRVE	
Parties prenantes : État	Leviers : Modification(s) législative(s) et réglementaire(s)
Textes : LOM, Loi APER, Loi Climat et Résilience, Transposition EPBD, Projet de Loi PLF, Arrêté tarifaire du 06 octobre 2021	

Inciter à l'utilisation de batteries dans le cadre des dispositifs de soutien aux énergies renouvelables

L'article 6 de l'arrêté tarifaire du 06 octobre 2021 dispose que le dispositif de stockage ne peut être chargé que, par exemple, par une installation photovoltaïque : aucune puissance soutirée du réseau ne doit servir à charger la batterie. Dans ce schéma, le stockage par batteries n'existe pas vu du réseau et ne sert qu'à gérer la consommation de l'auto-producteur. Cette condition constitue une limite à l'utilisation des batteries couplées à des panneaux photovoltaïques, des dispositifs de cogénération ou d'autres sources d'énergie. Nous estimons nécessaire d'ouvrir le marché de l'optimisation de la gestion de la flexibilité des clients auto-consommateurs résidentiels individuels comme collectifs et donc de faire évoluer cet arrêté pour le mettre en cohérence avec la transposition des directives sur le stockage afin de permettre à une batterie d'être exploitée au mieux de son potentiel. Pour cela, les conditions d'accès au tarif à injection partielle (« vente en surplus ») doivent être modifiées pour permettre à une batterie (stationnaire ou de véhicule électrique) d'être chargée à partir du réseau. Afin de prévenir tout effet d'aubaine, un encadrement ad hoc des volumes maximales injectables par l'installation au global devront être définis selon les niveaux de puissance des installations de production et de stockage.

Cette disposition augmentera tant les bénéfices de cette solution pour les gestionnaires de réseau que son intérêt économique pour les utilisateurs, en leur offrant la possibilité d'optimiser leur portefeuille de flexibilité (et notamment leur soutirage heures pleines/heures creuses).

En outre, pour les installations résidentielles comme pour les installations partagées, une réflexion sur le soutien explicite au stockage par batterie doit être menée et conduire à un soutien à la maximisation de l'autoconsommation via les IRVE.

Définir un schéma directeur national EnR/IRVE

Les obligations de déploiement des infrastructures de recharge et des moyens de production d'énergies renouvelables s'accroissent et se multiplient afin de satisfaire les obligations réglementaires ainsi que les besoins des utilisateurs. Pour assurer l'intégration des EnR et des IRVE aux réseaux électriques et assurer leur couplage tout en préservant la sûreté du système et en maîtrisant les coûts, il est indispensable que soit élaboré un schéma directeur national de déploiement des IRVE-EnR. Ce schéma directeur est un outil indispensable pour coordonner les différentes actions des deux écosystèmes ciblant aussi bien la production, la consommation que la distribution d'énergie. Il permettra aussi à l'ensemble des parties prenantes des deux écosystèmes de se coordonner (EDF, RTE, Enedis, fournisseurs d'électricité, concessionnaires autoroutiers, exploitants d'aires de service et opérateurs de bornes de recharge...), sous l'égide de l'Etat, et constituera une contribution à la nécessaire planification écologique.

²⁶ Les recommandations dédiées au pilotage de la recharge et le V2X ont été élaborées dans un autre livre blanc, publié par l'Avere-France.
<https://www.averre-france.org/wp-content/uploads/2023/11/202311-Livre-Blanc-pilotage-de-la-recharge-et-V2X.pdf>



Préconisation 2

Développer des incitations financières pour l'installation des sites mixtes et les solutions de recharge innovante

Parties prenantes : État

Leviers : Modification(s) législative(s) et réglementaire(s), soutien aux investissements

Textes : PLF, code général des impôts

Nous préconisons d'assurer une bonne coordination des modes de soutien actuels pour l'installation des bornes de recharge et l'installation des ombrières photovoltaïques, afin de s'assurer que les utilisateurs proposant une solution de couplage aient un soutien adéquat au moins égal à des projets individuels et en phase avec les bénéfices qu'ils peuvent apporter en termes d'équilibrage du système électrique.

⚡ Développer l'incitation financière à l'installation de solutions de couplage indirect et intégrer ces solutions comme des possibilités dans le cadre des futurs appels d'offres flexibilités prévus par la loi climat et résilience : points de charge connectés et pilotés, notamment permettant le pilotage dynamique ou bidirectionnel

Nous proposons la mise en œuvre d'un projet global de soutien de la filière dans le cadre de la loi de finances (PLF) : bonification des subventions pour les bornes de recharge pilotées et connectées, permettant de réaliser le pilotage dynamique et/ou bidirectionnel. Ceci permet d'augmenter les volumes et générer des économies d'échelle. Nous considérons que les subventions doivent varier en fonction du prix de la borne de recharge. Par exemple, une borne de recharge bidirectionnelle pourrait recevoir un montant de subventions supérieur à une borne de recharge unidirectionnelle, en considérant que son installation nécessite plus d'investissements.

⚡ Développer l'incitation financière à l'installation de solutions de couplage direct : des panneaux photovoltaïques, borne de recharge et batteries de stockage

L'autoconsommation photovoltaïque (PV + borne de recharge + stockage stationnaire) maximise l'utilisation des énergies renouvelables. En fait, l'accent est de plus en plus mis sur « l'intégration au réseau » des installations photovoltaïques, c'est-à-dire l'injection contrôlée d'électricité solaire et la stabilisation des réseaux grâce à un stockage stationnaire et mobile décentralisé. Vue l'accélération du déploiement de la mobilité électrique et l'installation des sources d'énergies renouvelables, notamment les ombrières PV, nous estimons intéressant d'accorder des subventions dédiées à l'installation de ce type de couplage direct à domicile comme en secteur tertiaire. C'est déjà le cas en Allemagne, où il est possible d'obtenir jusqu'à 10.200 euros de subventions pour une installation solaire, un accumulateur et une borne de recharge dans le cas résidentiel individuel.

⚡ Accompagner les expérimentations du couplage EnR/IRVE par des appels à projets

Si les pouvoirs publics n'ont que peu d'influence sur les freins technologiques associés au couplage, ils peuvent en revanche encourager l'innovation dans le domaine des IRVE ou des batteries de stockage, par le biais d'appels à projets ou de crédits destinés à la recherche afin d'explorer le potentiel du couplage EnR/IRVE. En effet, le succès du couplage EnR/IRVE repose sur la mobilisation d'un écosystème complet comprenant les énergéticiens, opérateurs de bornes de charge, installateurs d'énergies renouvelables, constructeurs automobiles et fournisseurs de matériels. Nous proposons, au vu des bénéfices prometteurs de cette technologie, d'imiter les projets déjà initiés, détaillés en annexe, en créant en France plus d'expérimentations à grande échelle permettant de lancer une filière nationale qui considère les spécificités du marché français. Il est également intéressant d'ajouter des incitations dédiées au couplage aux appels d'offre de l'ADEME pour les projets d'exploitation contenant des parts solaires ou éoliennes.

La démarche aurait plusieurs objectifs :

- Rassembler et faire travailler ensemble les acteurs de la filière sur cette technologie pour apprendre et construire ensemble une expertise française sur le sujet ;
- Démontrer la pertinence technico-économique du couplage EnR/IRVE et des flexibilités (smart charging et V2X) à répondre aux besoins des différents marchés de l'énergie à un coût compétitif, à travers la mise en place d'expérimentations sur des mécanismes pour le moment difficiles d'accès ;
- Accompagner et valider l'acceptabilité de cette technologie par différentes typologies de clients. Nous préconisons la mise en place de ses recommandations en France métropolitaine comme dans les zones non interconnectées (ZNI) où le système électrique est encore très carboné.



Préconisation 3

Réfléchir à une évolution des règles du TURPE qui reflètent mieux l'impact du couplage EnR/IRVE sur les besoins d'investissement sur le réseau de transport et de distribution

Parties prenantes : Gestionnaire de Réseau de Distribution (GRD), Gestionnaire de Réseau de Transport (GRT), CRE

Leviers : Délibération tarifaire de la CRE

Textes : PLF, code général des impôts

Même si dans certains cas le TURPE contribue au financement du déploiement IRVE et des ombrières PV par le taux de réfaction, la structuration du TURPE présente un levier d'accroissement de la valeur économique du couplage.

Dans le cas du pilotage statique et dynamique, la structuration actuelle du TURPE ne valorise pas l'impact positif de ce type de décalage de la recharge sur les investissements du réseau de distribution et de transport.

Dans le cas de la recharge bidirectionnelle, l'apport des "batteries roulantes" que sont les véhicules électriques doit se refléter dans le niveau de TURPE demandé dans la mesure où cela peut rendre des services à l'équilibrage du réseau électrique au global, de la même manière que les batteries stationnaires raccordées au réseau de transport ou certains grands consommateurs.

Pour traiter cette problématique, des organismes comme la CRE travaillent actuellement sur des modèles de contrats flexibles et/ou cycliques qui permettraient de ne pas payer une partie du TURPE pour le soutirage sur le réseau, dans des cas spécifiques. Ce type de réflexions est en cours et pourrait avoir comme conséquence une hausse du TURPE pour d'autres utilisateurs par suite de la réduction des revenus d'Enedis et afin de compenser les pertes que ces contrats amèneraient, sauf s'il est démontré que les services rendus permettent effectivement de diminuer l'enveloppe affectée aux services systèmes par exemple. Nous soulignons que les services réalisés par le véhicule électrique à partir du pilotage de la recharge et le V2X présentent des gains pour les réseaux de distribution et de transport.

Il est nécessaire donc de réévaluer la différenciation temporelle du prix du kWh en HP/HC et la structuration du TURPE afin d'envoyer les bons signaux économiques et d'adopter une structure dynamique du TURPE afin de valoriser au mieux les services proposés par le véhicule électrique, ou tout type de stockage de l'électricité. L'évolution des règles du TURPE doit refléter l'intérêt collectif plutôt que l'intérêt d'une seule partie prenante.



Préconisation 4

Pérenniser les objectifs de la TIRUERT au-delà de 2030, acter son extension à la recharge privée, définir la notion de connexion directe pour son application et la valoriser dans le cadre de l'autoconsommation collective

Parties prenantes : État

Leviers : Modification(s) législative(s) et réglementaire(s)

Textes : PLF, code général des impôts

La TIRUERT est une taxe incitative qui peut soutenir le déploiement des infrastructures de recharge des véhicules électriques en fournissant une rémunération supplémentaire aux opérateurs, favoriser l'intégration des énergies renouvelables dans le secteur du transport et valoriser le couplage EnR/IRVE, tout en évitant d'agir sur le budget de l'Etat.

⚡ Pérenniser les objectifs de la TIRUERT au-delà de 2030

Comme indiqué dans ce rapport, l'incorporation de cette taxe représente un soutien aux opérateurs de recharge sur le court terme. Cependant, il est plus difficile de prévoir les gains associés sur le long terme. Pour ces raisons et afin de durablement soutenir la filière du couplage, **nous préconisons d'allonger fortement le temps d'application des objectifs de la TIRUERT, au-delà de 2030, de manière à inciter les acteurs à se lancer dès à présent, tout en garantissant un multiplicateur de l'ordre de 4 pour l'électricité et une visibilité à ce mécanisme via un mécanisme de signal prix.**

Par ailleurs, la loi des finances 2024 a acté l'instauration d'une taxe incitative relative à la réduction de l'intensité d'émission de Gaz à Effet de Serre (GES) dans les transports, à partir du 1^{er} janvier 2026, qui représentera une trajectoire basée sur les émissions de GES (TIRRIEGEST²⁷) (Article 105). Les modalités d'application de cette taxe incitative seront définies ultérieurement par décret et devront construire un cadre favorable au couplage.

⚡ Acter l'extension de la TIRUERT à la recharge privée

En outre, nous préconisons **l'extension de la TIRUERT à la recharge privée, à domicile comme au travail.** En effet, selon l'enquête Enedis/BVA²⁸, la recharge principale du véhicule électrique à domicile reste prédominante pour les personnes habitant en maison individuelle comme en immeuble, puisque la population globale privilégie ce type de recharge à 83 %, suivie par la recharge au travail. L'extension de la TIRUERT à la recharge privée offre une opportunité de promouvoir la transition verte dans les transports sans peser sur les finances publiques. Ce mécanisme fonctionne en dehors du budget, repose sur le marché et encourage les utilisateurs à adopter des pratiques plus respectueuses de l'environnement en leur fournissant un signal de prix pour la décarbonation de l'énergie. Cette extension compléterait le soutien de l'État à la mobilité électrique afin d'accélérer le passage aux véhicules électriques pour les particuliers et les professionnels et contribuerait partiellement à l'installation de bornes de recharge.

La question de l'extension de la TIRUERT à la recharge privée se pose en Europe, par suite d'un compromis sur la directive RED III imposant aux États membres la mise en place d'un mécanisme pour la recharge publique, avec la possibilité d'extension à la recharge privée. L'Allemagne a déjà étendu ce mécanisme en 2021, rapportant environ 270 millions d'euros aux propriétaires de véhicules électriques en 2022. L'Autriche a suivi l'exemple allemand, tandis que d'autres pays comme l'Espagne, la Belgique, la Finlande et le Luxembourg montrent un intérêt pour ce dispositif.

Pour garantir le succès de ce modèle dans le cadre de l'extension à la recharge privée, la France

²⁷ Pour l'objectif GES, la RED III favorise l'électricité renouvelable non via un multiplicateur de 4 mais via un comparateur fossile de référence plus élevé. Ainsi, 1 Mégajoule d'électricité compte pour 2,5 ou 3 fois plus de réduction de GES qu'1 MegaJoule de biocarburants.

²⁸ « Enquête comportementale auprès des possesseurs de véhicules électriques », Enedis, 2023

doit adopter une approche plus simple et distincte, semblable à l'approche allemande, en mettant en place un mécanisme forfaitaire et en fixant un seuil minimal d'agrégation pour les acteurs impliqués. C'est pour cela que, pour les membres des deux écosystèmes, nous préconisons l'extension de la TIRUERT à la recharge privée.

⚡ Prévoir un mécanisme de cliquet

La réussite du modèle allemand est notamment due à sa simplicité. A ce titre, les membres des deux écosystèmes soulignent l'importance de mettre en place un dispositif bien distinct et plus simple que ce qui est actuellement en vigueur pour la recharge ouverte au public. Par exemple, il est intéressant de prévoir un mécanisme de cliquet, à l'image du dispositif allemand, afin d'adapter les données du marché, en tenant en compte du taux d'incorporation ou du montant de la taxe, dès que certains seuils de quantité d'électricité utilisée pour la recharge sont atteints. Cela pourrait prendre la forme d'un prix plancher indirect pour le marché qui serait de nature à sécuriser le modèle économique des investissements en infrastructures des IRVE. Les membres des deux écosystèmes proposent, sur la base du modèle allemand, un mécanisme forfaitaire où le bénéficiaire serait le propriétaire du véhicule électrique (sur enregistrement du certificat d'immatriculation).

⚡ Définition de la notion de connexion directe pour l'application de la TIRUERT à la recharge électrique

L'application physique de la TIRUERT présente, à ce jour, des barrières techniques. Le mécanisme permet notamment la prise en compte d'une portion d'énergie renouvelable utilisée localement en cas de connexion directe avec une installation de production d'énergie renouvelable, conformément à l'article 27.3 de la Directive UE 2018/2001. Le seul scénario dans lequel la connexion directe, telle qu'elle est actuellement définie, est viable et applicable à grande échelle concerne les petites canopées détenues par les opérateurs d'IRVE eux-mêmes, généralement limitées à 50-80 kWc. Cependant, cela ne permet pas d'établir une synergie suffisante entre l'énergie solaire et la recharge électrique, notamment pour alléger la charge sur le réseau électrique.

Dans d'autres cas d'usage, notamment un supermarché avec toiture solaire, qui présentent le meilleur foisonnement des usages et un impact très positif sur le soutirage en puissance du réseau, la connexion directe entre les IRVE et les panneaux solaires n'est parfois pas possible. La probabilité pour que le PDL du supermarché et le PDL (Point de Livraison) de la station de recharge soient le même est faible, et entraîne dans la plupart des cas des coûts de CAPEX supplémentaires pour le raccordement. La vente d'électricité entre le propriétaire du supermarché et l'opérateur IRVE, quant à elle, pose des difficultés juridiques non négligeables. De plus, les propriétaires fonciers, concernés par l'obligation de l'installation des ombrières solaires, souhaitent généralement déléguer le sujet PV dans le cadre de la loi sur l'accélération des énergies renouvelables à un autre acteur que les opérateurs de recharge.

Afin de contourner ce problème, il est donc proposé que la définition de connexion puisse prendre en compte la situation où un PDL relie le bâtiment ou site de consommation existant et les panneaux solaires d'une part, et un autre PDL relie les bornes de recharge aux mêmes panneaux solaires d'autre part, en fixant des critères de localité qui pourraient reposer sur une des conditions suivantes :

- La distance entre l'installation ENR et la station de recharge ne dépasse pas 2 kilomètres, à l'image des critères de distance servant à la définition de l'autoconsommation collective ;
- L'installation ENR est sur la même emprise foncière que la station de recharge.

⚡ Valoriser la TIRUERT dans le cadre de l'autoconsommation collective

L'autoconsommation collective (ACC) est définie lorsque les producteurs ou les consommateurs finaux sont multiples ; ils doivent dans ce cas se regrouper au sein d'une entité juridique (association, coopérative...) créée à cet effet et, afin de s'assurer du caractère de proximité sur le réseau électrique, les points de soutirage et d'injection doivent être situés en aval d'un même poste de transformation d'électricité de moyenne en basse tension. **La TIRUERT pourrait être plus valorisée dans ce cadre, où la distance entre la production et la consommation ne dépasse pas les 2 kilomètres à condition que le point référence mesure (PRM) des IRVE soit dans un programme d'ACC.**



Préconisation 5

Lancer des campagnes de communication pour le déploiement des solutions couplées EnR/IRVE

Parties prenantes : État, collectivités et membres de l'écosystème

Leviers : Actions de communication et accompagnement du changement

Textes : La loi de programmation sur l'énergie et le climat (LPEC), Programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE), Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)

Les membres des deux écosystèmes considèrent qu'il est important d'informer et d'encourager les clients, en résidentiel ou en tertiaire, dès qu'ils souhaitent installer une borne ou une ombrière photovoltaïque sur la possibilité de mutualiser les deux solutions tout en mettant en avant les avantages du couplage EnR/IRVE selon les cas d'études, en intégrant des actions de communication et de sensibilisation ad hoc par les pouvoirs publics et tous les acteurs de l'écosystème. Pour les clients, il nous semble opportun de les accompagner par des guides destinés au grand public tout en indiquant les avantages du couplage EnR/IRVE et de répondre aux questions souvent posées portant une barrière au déploiement massif du couplage.

Nous soulignons également l'importance de promouvoir les mesures d'efficacité électrique telles que le pilotage de la recharge statique jusqu'au pilotage dynamique et le Vehicle-to-X (V2B, V2H et V2G) et les intégrer à la stratégie nationale, afin de développer le concept du couplage virtuel et la recharge/décharge pendant les heures souhaitées.

Également, nous préconisons la création de la marque **"Roulons au solaire"**, similaire à l'initiative **"We Drive Solar"** de la municipalité d'Utrecht au Pays Bas détaillé en Annexe, et fédérée par l'Avere-France et Enerplan. L'idée est donc d'accompagner les collectivités locales dans l'implémentation du concept du couplage EnR/IRVE et adopter des solutions de recharge des véhicules électriques innovantes : smart charging avec ou sans Vehicle-to-Grid, avec ou sans stockage stationnaire (de première vie ou de deuxième vie), par la mise en place d'un site internet et d'un réseau de membres (territoires, fournisseurs de solutions). La mise en place de cette initiative permettra d'augmenter la visibilité du couplage tout en partageant le retour d'expérience des différents sites pour un déploiement massif sur l'ensemble du territoire.



Préconisation 6

Mieux informer des contraintes réglementaires EnR et IRVE à venir

Parties prenantes : État

Leviers : Modification(s) législative(s) et réglementaire(s)


Textes : LOM, Loi APER, Loi climat et Résilience, Transposition EPBD, PLF

À ce jour, l'obligation de déploiement des IRVE est fixée par la LOM, avec un minimum légal de bornes installées et précâblées par places de parking avant début 2025 et en termes d'électrification des flottes. Ces obligations pourront varier en fonction la future transposition de la directive sur la performance énergétique des bâtiments avant début 2027.

Quant au déploiement des panneaux photovoltaïques, deux lois introduisent une obligation de solarisation

des parkings, avec des dates d'application variant entre 2026 et 2028, et des bâtiments, avec des dates d'application variant entre le 2023 et le 2027.

Il est clair que les modalités d'application de ces textes ne convergent pas vers les mêmes conditions en termes de dates d'échéance et d'obligations et qu'il est difficile de modifier les dates d'applications de ces textes fin d'imposer une même date pour les différentes installations. **Nous préconisons donc d'informer largement les parties prenantes des contraintes à venir et de mettre en lumière l'intérêt à réaliser en une seule fois deux séries de travaux qui devront de toutes façons être réalisées avant 2027. Cette étape permettra de mutualiser les travaux et de limiter les investissements des deux chantiers.**

 Préconisation 7 Développer les expertises techniques pour la filière du couplage	
Parties prenantes : État, organisme certification	Leviers : Accompagner les techniciens avec les formations dédiées aux nouveaux métiers
Textes : N/A	

La filière du couplage est en cours de lancement au niveau national et souffre déjà d'un manque au niveau de la main d'œuvre, comme la plupart des filières de l'énergie. Les différents acteurs estiment qu'il faut former, dès à présent, à cette solution émergente afin de rendre plus polyvalent les équipes d'installateurs notamment. Cette formation débute par **un investissement dans l'information** afin de rendre ce métier plus attractif aux nouveaux entrants dans la vie professionnelle ainsi qu'aux demandeurs d'emploi et aux personnels en reconversion. De plus, il faut accompagner les installateurs vers le nouveau métier de raccordement des moyens de production EnR et des bornes de recharge par **l'intégration des formations et des qualifications nécessaires dans leurs formations continues.**

Actuellement, plusieurs entreprises, qui vendent des solutions EnR, proposent l'installation des IRVE, et vice versa. Or, les techniciens, qui les installent, ne sont pas des électriciens qualifiés pour le métier IRVE et EnR. Pour ces raisons, les membres des deux écosystèmes, préconisent **l'obligation de former les techniciens et d'acquérir les qualifications nécessaires pour le métier du solaire (formations petite puissance (jusqu'à 36 kWc) et grande puissance (jusqu'à 500 kWc)) et celui de l'IRVE (Formations P1, P2 et P3), tout en augmentant le nombre de formateurs agréés.**

 Préconisation 8 Préparer l'évolution des matériels	
Parties prenantes : État	Leviers : Homologation, évolution du matériel
Textes : N/A	

⚡ Mettre à disposition non discriminatoire des différents données dynamiques

Les différents services de couplage et notamment le pilotage de la recharge nécessitent une mise en place non discriminatoire des données issues de tous les objets connectés participants au pilotage de la recharge. Il est essentiel de permettre la mise à disposition non-discriminatoire de données dynamiques issues des véhicules, des réseaux électriques, des fournisseurs d'électricité, des bâtiments, des bornes auprès

de tiers (fournisseurs de services de flexibilité, gestionnaires d'énergie, etc.), sous-réserve d'engager des initiatives de standardisation, et du respect des règles en matière de protection des données - RGPD - (notamment d'accord du client) et des dispositions des règlements européens.

⚡ Promouvoir l'installation des gestionnaires d'énergie

Comme indiqué dans le début de cette étude, le couplage physique EnR/IRVE est encore perçu comme une innovation, toujours en phase d'expérimentation, même s'il existe à l'heure actuelle quelques entreprises qui proposent des solutions opérationnelles de couplage et des ombrières PV – IRVE. Il est donc primordial de promouvoir l'installation des gestionnaires d'énergie ou les dispositifs de comptage intelligents de l'électricité dans les habitations permettant l'optimisation des flux énergétiques et permettant bénéficier au maximum du potentiel du couplage EnR/IRVE.

⚡ Homologuer les différents matériels compatibles

Les membres des deux écosystèmes préconisent de préparer la compatibilité des matériels avec le couplage qui sera par nature imposé les prochaines années dans de nombreux cas (résidentiel, aires de services, parcs de stationnement). Homologuer les différents matériels compatibles avec le couplage et assurer une connectivité afin de préparer l'arrivée du pilotage dynamique de la recharge qui suit en temps réel les signaux externes de production EnR, signal prix d'électricité et même l'empreinte carbone de la recharge dans le court terme et de l'implémentation de la recharge bidirectionnelle, V2H, V2B et V2G, pour le moyen et le long terme présente une étape primordiale.

⚡ Garantir une interopérabilité de bout en bout

Il est également important d'accélérer la collaboration entre les différents membres des deux écosystèmes au niveau national et Européen (énergéticiens, constructeurs automobiles, opérateurs de recharge, etc.) afin de définir et d'harmoniser les différents cas d'usage (pilotage tarifaire, effacement, autoconsommation, Vehicle-to-X, etc.), construire un langage commun (modèle de données, protocoles, etc.), pour garantir une interopérabilité de bout en bout.



6. Conclusion

Le couplage EnR/IRVE s'est bien développé depuis notre dernière étude il y a 3 ans. S'il est encore perçu comme une innovation, certaines solutions clés en main sont désormais sur le marché. Il ne manque désormais plus que quelques éléments (réglementaires d'une part, et commerciaux d'autres parts) et quelques points de rentabilité pour faire du couplage physique derrière un même point de raccordement une réalité commune. Le cas d'usage du secteur résidentiel individuel serait un des terrains de jeu privilégié en faisant de la maison un centre d'usage EnR/IRVE/Batterie de stockage stationnaire centré autour d'un compteur intelligent et d'un système de management de l'énergie maximisant l'auto-consommation. En se basant sur ce modèle, le couplage EnR/IRVE serait non seulement plus facile à mettre en place (foncier acquis, disponibilité du VE branché sur de longues périodes) mais surtout il permettrait de plus facilement faire émerger des innovations comme le V2X ou le stockage stationnaire. D'autres cas au niveau des opérateurs pourraient aussi devenir intéressants sur des terrains de plus grande échelle (grande distribution, parkings d'entreprise, parking relai, etc.).

Les expertises remontées au cours de nos entretiens nous poussent à croire que le couplage physique présente la première brique vers laquelle se tourner pour développer des synergies entre le véhicule électrique et les énergies renouvelables. En effet, le couplage virtuel par les marchés et le réseau électrique en envoyant les bonnes incitations tarifaires et via des prix de marché régulant correctement le dispatching va prendre de plus en plus d'ampleur dans les prochaines années, dans la mesure où tous les utilisateurs ne pourront pas disposer des deux équipements, mais devront tout de même pouvoir apporter (et bénéficier) de la flexibilité que l'ensemble du système électrique pourrait avoir.

Ce rapport présente une liste de recommandations et de préconisations pour les pouvoirs publics afin de développer les synergies entre la mobilité électrique et les énergies renouvelables. Le couplage EnR/IRVE est donc une technologie dont il faudra suivre la trajectoire dans les années à suivre : il est probable que cette dernière vienne à se développer de manière exponentielle si les bonnes conditions venaient à être réunies.



Crédits photos Kallista Energy

7. Remerciements

Ce document a été élaboré sur la base des réflexions du groupe de travail « Couplage EnR/IRVE » de l'Avere-France, Enerplan et le SER sur l'année 2023. Il constitue une version à jour de l'étude "Énergie photovoltaïque et mobilité électrique : quelles synergies pour la transition énergétique ? Retours d'expérience des pionniers" publiée en 2021.

Les quatre institutions souhaitent remercier les organismes qui ont consacré de leur temps pour répondre à nos questions, donner des avis et des exemples et participer au groupe de travail. Il est important de souligner que le présent rapport ne constitue pas un engagement pour les organismes concernés. Les recommandations présentées dans ce document relèvent exclusivement de la responsabilité des associations impliquées dans cette initiative.

- APAVE
- Arkolia
- Atlante
- Banque des Territoires
Caisse des Dépôts
- BayWa r.e.
- BCTG Avocats
- BORALEX
- Borne Recharge Service
- Cabinet BRUN CESSAC
- ChargePoint
- CentraleSupélec
- Commission de Régulation
de l'Énergie (CRE)
- CVE Group
- Delta Electronics (B.V)
- DKV Mobility
- Dream Energy
- Drop'n Plug
- Eaton
- EDF
- Eiffage
- Ekwateur
- Electra
- Enedis
- ENGIE
- ENGIE Solutions
- EOVA
- FNCCR
- Green Light House
Développement (GLHD)
- Helexia
- Idex
- INITIAL Expertise
- JPee
- Kallista
- Métropole de Nice
- Mob-Energy
- Mobilize Power Solutions
- Morgan Owona
- Mylight Systems
- NW Group
- Ormazabal
- Renault SAS
- Renault Trucks
- RTE
- Schneider Electric
- SCRELEC
- See You Sun
- SEM Energies Hauts de France
- SERCE
- Syndicat intercommunal
d'énergie du Maine et Loire
(SIEML)
- Syndicat intercommunal pour
le gaz et l'électricité
en Île-de-France (SIGEIF)
- SIPLEC
- SolarMobil
- Solutions30
- Tesla
- TotalEnergies
- Tryba Energy
- Union Bretonne Hôtellerie
de Plein Air (UBHPA)
- VINCI Autoroutes
- Volkswagen
- Volkswind France
- Volitalia



8. Termes et abréviations

- ACC** : Autoconsommation Collective
- AFIR** : Alternative Fuels Infrastructure Regulation
- AO** : Appel d'Offres
- APER** : La loi relative à l'Accélération de la Production d'Energies Renouvelables
- CAFE** : Corporate Average Fuel Economy
- CEE** : Certificats d'Economie d'Energie
- CRE** : Commission de Régulation de l'Energie
- CSPE** : La taxe sur l'électricité payée par les entreprises, les collectivités et les particuliers
- EnR** : Energies Renouvelables
- EPBD** : Energy Performance of Buildings Directive
- ERP** : Etablissements Recevant du Public
- GES** : Gaz à Effet de Serre
- GRD** : Gestionnaire de Réseau de Distribution
- GRT** : Gestionnaire de Réseau de Transport
- HP/HC** : Heures Pleines / Heures Creuses
- HEMS** : Home Energy Management System
- IRVE** : Infrastructure de Recharge de Véhicules Electriques
- kWc** : KiloWatt-crête
- LOM** : La Loi d'Orientation des Mobilités
- LPEC** : La Loi de Programmation sur l'Energie et le Climat
- PDL** : Point de Livraison
- PLF** : Projet de Loi de Finances
- PPA** : Power Purchase Agreement
- PPE** : Politique Pluriannuelle de l'Energie
- PRM** : Point Référence Mesure
- PV** : PhotoVoltaïque
- RED** : Renewable Energy Directive
- RSE** : Responsabilité Sociétale des Entreprises
- SDIRVE** : Schéma Directeur des Infrastructures de Recharges de Véhicules Electriques
- SFEC** : Stratégie Française pour l'Energie et le Climat
- SNBC** : Stratégie Nationale Bas-Carbone
- TICFE** : Taxe Intérieure sur la Consommation Finale d'Électricité
- TIRRIEGEST** : Taxe Incitative Relative à la Réduction de l'Intensité d'Emission de Gaz à Effet de Serre dans les Transports
- TIRUERT** : Taxe Incitative Relative à l'Utilisation d'Energie Renouvelable dans le Transport
- TCO** : Total Cost of Ownership
- TURPE** : Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Electricité
- TVA** : La Taxe sur la Valeur Ajoutée
- UE** : Union Européenne
- VE** : Véhicules Electriques
- V1G** : Smart Charging
- V2B** : Vehicle-to-Building
- V2G** : Vehicle-to-Grid
- V2H** : Vehicle-to-Home
- V2X** : Vehicle-to-Everything
- ZNI** : Zone Non Interconnectée

9. Annexes

9.1. Un panel de solutions pour le couplage PV/IRVE

Partout en France, de nombreux projets fleurissent et expérimentent la synergie IRVE et PV par le biais de diverses technologies telles que les recharges intelligentes ou bien encore les systèmes de stockage. Les projets décrits ci-dessous permettent de dresser un état des lieux de ces solutions innovantes.

Hypermarché Moulins-Averme

L'hypermarché E.Leclerc de Moulins-Averme (Auvergne) a décidé en 2021 de recouvrir son parking de 1 500 places de panneaux solaires en ombrières. L'installation s'étend sur 22 000m², soit environ 4600 modules. La puissance maximale estimée est de 4,2 mégawatts-crête, ce qui en fait l'une des centrales les plus importantes construite pour le compte d'une grande surface française. EDF, qui a participé au projet (par le biais de sa filiale de mobilité électrique IZIVIA), prévoit 4,8 GWh de production annuelle et 90 tonnes d'émissions de CO₂ évitées. Ce dispositif est complété par 69 bornes de recharge, lentes et rapides (45 bornes de 7 kW et 24 bornes de 22 kW). L'objectif premier du projet n'était pas la mobilité électrique, mais bien la production d'électricité. EDF annonçait en septembre 2022, que 1 000 foyers étaient alimentés par la production totale du parc solaire. L'inclusion d'IRVE dans le projet a été faite pour répondre à l'impératif réglementaire introduit par la loi LOM, car la demande en recharge est faible dans les zones rurales où se situent l'hypermarché. Pour pallier ce problème, le centre commercial a décidé de faire de ses bornes un argument commercial, en fixant l'électricité à un prix très attractif (33 cts/KWh) pour attirer davantage de clients.

Les ombrières photovoltaïques du Pays S.U.U (intercommunalité)

L'association Pays S.U.U (composée des Communautés de Communes de Serre-Ponçon et de la Vallée de l'Ubaye Serre-Ponçon, toutes deux situées dans les Hautes-Alpes) a lancé entre 2018 et 2019 ce qui était alors la 1^{re} expérimentation d'ombrière solaire équipée de batteries de stockage stationnaire en France. La structure, installée sur une aire de covoiturage, permet de recharger 2 véhicules en même temps, mais aussi de réinjecter l'excédent d'électricité produite dans le réseau. L'objectif du projet étant environnemental (Le territoire ayant pour objectif de devenir un Territoire à Energie Positive (TEPOS) d'ici 2050) l'infrastructure est en bois des Alpes certifié et les batteries sont réutilisées car issues de véhicules électriques considérés comme en fin de vie. Cette initiative de récupération de batteries usagées nous montre qu'il est possible de réduire les coûts du couplage EnR/IRVE/stockage, dont le principal frein reste encore son prix élevé. La construction de cette ombrière est aussi représentative de l'importance des acteurs publics dans le financement et la réalisation de projets pilotes d'expérimentation, à condition que les élus locaux agissent en tant que leviers.

Carrefour de Bordeaux-Ferry

En octobre 2023, l'hypermarché Carrefour de Bordeaux-Ferry (Nouvelle-Aquitaine) annonçait avoir réalisé 39 % d'économies d'énergie en août 2023, par rapport à 2022. Ce résultat a été obtenu après plusieurs missions d'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment, dans l'optique de réduire les dépenses du magasin. Parmi ces différents chantiers, on peut compter un projet d'autoconsommation : l'équipement du parking de 5 ombrières photovoltaïques, accueillant 540 panneaux solaires. D'une puissance maximale de 216 kWc, ces derniers alimentent 7 bornes de recharge à destination des clients du centre commercial. L'installation de ces équipements s'est faite de manière non-invasive, puisque plus de 50 % des places de parking sont restées accessibles durant toute la durée du chantier qui n'a duré que 20 jours. L'installation d'un système de couplage IRVE a donc permis de réduire les délais de chantier, véritable argument pour des acteurs privés comme un hypermarché, où les places de parking doivent être utilisables en permanence. L'installation de systèmes de couplage, lorsqu'elle est réalisée dans de telles conditions est donc à considérer comme une opération peu invasive pour les utilisateurs.

La ville de Le Puy-en-Velay

Une Tonne de CO₂ économisée par an. C'est la promesse de la ville du Puy-en-Velay (Haute-Loire) lors de l'installation en 2015 d'une ombrière photovoltaïque couplée à une batterie de stockage et une IRVE « intelligente », qui peut stocker l'excédent d'énergie produite dans la batterie, s'étendant sur 30 m², l'ombrière possède une puissance totale de 5,8 kWc, pour une production annuelle estimée à 6 700 kWh. Cette installation est une solution clé en main, (C'est-à-dire que le produit vendu et installé est un système de couplage EnR/IRVE, et non pas un panneau solaire et une borne séparée, qu'il faut ensuite relier) issue d'un programme de recherche du groupe Bolloré. Le but de ce projet est ici environnemental : la ville veut promouvoir les mobilités vertes, comme le soulignait le député-maire de l'époque, Laurent Wauquiez : «les collectivités doivent montrer l'exemple en adoptant des modèles de déplacements propres». Preuve de cette volonté d'encourager le passage au véhicule électrique, la municipalité avait temporairement adopté la gratuité

de la recharge. L'implication d'un grand groupe comme Bolloré dans des projets médiatisés tels que celui-ci nous laisse aussi penser que les acteurs publics et privés peuvent y participer pour des raisons d'image ou de RSE (responsabilité sociale des entreprises).

9.2. Des solutions de recharges intelligentes (V1G et V2G)

Projet aVEnir

Le projet aVEnir, piloté par Enedis, rassemble douze partenaires et acteurs de l'électromobilité : Renault Group, Stellantis, IZIVIA, Schneider Electric, Dreev, TotalEnergies, GIREVE, Trialog, Electric 55 Charging, Université Grenoble Alpes, Aix Marseille Université. Ce projet a été financé par l'Etat dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA), désormais intégré à France 2030, opéré par l'ADEME.

Lancé en 2019, l'objectif du projet est d'accompagner **le développement à grande échelle de la mobilité électrique en expérimentant les interactions entre le réseau public de distribution d'électricité, les bornes de recharges et les véhicules électriques**. Dans cette continuité, le projet a expérimenté diverses solutions de recharge intelligente dans différents paysages urbains : la Métropole de Lyon (urbain dense) et une partie de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (péri-urbain et rural).

Le projet aVEnir, clôturé fin juin 2023, a permis de conclure sur divers enseignements :

1. Les différentes solutions de recharge intelligentes ont été mises en œuvre avec succès. La technologie de charge bidirectionnelle dite « vehicle-to-grid » (V2G) favorisant la synchronisation entre production photovoltaïque et recharge des véhicules électriques a notamment été expérimentée. Le succès de cette expérimentation a permis de « poser la base et les briques technologiques pour l'industrialisation et le déploiement de ces solutions », d'après les conclusions d'Enedis.
2. L'analyse de la donnée est primordiale pour comprendre les comportements de recharge dans différents cas d'usage (recharge en voirie, en centre commercial, en parking tertiaire) et ainsi optimiser le raccordement des infrastructures de recharge. Plus de 660 000 sessions de charge ont pu être collectés tout au long du projet aVEnir.
3. Plusieurs enquêtes menées dans le cadre de ce projet et rassemblant près de 2000 répondants, montrent l'intérêt des Français pour les services de smart-charging.

> **Pour plus d'informations sur le projet, nous vous invitons à consulter le site web d'aVEnir.**

Projet Flexitanie

Le projet Flexitanie, initié par EDF et sa filiale DREEV, associe la Région Occitanie, l'AD'OCC et l'ADEME ainsi que des partenaires tels que le pôle de compétitivité Derbi, l'AVERE Occitanie, Clean Tech Vallée et Leader Occitanie.

Lancé en juillet 2020, le projet a pour ambition de recueillir les attentes et les perceptions des utilisateurs de véhicules électriques, et d'analyser les synergies potentielles avec la production d'énergie renouvelable. En plus de 3 ans, le projet a déployé plus d'une quarantaine de bornes de recharge « V2G » en région Occitanie.

En février 2022, **un succès marquant et concret est remporté**, grâce à Flexitanie : DREEV, co-entreprise entre EDF et NUVVE, et un des initiateurs du projet, est **certifié par RTE pour la participation à la réserve primaire de fréquence**. Il s'agit d'une première pour les véhicules électriques et la technologie V2G, et une preuve technique d'envergure : ce service système est parmi les plus exigeants techniquement, puisqu'il impose de pouvoir réagir rapidement aux écarts de fréquence.

Dans le cadre du projet Flexitanie, une étude prospective a également été réalisée et pilotée par la R&D d'EDF avec le soutien de l'ADEME. **L'étude met en avant plusieurs points tels que la réduction des écarts de fréquences des énergies renouvelables d'ici 2035.**

Début 2023, le projet Flexitanie s'élargit en expérimentant le déploiement de la recharge intelligente unidirectionnelle dite « V1G » tout en assurant la gestion des bornes V2G déjà en service. EDF prévoit de poursuivre des études avec l'ADEME pour livrer un retour d'expérience utilisateurs de ce projet.

> **Pour plus d'informations sur le projet, nous vous invitons à consulter le site web de Flexitanie.**

Projet Mobelsol

Le projet Mobelsol, initié en 2021 et soutenu par la Région Occitanie et l'ADEME, réunit quatre acteurs de l'écosystème de l'électro-mobilité (Tecsol, Sunchain, Sydeel 66 et Enedis) dans le but d'expérimenter le couplage solaire PV et IRVE au sein d'une autoconsommation collective.

En 2022, dans le cadre du projet Mobelsol, **Enedis** a initié un appel à contribution puis implémenté en 2023 la clé de réparation « full dynamique » permettant à plusieurs producteurs de participer à une opération d'autoconsommation collective.

En 2023, **un démonstrateur** a été mis en place sur une borne publique (réseau Révéo / Occitanie) de la commune de Rivesaltes (66) à l'usager à partir des courbes réelles de la recharge du véhicule et de l'installation solaire associée.

La prochaine étape est une étude technico-économique (profils de charge, signal tarifaire) à destination des collectivités afin d'intégrer une borne de recharge publique à une opération d'autoconsommation collective.

> **Pour plus d'informations sur le projet, nous vous invitons à consulter [le site web de Mobelsol](#)**

Sweencharge et autoconsommation collective

L'entreprise à mission Sween a développé SweenCharge, un système « intelligent » de charge pour véhicules électriques pouvant s'adapter aux opérations d'autoconsommation collective.

Comme expliqué dans l'article **d'environnement magazine**, « le système SweenCharge analyse en continu la production et la demande à différents niveaux de la communauté énergétique d'habitats et/ou de bâtiments tertiaires ou industriels et régule en conséquence la charge instantanée de véhicules associés pour optimiser l'utilisation de la ressource énergétique disponible ».

Le dispositif SweenCharge est aujourd'hui opérationnel au Cailar en petite Camargue dans le cadre de l'opération d'autoconsommation collective « Smart Lou Quila », rassemblant 13 unités de production et doté de trois véhicules électriques (1 en V1G et 2 en V2G).

10.3. Des solutions de stockage de l'énergie

Projet Lumelec x Eaton

Lumelec est une entreprise spécialisée dans l'installation électrique de pointe située en Poitou Charentes. Pour son site localisé à Neuville-de-Poitou dans la Vienne, l'entreprise a installé des panneaux photovoltaïques sur ses nouveaux bâtiments. Le site produit 100 kWc d'énergie PV à réinjecter dans le réseau et 50 kWc destiné à l'autoconsommation (au stockage et non à la revente).

Pour optimiser la gestion de son énergie, Lumelec a décidé de s'associer avec le groupe Eaton, spécialisé dans les systèmes électriques, pour la fourniture de quatre bornes de recharge et d'un système de stockage.

L'enjeu du projet est de permettre à Lumelec d'utiliser l'énergie photovoltaïque déjà produite sur place en optimisant la recharge des véhicules électriques des employés sans que l'entreprise n'ait besoin de modifier son contrat de fourniture d'électricité. Pour réaliser cet objectif, Lumelec s'est doté d'un système de stockage d'Eaton (20 kW/50 kWh) permettant d'une part de stocker une partie de l'énergie PV produite sur site et d'autre part de stocker l'énergie provenant des heures creuses du réseau, moins coûteuse. L'énergie stockée permettra en partie d'alimenter les bornes de recharge du site. D'après le communiqué d'Eaton, le défi a été relevé : « Le système de stockage fourni à Lumelec supportera toutes ses bornes de recharge sans que l'entreprise n'ait à modifier son contrat d'électricité, et si Lumelec souhaite ultérieurement ajouter d'autres bornes de recharge, le système pourra être étendu à cet effet. »

Projet DHL Express France x Mob Energy

Leader du transport express, DHL Express France élargit sa flotte électrique représentant aujourd'hui 25 % de sa flotte totale et prévoit 50 % de véhicules électriques d'ici fin 2024. En un an, l'entreprise a investi plus de 9 millions d'euros pour s'approvisionner avec 260 nouveaux véhicules électriques de livraison.

Comme mentionné dans le **communiqué de DHL**, pour de nombreux sites logistiques, l'enjeu est « **le rechargement simultané des véhicules** alors que la puissance disponible sur les sites est structurellement limitée. »

Pour relever le défi, l'entreprise de livraison s'est associée avec Mob Energy, jeune entreprise lyonnaise spécialisée dans la recharge des véhicules électriques pour son site localisé à Créteil. En automne 2023, le site s'est doté du cube de puissance Eiko, conçu par Mob Energy. La solution Eiko adoptée est constituée de 150 kWh de batteries de seconde vie d'origine Mercedes-Benz et permet de redistribuer l'énergie à une vingtaine de véhicules de manière simultanée.

Dans la prolongation de ce projet vertueux, le site de Créteil accueillera bientôt des panneaux photovoltaïques. L'énergie stockée sera alors prochainement constituée du surplus de l'énergie PV produite.

