



Électrification de la mobilité lourde longue distance

**Besoins et enjeux de
la recharge en itinérance**

Mars 2024

Préambule

Ce rapport, à l'initiative des neuf entreprises qui ont constitué un groupe de travail sur les besoins de recharge en itinérance des poids lourds électriques destinés au transport routier longue distance, représente dix-huit mois de travaux et d'échanges réalisés dans le strict respect de la confidentialité et du droit de la concurrence. La décarbonation du transport routier de marchandises, qui est l'un des enjeux européens et nationaux, couplée à la forte accélération du développement du poids lourd électrique à batterie longue distance ont été parmi les éléments déclencheurs de cette initiative. Alors qu'aucune étude publique n'avait jusqu'à présent été menée, il devenait nécessaire de pouvoir évaluer ces besoins avec méthode et par une approche spécifique, tant en termes de points de recharge que d'infrastructures électriques et routières. Et ce, de manière à pouvoir éclairer l'ensemble des parties prenantes et acteurs de la décarbonation du transport routier de marchandises.

Ainsi, **Enedis, TotalEnergies, VINCI Autoroutes, Iveco, MAN Truck & Bus France, Mercedes-Benz Trucks, Renault Trucks, Scania et Volvo Trucks** sont heureux de présenter ce rapport qui a vocation à être public, au service de tous, et ainsi à être diffusé largement auprès de tous les organismes publics et acteurs de la profession.

En résumé

L'électrification du transport routier de marchandises longue distance en France est un enjeu de la transition énergétique et d'aménagement du territoire. Sa réussite repose sur une planification concertée d'un grand nombre d'acteurs de la filière, afin de déployer d'ici à 2035 et sans délai les infrastructures électriques et routières pour la recharge en itinérance des poids lourds.

→ ENJEUX DU TRANSPORT ROUTIER DE MARCHANDISES LONGUE DISTANCE

- **En France, le transport routier représente 90 % des flux de marchandises** et 7 % des émissions de gaz à effet de serre. Pour répondre rapidement aux objectifs de décarbonation fixés par l'Union européenne, les constructeurs ont choisi de développer le poids lourd électrique à batterie, principale technologie zéro émission à l'échappement. Le succès de cette électrification repose notamment sur un déploiement adapté des infrastructures de recharge en itinérance.

→ BESOINS DE RECHARGE EN ITINÉRANCE

- **Une évaluation des besoins de recharge** a été établie à partir d'une modélisation fine du réseau routier, des points d'arrêt et des flux de poids lourds électriques, selon trois scénarios d'électrification.
- **D'ici à 2035, la consommation d'électricité des PL électriques en itinérance** devrait atteindre jusqu'à 3,5 térawattheures, avec un pic de puissance de 1,1 gigawatt, exigeant le déploiement de 10 000 points de recharge pour les pauses de longue durée et de 2 200 pour la recharge rapide sur 519 aires de services et de repos.

→ IMPACTS SUR LES INFRASTRUCTURES ÉLECTRIQUES ET ROUTIÈRES

- **L'analyse montre la très forte complémentarité** des besoins cumulés de recharge des poids lourds et des véhicules légers électriques, en actualisant l'étude Enedis/RTE de 2021⁽¹⁾ : les véhicules légers représentent 90 % du pic de puissance consommée par les points de charge installés en France pour la recharge en itinérance.
- **Une estimation optimale des travaux** à réaliser sur le réseau électrique est donc établie à partir des besoins de puissance mutualisés des poids lourds et des véhicules légers sur chaque aire : une soixantaine de postes de transformation HTB/HTA seront à renforcer ou à créer, et environ 630 millions d'euros d'investissements seront nécessaires d'ici à 2035, dont 91 % pour les besoins de la mobilité légère. Ce programme ne présente pas de difficulté technique, mais doit être planifié dès maintenant compte tenu des délais de réalisation de plusieurs années.
- **La transformation d'une partie des places de parking** pour poids lourds en points de recharge va engendrer des déficits de foncier potentiels : 50 % des places de parking a minima pourraient être équipées de points de recharge sur un quart des tronçons, alors que seulement un poids lourd sur huit serait un poids lourd électrique longue distance.

→ RECOMMANDATIONS POUR RÉUSSIR LA TRANSITION VERS UNE MOBILITÉ LOURDE DÉCARBONÉE

- **Instaurer une planification et une feuille de route** partagée et opposable, précisant les aménagements à réaliser sur les réseaux électriques et les infrastructures routières aux échéances 2027, 2030 et 2035, en cohérence avec les réglementations futures comme l'AFIR⁽²⁾.
- **Instituer des dispositifs réglementaires, administratifs et financiers** pour anticiper les demandes de raccordement, accélérer les démarches administratives et optimiser les investissements mutualisés sur les aires, en spécifiant le rôle et les responsabilités de chaque acteur.
- **Mettre en place des mesures incitatives** simples et cohérentes, avec une visibilité sur le long terme, afin d'encourager l'investissement privé dans le développement des poids lourds électriques à batterie et dans les infrastructures de recharge.

(1) Étude Enedis/RTE 2021 sur la mobilité légère longue distance.

(2) Alternative Fuel Infrastructure Regulation de l'Union européenne.

Chiffres à retenir à horizon 2035

630 M€

→ Investissements dans les infrastructures du réseau électrique pour couvrir le besoin en itinérance des voitures et poids lourds électriques.

10 000 + 2 200

→ Nombre de points de recharge lente et rapide à déployer sur 519 aires de services et de repos pour couvrir le besoin des poids lourds électriques.

Sommaire

Les enjeux

p. 5
Le contexte

p. 5
L'initiative et les objectifs
de l'étude

p. 6
Les hypothèses retenues



Les besoins

p. 8
**Méthode : une démarche
en trois étapes**

p. 8
Étape 1, une modélisation
du réseau routier avec
les principales aires d'arrêt

p. 9
Étape 2, la modélisation
du trafic sur la base
des données de transport
routier de marchandises

p. 10
Étape 3, trois scénarios
d'électrification de la mobilité
lourde

p. 12
Un comportement de roulage
et de recharge dicté par
les pauses réglementaires

p. 13
Une consommation et
une puissance intégrables
sur le réseau

p. 16
Des besoins d'infrastructures
importants, avec un enjeu foncier
dès 2035 sur certains axes

p. 17
Résultats clés



Les impacts



p. 18
**L'impact sur le réseau
électrique de transport
et de distribution**

p. 18
La nécessité de prendre en compte
de manière simultanée les besoins
de recharge des poids lourds et des
véhicules légers électriques

p. 19
Un besoin de puissance
cumulé principalement porté
par les véhicules légers

p. 22
Des besoins en infrastructures
réseaux concentrés sur le réseau
public de distribution d'électricité

p. 23
Des investissements de 630 millions
d'euros nécessaires sur le réseau
électrique d'ici à 2035

p. 25
**L'impact sur les infrastructures
du réseau routier**

p. 26
Chiffres clés

Les messages clés



p. 27
**Enjeu d'optimisation
des coûts et de réduction
des délais pour le réseau
électrique**

p. 27
Enjeu d'anticipation des travaux

p. 28
Enjeu de mutualisation des
raccordements sur une même aire

p. 29
Enjeu foncier

p. 30
Recommandations

Les enjeux de l'électrification du transport routier longue distance en France

1. Le contexte

En France, le transport routier de marchandises (TRM) représente près de 90% des flux terrestres de marchandises et 7% des émissions de gaz à effet de serre (GES)⁽³⁾. Cette part va rester prépondérante d'ici à 2035, même si un report vers le fret ferroviaire est à prévoir.

La filière du TRM est mobilisée pour décarboner rapidement ses activités, afin de réussir la réduction des émissions de GES selon les objectifs des réglementations européenne et française. Pour y parvenir, les constructeurs développent le poids lourd (PL) électrique à batterie (Battery Electric Vehicle – BEV), aujourd'hui la principale technologie zéro émission à l'échappement. Déjà disponibles pour la livraison urbaine et le transport régional, ces véhicules vont être produits à partir de 2024 par de nombreux constructeurs avec des batteries offrant une autonomie de plus de 400 kilomètres (km), ce qui permettra une recharge lors des pauses réglementaires. À partir de 2025, ces recharges seront très rapides grâce au Megawatt Charging System (MCS), un nouveau connecteur de charge haute puissance en cours de standardisation en Europe.

Ces technologies ouvrent la voie au PL électrique pour le transport de marchandises longue distance et à son adoption par les transporteurs. La réussite de cette

transition repose notamment sur le déploiement massif d'infrastructures de recharge : au dépôt et à destination, mais aussi en itinérance pour les longs trajets, avec des bornes ouvertes au public le long des grands axes routiers français et à proximité des zones logistiques.

1.1 L'initiative et les objectifs de l'étude

En 2022, Enedis, TotalEnergies, VINCI Autoroutes et six constructeurs européens – Iveco, MAN Truck & Bus France, Mercedes-Benz Trucks, Renault Trucks, Scania et Volvo Trucks – ont lancé un groupe de travail sur les infrastructures de recharge électrique pour les PL destinés au transport routier longue distance. Avec deux objectifs :

- Évaluer les besoins de recharge électrique en itinérance sur les grands axes routiers français pour le transport de marchandises longue distance d'ici à 2035, sur la base d'hypothèses concernant les caractéristiques des PL électriques et leur taux de pénétration. Dans cette démarche, les coûts des PL, des stations et de la recharge, ainsi que le coût total de possession (Total Cost of Ownership – TCO) de cette solution face au Diesel ou à d'autres technologies possibles, ne sont pas pris en compte.

(3) Source : Service des données et études statistiques (SDES) du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2019.



- Estimer l'impact des besoins de cette recharge électrique sur les infrastructures électriques et routières, notamment en évaluant les travaux et les investissements nécessaires pour adapter le réseau électrique de transport et distribution ⁽⁴⁾.

Le groupe de travail a mené l'ensemble de ses travaux dans le strict respect de la confidentialité et du droit de la concurrence. Les résultats présentés dans cette étude visent à apporter aux acteurs de la filière (pouvoirs publics, gestionnaires de réseau, opérateurs d'infrastructures de recharge et routières, transporteurs et logisticiens, constructeurs de PL, chargeurs) une vision et une quantification fiable à l'échelle nationale de la puissance, de l'énergie, du nombre de points de recharge et des travaux d'infrastructures nécessaires pour accélérer et rendre possible rapidement l'électrification et la décarbonation du transport routier de marchandises longue distance.

Afin de mieux évaluer l'impact sur les réseaux électriques des besoins en recharge, les besoins des PL ont été foisonnés à ceux des véhicules électriques légers (VE) ⁽⁵⁾ sur les aires de services d'autoroute qu'ils partagent. L'estimation des besoins en travaux et en investissements sur le réseau électrique exposée à la fin du document prend en compte ce cumul.

1.2 Les hypothèses retenues

1.2.1 Le transport routier longue distance versus régional.

Cette étude d'impact sur les infrastructures aborde le transport de marchandises longue distance effectué par des PL électriques nécessitant une recharge en itinérance. Elle ne prend pas en compte la recharge au dépôt et à destination en hub logistique. Les trajets dits longue distance se rapportent ici à des parcours d'un minimum de 350 km, effectués par des PL disposant d'une autonomie qui permet une recharge uniquement lors des pauses réglementaires. Les besoins de recharge en itinérance du transport régional ou local assuré sur des trajets plus courts par des PL de plus faible taille ou autonomie ne sont pas traités ici.

1.2.2 Les flux de marchandises considérés. Le transport routier de marchandises pris en compte est celui circulant sur le territoire français par tout PL immatriculé en France ou à l'étranger. Cela inclut :

- Le transport national de marchandises, effectué sur l'ensemble du territoire avec chargement et déchargement en France, réalisé par des véhicules français ou étrangers (cabotage).
- Le transport international de marchandises effectué en partie sur le territoire national, avec chargement ou déchargement en France.
- Le transit international de marchandises avec chargement et déchargement à l'étranger.

1.2.3 Le volume de marchandises transportées et les flux de PL. L'étude se base sur un trafic constant dans le temps sur chaque axe avec l'hypothèse d'une stabilité du volume total des marchandises transportées sur la longue distance et du nombre de trajets totaux réalisés sur le territoire français, d'ici à 2035. Ce choix repose



(4) La suite du rapport fait référence au réseau électrique en tant que réseau de transport et de distribution.

(5) Besoins basés sur les résultats de l'étude Enedis/RTE 2021 sur la mobilité légère longue distance, revus à l'aune des hypothèses actuelles d'électrification des véhicules légers.



sur le postulat que le report d'une partie du transport vers le fret ferroviaire et l'augmentation du taux de remplissage moyen des PL compenseront la croissance du trafic de marchandises. Son impact sur les résultats du modèle élaboré par l'étude reste faible comparé à celui des prévisions du taux de pénétration du PL électrique.

1.2.4 Le comportement de roulage et la réglementation.

Ne disposant d'aucune donnée sur les comportements futurs de roulage des PL électriques sur la longue distance, l'hypothèse de travail repose sur un comportement de roulage des conducteurs – durées de conduite et pauses – identique à celui d'un PL à moteur thermique. Ce postulat pourra être affiné sur la base des éléments qui seront collectés au fil des ans par les acteurs du transport routier de marchandises.

Le comportement de roulage est encadré par la réglementation en vigueur⁽⁶⁾. Celle-ci fixe notamment un temps de pause de 45 minutes minimum toutes les 4 h 30 de conduite, qui peut être réparti en une pause de 15 minutes suivie d'une seconde pause de 30 minutes minimum. Par ailleurs, elle limite la durée de conduite journalière à 9 heures maximum, prolongeable jusqu'à 10 heures deux fois par semaine.

Les constructeurs de PL vont commercialiser des véhicules électriques à batterie qui répondent aux comportements de roulage constatés et à la réglementation en vigueur, condition nécessaire pour l'adoption de cette technologie de la part des utilisateurs finaux.

1.2.5 Les axes du réseau routier français et les aires d'arrêt. L'approche se concentre sur les axes structurants du réseau routier français qui sont empruntés majoritairement par les PL. Les aires d'arrêt analysées, susceptibles d'accueillir des infrastructures de recharge de véhicules électriques (IRVE) pour PL, sont des aires de services et de repos existantes, ouvertes au public, situées le long des axes retenus pour l'étude. Les parkings privés et les aires accessibles au public installées à proximité mais en dehors de ces axes ne sont pas intégrés à l'étude.

1.2.6 Les technologies de PL électrique et de recharge.

Les besoins de recharge en itinérance sont déterminés sur la base d'une seule technologie de PL électrique, qui équipera les tracteurs et les gros porteurs. Dite longue distance, elle sera disponible à partir de fin 2024. Elle permet une autonomie et une capacité de recharge pour parcourir de longues distances (350 km à minima) en ne rechargeant les véhicules que lors des pauses réglementaires.

La technologie dite régionale n'est pas abordée ici, bien que certains PL pourraient avoir besoin d'être rechargés en itinérance. Cette solution d'une autonomie et d'une puissance de recharge moindres est utilisée par les PL électriques de plus faible poids total roulant autorisé (PTRA) et/ou sur des trajets plus courts, avec un retour au dépôt en fin de journée dans la plupart des cas (*lire p. 16 : Un modèle sensible à certaines hypothèses*).

L'étude s'appuie sur deux niveaux de puissance de recharge complémentaires : la recharge rapide, lors de pauses de courte durée, basée sur la technologie Megawatt Charging System (MCS), et la recharge lente, lors de temps de pauses longs, principalement la nuit.

La mobilité lourde en France, c'est...

616 500 poids lourds

immatriculés en France fin 2021, dont 307 400 porteurs, 219 900 tracteurs et 89 200 véhicules automoteurs spécialement aménagés (VASP)⁽⁷⁾.

1 607 Mt et 161 Md t.km

de marchandises en transport national⁽⁸⁾.

31 Mt et 12 Md t.km transportées en cabotage⁽⁸⁾.

307 Mt et 123 Md t.km* en transport international (entre la France et l'Europe) et en transit par la France⁽⁸⁾.

* t.km transportés sur le territoire français (estimation).

Mt : millions de tonnes.

Md t.km : milliards de tonnes-kilomètre.

(6) Pour des explications plus détaillées concernant ces réglementations : <https://www.ecologie.gouv.fr/temps-travail-des-conducteurs-routiers-transport-marchandises>

(7) Source : www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-parc-de-poids-lourds-est-en-legere-augmentation-au-1er-janvier-2022

(8) Sources : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-sur-le-transport-routier-de-marchandises-trm-en-france-et-en-europe> <https://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-annuel-des-transport-en-2022>

Les besoins de recharge en itinérance des poids lourds 100 % électriques

2. Méthode : une démarche en trois étapes

Les besoins de puissance des stations de recharge pour les poids lourds (PL) électriques ont été évalués en réalisant trois étapes successives :

1. La modélisation des principaux axes du réseau routier français. Appelée graphe du réseau routier, elle détaille les aires d'arrêt ainsi que les origines et les destinations des trajets des PL (couples origine/destination).
2. L'évaluation du flux de PL sur ce graphe entre chaque couple origine/destination.
3. L'application à ces flux de PL longue distance de trois scénarios de pénétration des PL électriques à batterie, puis le calcul des besoins de recharge en itinérance.

2.1 Étape 1, une modélisation du réseau routier avec les principales aires d'arrêt

Les axes routiers retenus dans le graphe du réseau français sont principalement des autoroutes, des routes nationales et quelques routes départementales avec des flux de PL significatifs, représentant un total de 23 000 kilomètres (km) cumulés répartis sur 460 axes.

Les 1 374 aires d'arrêt (aires de services, de repos et parkings PL) identifiées et intégrées dans la carte simplifiée page 9 (*Figure 1*) sont issues de la base de données de Bison Futé⁽⁹⁾. Cette base localise les aires de stationnement des PL situées sur ces axes et recense le nombre total de places. Elle a été complétée par des données issues de l'étude du Fraunhofer ISI⁽¹⁰⁾, qui fournit la localisation des aires d'arrêt les plus fréquentées par les PL sur l'ensemble du réseau routier européen, à partir des données télématiques de 400 000 PL européens.

Six cents points d'origine et de destination sont intégrés au modèle, distribués sur le territoire français afin de modéliser à une maille suffisamment fine les trajets des marchandises transportées. Leur définition s'appuie sur un travail de regroupement géographique des surfaces de bâtiments industriels, agricoles et commerciaux, issues de la base de données TOPO de l'Institut géographique national (IGN). Chaque point origine/destination est associé à un point d'entrée ou de sortie du réseau routier le plus proche. Des points origine/destination sont également définis au niveau des passages frontières pour intégrer dans la modélisation tous les trajets des PL depuis et vers l'étranger.

(9) Source : https://www.bison-fute.gouv.fr/directive-sti,id_sous_rubrique10423.html

(10) Source : Fraunhofer ISI : https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2021/ACEA_truckstop_report_update.pdf



2.2 Étape 2, la modélisation du trafic sur la base des données de transport routier de marchandises

2.2.1 Des flux annuels de PL estimés sur l'ensemble du réseau routier.

Les flux de PL sont calculés à partir du volume de marchandises transportées sur le réseau routier français. Pour chaque pavillon européen, l'enquête Transport routier de marchandises (TRM) et la base de données Eurostat⁽⁸⁾ fournissent pour le transport national et international, le transit et le cabotage, les tonnages de marchandises acheminées annuellement depuis et vers chaque département français et chaque région en Europe. Cette étude prend l'année 2017 pour référence. Le traitement des données correspondantes de ces deux sources permet d'évaluer les tonnes de marchandises transportées sur chaque trajet (entre chaque couple origine/destination) de notre modèle.

Les tonnes de marchandises transportées entre chaque couple origine/destination sont converties en nombre de trajets PL à partir des données de l'enquête TRM, qui indiquent le taux de chargement et le taux à vide des PL. Chaque itinéraire est défini à partir des trois hypothèses les plus pertinentes:

- L'itinéraire le plus rapide est déterminé et reporté sur le graphe routier de manière analogue à un calcul d'itinéraire GPS, en tenant compte des vitesses moyennes des PL sur autoroute et sur route nationale à simple ou double voie.
- Concernant les trajets internationaux, la partie d'itinéraire située sur le réseau routier français est déterminée de la même façon.

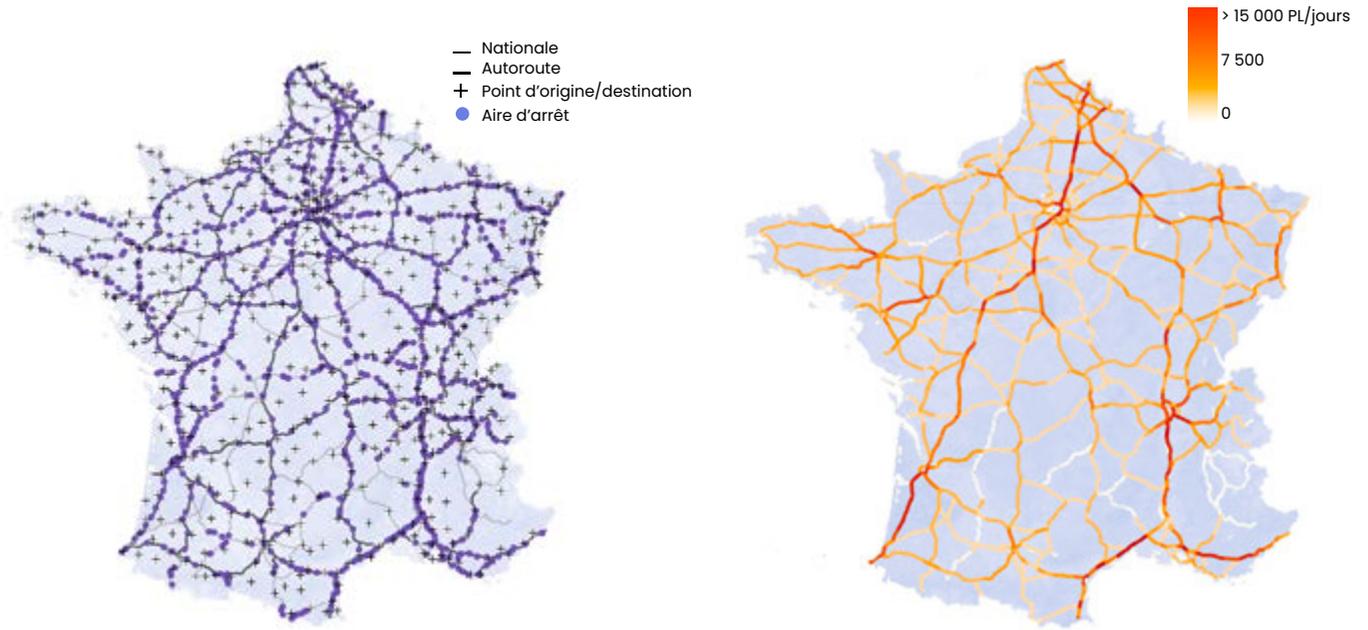


Figure 1 : Réseau routier avec les aires d'arrêt des PL et les origines/destinations des trajets modélisés

- Les points de passage aux frontières sont fixés en fonction de la localisation du point origine/destination à l'étranger. La projection de l'ensemble des trajets sur la *Figure 2* pour tous les couples origine/destination détermine le flux de PL annuel sur chaque tronçon du graphe.

Ces valeurs de flux sont comparées à celles du trafic moyen journalier annuel (TMJA) disponibles pour l'année 2017⁽¹¹⁾, qui établissent les flux moyens journaliers de PL transitant sur environ 6 000 sections d'autoroutes, routes nationales et départementales. Cette comparaison permet de confirmer que le modèle construit reproduit le plus fidèlement possible les trafics réels annuels.

Figure 2 : Flux de PL (TMJA) modélisé

2.2.2 Des trajets modélisés sur un pas de temps de 10 minutes. Le calcul du profil de la puissance de recharge sur les aires d'arrêt nécessite une modélisation des flux de PL à une maille temporelle fine. Les flux annuels sont pondérés sur les 365 jours de l'année à partir de données réelles de flux journaliers de PL (*Figure 3, p. 10*).

(11) Source : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/trafic-moyen-journalier-annuel-sur-le-reseau-routier-national/>

Des données issues de plusieurs sources sont utilisées pour définir et appliquer une loi de distribution des heures de départ des trajets PL ainsi que des heures de passage aux points frontières pour les trajets provenant de l'étranger (Figure 4, p. 11). Cette hypothèse est particulièrement sensible, car elle influe sur l'heure à laquelle s'effectuent le plus d'arrêts simultanés.

À cette étape de l'étude, le modèle établi simule sur un pas de temps de 10 minutes le nombre de départs de trajets entre chaque couple origine/destination et le flux de PL sur chaque tronçon du graphe routier.

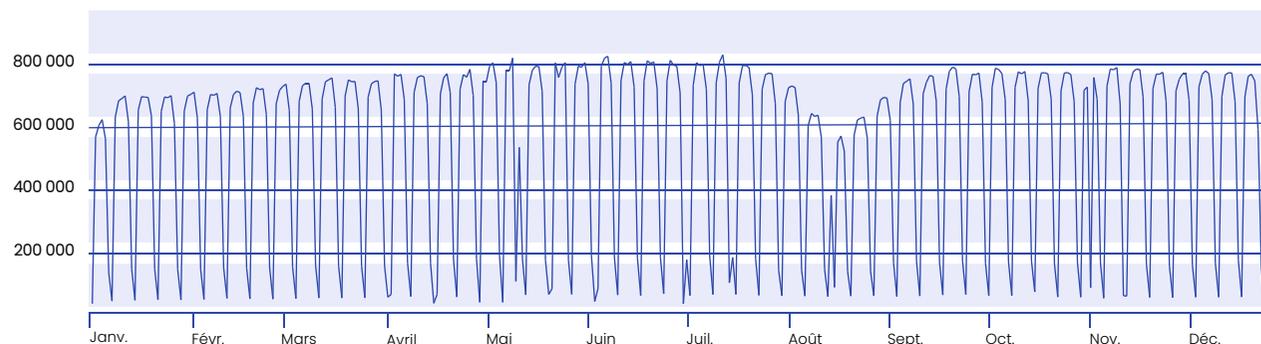
La démarche mise en place convient à la simulation des trajets longue distance. En revanche, elle n'est pas adaptée à la simulation des trajets courte distance (urbains, péri-urbains, voire régionaux). À proximité des zones urbaines notamment, le modèle concentre et surestime de façon conséquente le flux de PL sur les principaux axes, car il s'appuie sur un graphe du réseau routier qui n'intègre pas les routes secondaires empruntées pour des trajets locaux.

2.3 Étape 3, trois scénarios d'électrification de la mobilité lourde

Trois scénarios d'électrification de la mobilité lourde d'ici à 2035 sont étudiés. Ils sont basés sur différentes hypothèses de pénétration des PL électriques à batterie, (Battery Electric Vehicle - BEV) en cours de développement par les constructeurs, dans le parc de PL destiné au transport de marchandises longue distance. Le choix de l'horizon 2035 permet de disposer d'un taux de pénétration suffisant pour modéliser

Figure 3 : Répartition journalière de trajets PL

En nombre de trajets – source : VINCI Autoroutes, année 2017



les besoins de charge sur l'ensemble des principaux axes routiers et d'appréhender les infrastructures requises au cours des dix prochaines années.

Une analyse ponctuelle effectuée sur l'année 2030 compare les trajectoires de simulation avec les obligations définies dans le règlement européen sur les infrastructures de carburants alternatifs (AFIR), voté en 2023.

2.3.1 Une technologie de PL électrique pour effectuer des trajets longue distance. Les caractéristiques techniques de la solution de PL BEV longue distance équipée de la technologie Megawatt Charging System (MCS) sont résumées dans le tableau page 11. Elles diffèrent entre les premiers PL commercialisés (palier technologique 1) et ceux commercialisés à partir de 2030 (palier 2) par une diminution



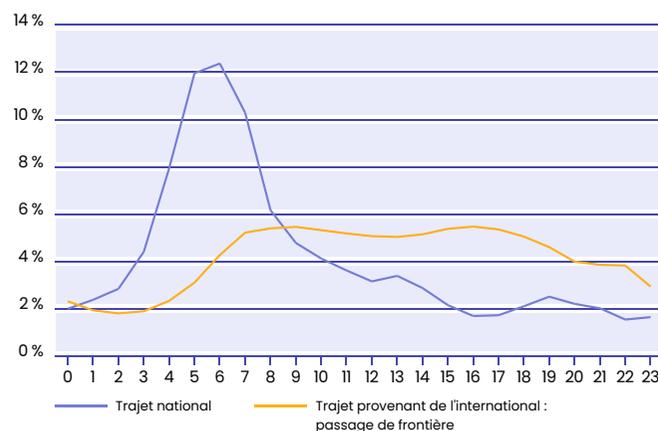
de la consommation unitaire et une augmentation de la puissance de recharge. Le modèle prend en compte l'augmentation de la consommation pendant la période hivernale, en raison des températures plus faibles, et sa diminution lors de trajets à vide, le PL étant plus léger.

2.3.2 Taux de pénétration des PL électriques longue distance. Les trois scénarios analysés dans cette étude sont désignés médian, haut et bas (Figure 5, p. 12).

Le scénario médian est défini pour répondre aux exigences du paquet de propositions législatives "Fit for 55" publié par la Commission européenne pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) de 55 % d'ici à 2030, et notamment celles concernant le secteur du transport et des constructeurs de PL. Il se base sur un essor "volontaire" des PL électriques de la part des acteurs de la filière (transporteurs, constructeurs, logisticiens et gestionnaires d'infrastructures), accompagné par une politique publique de soutien au développement des infrastructures de recharge et à l'acquisition de ces véhicules électriques, tant au niveau français qu'europpéen. Ce scénario fait l'hypothèse d'un trafic routier de marchandises toujours constant, ainsi que de la disponibilité des PL électriques longue distance et de stations de recharge avec la technologie MCS, aussi bien en volume qu'en termes de caractéristiques techniques. Il prévoit que 20 % du parc de PL roulant en France serait électrique d'ici à 2035, tous segments confondus, et que 15,6 % des trajets longue distance actuels seraient réalisés par des PL électriques, qui effectueront donc des recharges en itinérance. Dans ce scénario, les PL électriques longue distance représenteraient 7,8 % du parc total.

Figure 4 : Distribution horaire des départs des PL et des passages aux frontières pour les trajets provenant de l'étranger

En pourcentage – source : VINCI Autoroutes, année 2017



© J.-P. Moulet

PL électrique longue distance : caractéristiques techniques retenues

CARACTÉRISTIQUES	Palier 1 (2025)	Palier 2 (à partir de 2030)
Capacité utile batterie ⁽¹²⁾	580 kWh	580 kWh
Consommation	1,3 kWh/km	1,2 kWh/km
Impact consommation : charge à vide	- 30 %	- 30 %
Impact consommation : delta hiver-été	+ 10 %	+ 10 %
Puissance moyenne de recharge pause courte durée	620 kW	800 kW
Puissance moyenne de recharge pause longue durée	100 kW	100 kW

(12) Énergie de la batterie exploitée par l'utilisateur inférieure à la capacité nominale. Elle intègre une amplitude de charge et décharge inférieure à 100 % et un taux moyen de vieillissement de la batterie.



Le scénario haut est une variante du médian s'appuyant sur des hypothèses qui inciteraient la mobilité lourde longue distance à se décarboner encore plus rapidement : un cadre réglementaire et incitatif, comme des mécanismes de pénalisation des émissions de CO₂ pour les industriels, et un déploiement massif des stations de recharge publiques à technologie MCS. Dans ce scénario, 30 % du parc de PL et 25,3 % des trajets longue distance seraient électrifiés. Les PL électriques longue distance représenteraient 12,6 % du parc total.

Dans le scénario bas, l'électrification commencerait par les PL de faible tonnage, avant de se porter sur les tracteurs routiers longue distance. L'industrialisation de la technologie MCS serait retardée, pour des raisons économiques, logistiques ou technologiques. Dans ce scénario, 23 % du parc de PL serait électrifié d'ici à 2035, mais seuls 5,6 % des trajets longue distance seraient effectués par des PL à batterie électrique (BEV).

2.4 Un comportement de roulage et de recharge dicté par les pauses réglementaires

Les comportements de roulage définis dans ce modèle déterminent les arrêts des PL électriques pendant chaque trajet, donc l'endroit où la recharge peut avoir lieu. Deux critères sont utilisés pour calculer les heures d'arrêt : le temps réglementaire de conduite et le niveau d'autonomie de la batterie, son State of Charge (SOC). L'étude considère deux cycles simplifiés de roulage, illustrés dans la Figure 6.

Figure 5 : Scénarios de pénétration des PL électriques

Pourcentage de trajets longue distance électrifiés, pourcentage d'électrification du parc total

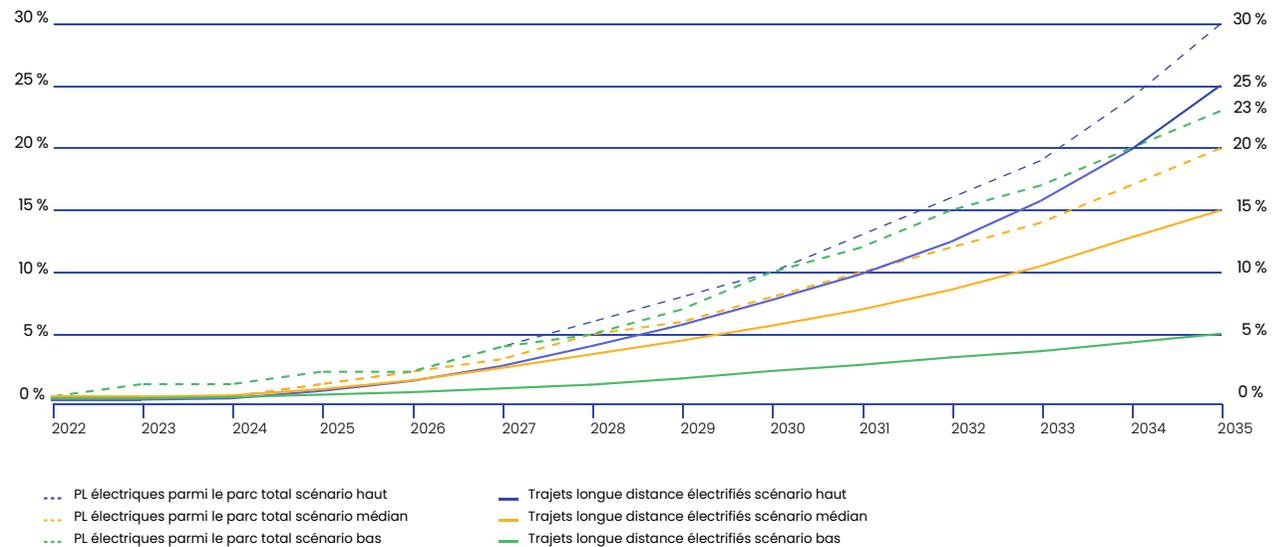
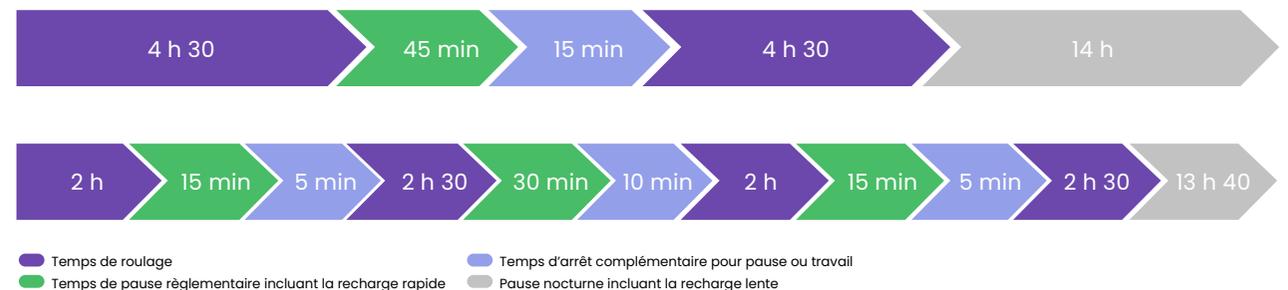


Figure 6 : Cycles de roulage modélisés pour déterminer les arrêts des PL sur chaque trajet



Ils prennent en compte les temps de roulage et de pause imposés par la réglementation, adaptés à des PL parcourant des longues distances.

Chaque trajet entre chaque couple origine/destination du graphe est simulé. Au début d'un trajet, on considère que le chauffeur commence sa journée de travail quand il quitte son point d'origine, avec la batterie de son PL chargée à 100 %. Pour les PL provenant de l'étranger, le modèle attribue un niveau d'autonomie et un temps de conduite au passage de la frontière. À chaque fois que le véhicule passe au droit d'une aire d'arrêt, le modèle évalue le temps de conduite du chauffeur et l'autonomie de la batterie. Il impose un arrêt si, pour atteindre le point d'arrêt suivant ou la destination, la durée de conduite réglementaire est dépassée, ou si l'autonomie restante est inférieure à une valeur seuil, fixée à 10 % pour les aires d'arrêt.

L'approche développée dans l'étude pour déterminer les arrêts des PL est fondée sur le besoin d'arrêt et non sur l'offre de l'aire d'arrêt : aucun critère d'attractivité de l'aire n'est retenu, comme la présence de services ou d'équipements spécifiques, le coût de la recharge ou encore le nombre de places réservées aux PL.

Dans le modèle construit, la recharge rapide a lieu uniquement sur les aires de services et lors des pauses de courte durée. La recharge lente est utilisée pour les pauses de longue durée, aussi bien sur les aires de services que de repos. Pour les trajets nationaux, le modèle impose une arrivée à destination avec une autonomie d'au moins 30 %. Dans certains cas, cela détermine la durée de recharge lors de la dernière pause avant l'arrivée à destination. Elle peut donc être plus

courte que la durée de la pause légale. Pour les trajets internationaux, aucun critère de durée de recharge n'est défini. Le PL se recharge donc tout au long de sa pause réglementaire.

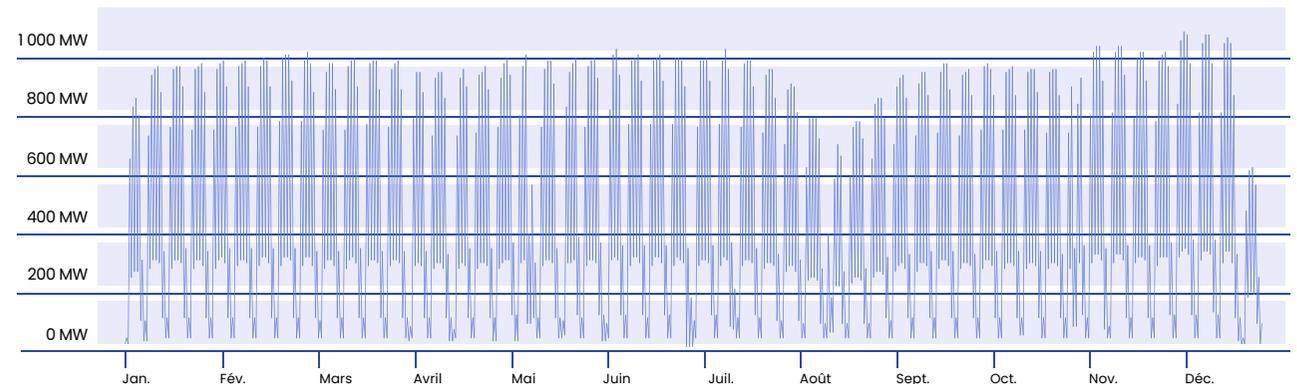
2.5. Une consommation et une puissance intégrables sur le réseau

D'ici à 2035, les besoins d'infrastructures de recharge en itinérance pour la mobilité lourde pourraient représenter une consommation d'énergie et un appel de puissance significatifs, mais intégrables sans difficulté majeure par le réseau sous condition.



Figure 7 : Courbe annuelle de la puissance de recharge en itinérance d'ici à 2035

Consommation d'électricité pour la recharge en itinérance des PL électriques sur le réseau routier français (en MW) – Maille France



2.5.1 Besoin d'énergie et de puissance à la maille France.

Le modèle concentre le besoin total de recharge sur 519 des 1 374 aires d'arrêt étudiées pour les PL avec, pour chacune, le nombre et l'horodatage des charges rapides et lentes, sur la base de trois critères d'optimisation :

- **Le seuil d'utilisation.** Les aires de repos hors autoroutes qui présentent un besoin de charge trop faible (inférieur à 1 MW) pour justifier l'investissement dans des infrastructures sont éliminées.
- **Le foncier disponible sur les aires de repos.** Un nombre insuffisant de places de PL sur une aire de repos face aux points de charge nécessaires entraîne le transfert des besoins de recharge supplémentaires sur les aires de services les plus proches.
- **Le maillage des aires d'arrêt.** Un minimum d'offre de recharge est conservé sur les tronçons les moins empruntés.

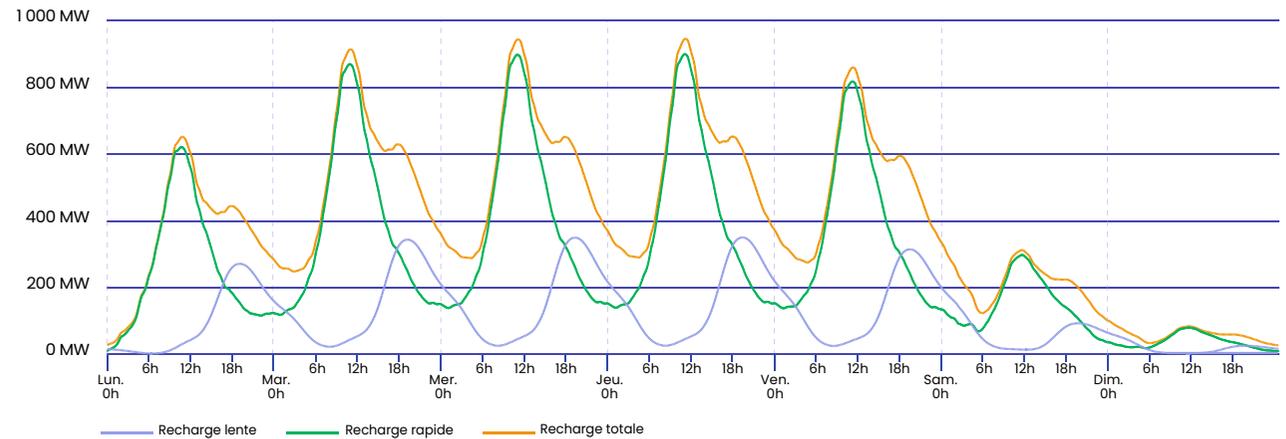
D'ici à 2035, la consommation d'électricité pour la recharge en itinérance des PL électriques sur les principaux axes du réseau routier français devrait représenter jusqu'à 3,5 TWh/an dans le scénario PL BEV haut (2,1 TWh/an dans le médian), soit 0,8 % de la consommation en France en 2022 (460 TWh).

La pointe nationale "synchrone" de recharge ⁽¹³⁾ pourrait atteindre 1,1 GW dans le scénario PL BEV haut (0,7 GW dans le médian), à rapporter à un appel de puissance au pic national de 87 GW en 2022. Dans le scénario haut, la puissance moyenne par aire

(13) Pointe nationale "synchrone" de recharge : heure de l'année à laquelle la puissance appelée simultanément dans toute la France pour la recharge en itinérance des PL est maximale.

Figure 8 : Courbe hebdomadaire moyenne annuelle de la puissance de recharge en itinérance d'ici à 2035

Scénario PL BEV haut – Maille France

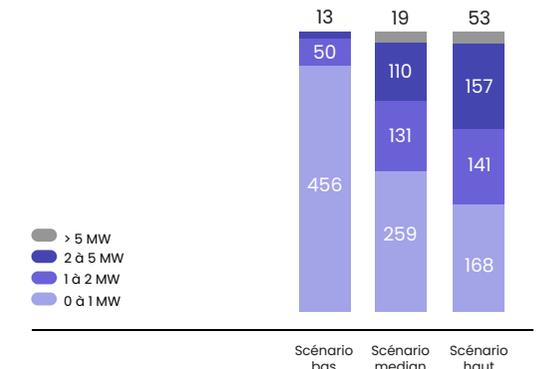


de services avec recharge rapide et lente atteindrait 2,5 MW. Cette puissance serait de 2,1 MW par aire de repos, uniquement avec des recharges lentes. Les 50 aires les plus sollicitées auraient un besoin moyen de puissance de 8 MW. La répartition des aires d'arrêt PL par tranche de puissance est illustrée en Figure 9.

La courbe de charge à la maille France (Figure 7, p. 13) reflète la distribution du trafic de PL le long de l'année. Sa périodicité est hebdomadaire, sans pics de puissance sur des périodes spécifiques de l'année. Les besoins de recharge des PL longue distance se concentrent les jours ouvrés, avec une demande un peu plus forte du mardi au jeudi (Figure 8). Les pics de puissance ont lieu en fin de matinée, en raison des recharges rapides lors de la pause déjeuner.

Figure 9 : Répartition des aires d'arrêt par tranche de puissance

Nombre d'aires équipées de points de charge



Des exigences de l'AFIR majorantes d'ici à 2030 par rapport au modèle

→ Notre étude fait une analyse comparative sur l'année 2030 entre les résultats du scénario PL BEV haut et les objectifs de l'AFIR⁽¹⁴⁾.

Les exigences de l'AFIR dépassent les besoins de recharge calculés par notre modèle sur 69 % du réseau routier central du réseau transeuropéen de transport (RTE-T)⁽¹⁵⁾ et sur 34 % du réseau routier global RTE-T. D'ici à 2035, les besoins de recharge calculés couvrent les objectifs AFIR sur la majorité du réseau central (78 %) et sur la quasi-totalité du réseau global (96 %). Les exigences de l'AFIR sont donc majorantes par rapport au modèle d'ici à 2030. Cela peut s'expliquer par :

- La volonté de répondre aux attentes des acteurs du transport routier via l'AFIR, en imposant un déploiement des infrastructures de recharge en avance de phase.
- Le fait que certains axes situés dans le RTE-T central ont un faible flux de PL, alors que d'autres axes situés dans le RTE-T global sont très empruntés par les PL.
- Un modèle dont les résultats sont issus d'une démarche basée sur la demande, sans prise en compte de la politique de l'offre mise en place au niveau européen.

(14) Les objectifs de l'AFIR (Alternative Fuel Infrastructure Regulation) à horizon fin 2030 : 3,6 MW accessibles par sens de circulation tous les 60 km sur les axes du réseau routier central du RTE-T, et 1,5 MW installé tous les 100 km sur les axes du réseau routier global du RTE-T.

(15) https://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/site/index_en.htm

2.5.2 Un besoin défini à la maille tronçon. Notre modèle analyse le besoin en énergie et en puissance sur les 83 tronçons du réseau routier. Le calcul précis du besoin d'énergie et de puissance pour chaque aire d'arrêt a été réalisé sans prendre en compte le choix du chauffeur routier face à une offre différenciée des aires au sein d'un même tronçon : cela va au-delà des hypothèses de l'étude, basée sur la demande de recharge et non sur l'offre.

Sur la carte de la *Figure 10*, chaque tronçon correspond à tout ou partie d'un axe routier. Il est défini par des critères de longueur (250 km maximum) et délimité par les intersections avec d'autres axes. Selon les tronçons, les besoins en puissance sont contrastés. Les niveaux de demande de recharge les plus importants correspondent aux aires des axes les plus fréquentés. C'est le cas, par exemple, des autoroutes A10 entre Paris et Tours (42 MW/100 km), A6 entre Beaune et Lyon (38 MW/100 km) ou A1 entre Paris et Lille (21 MW/100 km).

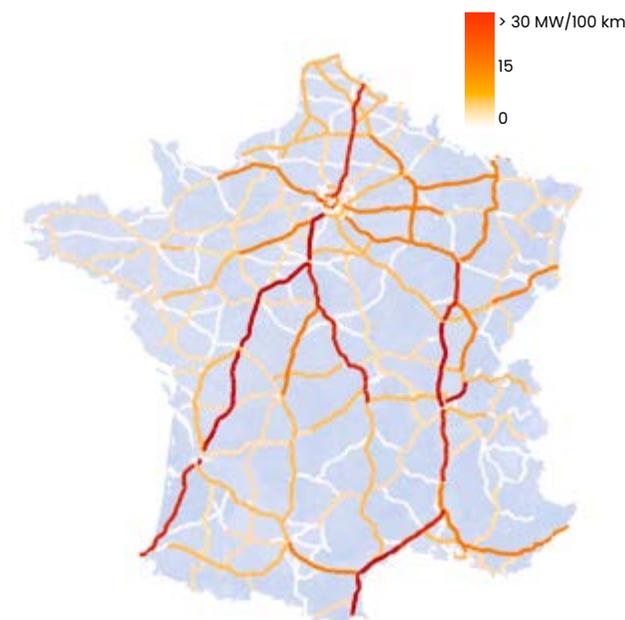


Figure 10 : Puissance de recharge par tronçon, exprimée en MW/100 km



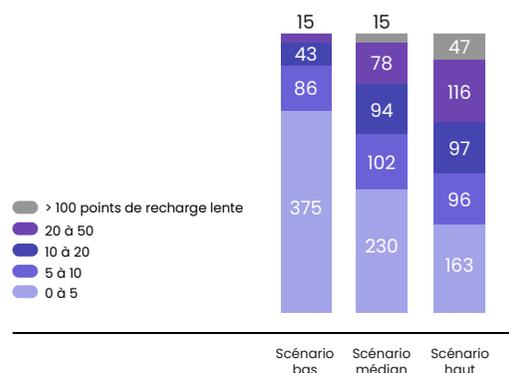
2.6 Des besoins d'infrastructures importants, avec un enjeu foncier dès 2035 sur certains axes

Le calcul du nombre de points de recharge nécessaire pour satisfaire le besoin de recharge rapide et lente peut se baser sur deux hypothèses différentes de comportements de recharge.

1. **La méthode recharge.** La recharge se termine lorsque la batterie atteint l'autonomie souhaitée. Le point de recharge est alors libéré sans attendre la fin de la pause réglementaire.
2. **La méthode occupation.** Le point de recharge est libéré à la fin de la pause réglementaire, même si la recharge de la batterie s'est terminée plus tôt. Cette méthode conditionne plus fortement le

Figure 11 a : Répartition des aires d'arrêt par nombre de points de recharge lente

Nombre d'aires équipées de points de recharge lente

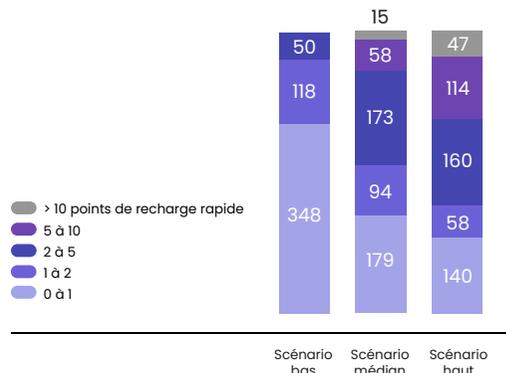


dimensionnement du besoin de points de charge. À elle seule, elle respecte la réglementation en vigueur sur le temps de pause des chauffeurs routiers, durant lequel ils ne peuvent ni brancher, ni débrancher, ni déplacer leur véhicule. C'est cette méthode que l'étude prend comme référence.

Les besoins de recharge impliqueraient dans le scénario PL BEV haut le déploiement à la maille nationale de près de 10 000 points de recharge lente pour les pauses longues et de 2 200 points de recharge rapide d'ici à 2035, contre environ 6 200 et 1 400 dans le scénario médian. Ces chiffres sont à comparer au nombre de places de PL disponibles : 40 300 sur l'ensemble des 1 374 aires considérées. La répartition des aires d'arrêt PL par nombre de points de charge est illustrée en Figures 11 a et b.

Figure 11 b : Répartition des aires d'arrêt par nombre de points de recharge rapide

Nombre d'aires équipées de points de recharge rapide



Un modèle sensible à certaines hypothèses

→ Des calculs complémentaires ont permis d'apprécier la sensibilité des résultats du modèle aux paramètres et aux hypothèses de l'étude. Quatre facteurs influent sur les résultats.

- **La capacité de la batterie.** Si elle est moindre, l'autonomie en distance et en temps de roulage du PL diminue. Le pic de charge a lieu plus tôt le matin, nécessitant plus de puissance et plus de points de charge. En modifiant la taille utile de batterie de 580 kilowattheures (kWh) à 540 kWh, le pic de puissance croît de 5 % et se produit 30 minutes avant.
- **Le niveau de charge de la batterie (State of Charge – SOC) à destination pour les trajets nationaux.** En diminuant le SOC à l'arrivée, l'énergie rechargée en itinérance diminue ainsi que le pic de puissance. Un SOC à l'arrivée de 10 % induit une diminution du pic de puissance de 15 % par rapport à un SOC à l'arrivée de 30 %.
- **La consommation d'électricité d'un PL.** La distance parcourue par le PL avant une recharge diminue si sa consommation augmente. L'énergie rechargée en itinérance augmente aussi, impactant le pic de puissance méridien et le nombre de points de charge. Avec une augmentation de 10 % de la consommation unitaire, le pic de puissance croît de 12,5 %.
- **La prise en compte de la technologie PL BEV dite régionale.** Cette deuxième technologie moyenne distance, pour des trajets inférieurs à 300 km, fait augmenter le pic de puissance et le nombre de points de charge. Avec une batterie de 340 kWh et une recharge à 300 kW, elle entraîne une augmentation de 15 % du pic de puissance et du nombre de points de charge.



Résultats clés

Les besoins pour la recharge en itinérance des poids lourds électriques longue distance d'ici à 2035

Besoins totaux au niveau national (scénario haut)



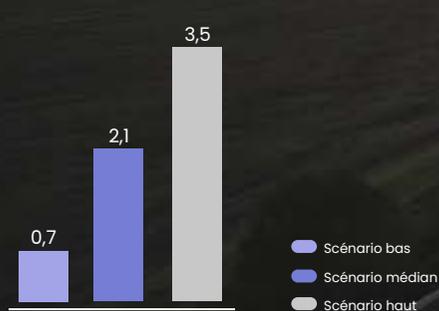
Besoins de recharge par aire d'arrêt (scénario haut, valeurs moyennes)

	Nombre de points de recharge rapide	Nombre de points de recharge lente	Puissance de recharge en MW
Par aire de services	5	18	2,5
Par aire de repos		27	2,1
Pour chacune des 50 aires les plus sollicitées	14	58	8

Besoins selon les trois scénarios PL BEV à la maille France d'ici à 2035

Besoins en énergie pour la recharge en itinérance

Énergie annuelle (en TWh)



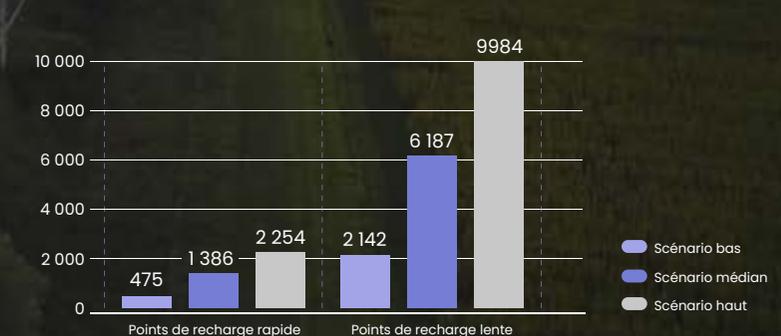
Besoins de puissance pour la recharge en itinérance

Pic de puissance (en GW)



Besoins en points de recharge (lente et rapide) pour la recharge en itinérance

Nombre de points de recharge



Les impacts sur les infrastructures électriques et routières

3.1 L'impact sur le réseau électrique de transport et de distribution

L'analyse de l'impact des besoins de recharge en itinérance sur le réseau électrique, lié à l'électrification cumulée des poids lourds (PL) et des véhicules légers (VL), met en évidence des évolutions structurelles importantes pour une soixantaine de postes sources, ouvrages de transformation de haute tension B (HTB) et haute tension A (HTA). Ces évolutions résultent majoritairement des besoins liés à la mobilité légère.

3.1.1 La nécessité de prendre en compte de manière simultanée les besoins de recharge des poids lourds et des véhicules légers électriques

Pour estimer les évolutions nécessaires du réseau électrique, sont intégrés à cette étude les besoins de recharge des véhicules légers électriques (VE) sur les aires de services des autoroutes partagées avec les PL électriques à batterie (Battery Electric Vehicle – BEV).

Une prise en compte séparée de ces besoins, sans s'appuyer sur leur complémentarité, entraînerait des travaux et des investissements surdimensionnés et non optimisés sur le réseau électrique.

L'interdépendance potentielle entre les besoins de raccordement pour VE et PL sur une même aire de services est donc prise en compte dans cette étude. En effet, grâce au foisonnement des courbes de charge, définir un besoin unique de puissance pour une aire d'arrêt permet d'optimiser les coûts d'infrastructures électriques pour la collectivité.

Sur les aires de services d'autoroute, la puissance de recharge des PL est donc foisonnée avec celle des VE. Les besoins de charge des VE sont issus de l'étude Enedis/RTE de 2021⁽¹⁶⁾. Les hypothèses de ce scénario de référence ont été actualisées, notamment sur la base d'une diminution du nombre de véhicules hybrides rechargeables (VHR) au profit des véhicules électriques à batterie BEV (voir le tableau p. 19).

(16) Étude Enedis/RTE juillet 2021. Les besoins électriques de la mobilité longue distance sur autoroute : <https://www.enedis.fr/sites/default/files/documents/pdf/enedis-etude-les-besoins-electriques-de-la-mobilite-longue-distance-sur-autoroute.pdf>



Notre analyse concerne les 412 aires de services partagées entre VL et PL. Elle consiste à effectuer la somme de la courbe de charge des PL avec celle des VE, issue du seul scénario VL pris en compte. Pour chacun des trois scénarios PL BEV bas, médian et haut, le pic de la somme des deux courbes de puissance PL et VL est pris comme puissance de dimensionnement. Ce pic est bien inférieur à la somme des pics de puissance de chacune des deux courbes (*Figures 14 et 15, p. 21*).

L'étude Enedis/RTE 2021 ne couvrait pas les aires de repos sur autoroutes et les aires d'arrêt sur le réseau national. Sur ces aires, cette étude ne prend donc en compte que les besoins de recharge des PL. Au total, elle intègre 107 aires d'arrêt autres, uniquement en recharge PL.

3.1.2 Un besoin de puissance cumulé principalement porté par les véhicules légers

En cumulant les besoins de recharge des PL et des VL d'ici à 2035, le pic de puissance synchrone ⁽¹⁶⁾ varie entre 3 gigawatts (GW) et 3,2 GW selon les trois scénarios PL BEV, avec un foisonnement important entre les recharges (*Figures 12 a et b et 13, p. 20*). Ce pic de puissance est essentiellement dû aux pics de recharge des VE. Leurs besoins de puissance se concentrent sur des périodes très spécifiques de l'année, lors des week-ends de forte affluence durant lesquels le trafic de PL est très faible.

Scénario retenu pour estimer les besoins de recharge des VE sur autoroute

Paramètres à horizon 2035	Valeur retenue pour l'étude autoroute Enedis/RTE 2021	Valeur retenue pour le cumul avec les besoins de la mobilité lourde
Part de véhicules électriques (VHR et BEV)	40 % (soit environ 15,6 M)	40 %
Taux de VHR parmi les véhicules électriques	21 %	7 %
Puissance retenue pour le dimensionnement des besoins de recharge	Puissance P30h ⁽¹⁷⁾	Pic de puissance
% de déplacement longue distance	73 %	82 %
Consommation moyenne	22,7 kWh/100 km	22,7 kWh/100 km
Vitesse moyenne	95 km/h	95 km/h
Critère d'arrêt à l'arrivée à l'aire	30 % d'autonomie	20 % d'autonomie
State of Charge (SOC) maximal en recharge	80 %	80 %

(17) La P30h est la puissance nécessaire à la recharge des véhicules électriques lors de la 30^e heure la plus congestionnée de l'aire d'arrêt.



A contrario, les besoins de puissance des PL sont plus importants les jours ouvrés (il y a alors peu de VE en circulation) et restent largement inférieurs à ceux des VE lors des week-ends prolongés et des jours de départ en vacances (Figures 14 et 15, p. 21).

La recharge des VL dimensionne donc de manière conséquente les besoins de puissance des aires de services.

Le besoin de recharge foisonné des PL et des VL est pris en compte sur les aires de services d'autoroute. La puissance moyenne par aire s'élève à 8,8 mégawatts (MW) dans le scénario PL BEV haut. En étendant ce périmètre aux aires fréquentées uniquement par les PL, cette moyenne tombe à 7,3 MW. La répartition des aires d'arrêt par tranche de puissance, en cumulant les besoins de recharge PL et VL, est illustrée en Figure 16 (p. 22).



Figure 12 a : Besoins en énergie pour la recharge en itinérance des VL et des PL d'ici à 2035

Énergie annuelle en TWh selon les trois scénarios PL BEV – Maille France

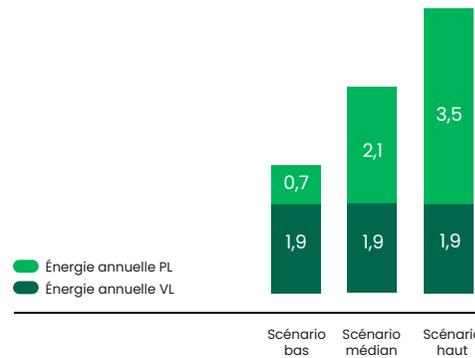


Figure 12 b : Besoins en puissance pour la recharge en itinérance des VL et des PL d'ici à 2035

Pic de puissance en GW selon les trois scénarios PL BEV – Maille France

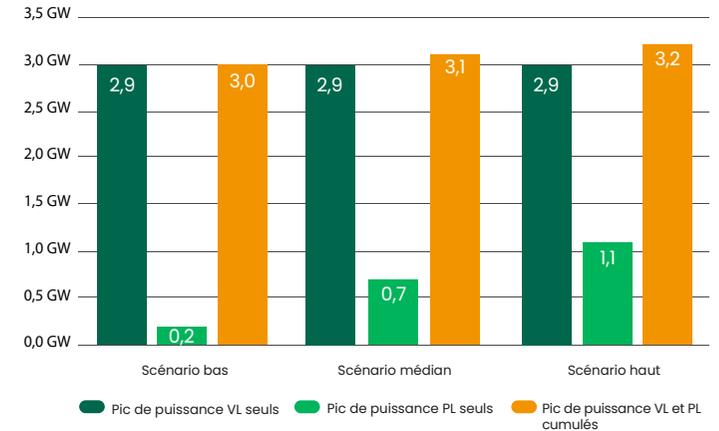


Figure 13 : Courbe annuelle de la puissance de recharge en itinérance d'ici à 2035 pour les PL (scénario PL BEV haut) et les VE

Consommation d'électricité pour la recharge en itinérance des véhicules (uniquement autoroute) et poids lourds électriques (en MW) – Maille France

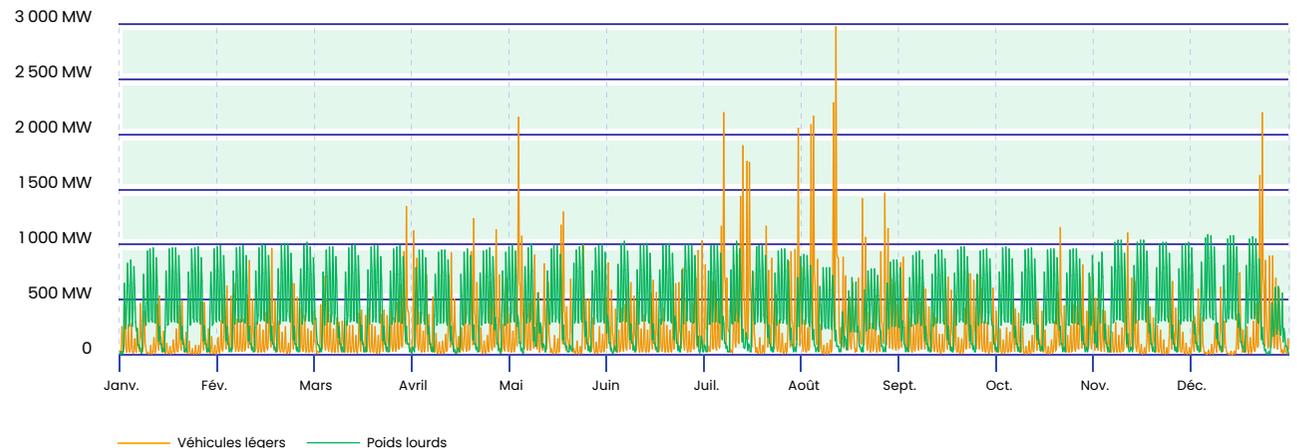


Figure 14 : Courbes hebdomadaires de la puissance de recharge en itinérance d'ici à 2035 pour les VL et les PL (scénario PL BEV haut) lors du pic de recharge des VL

Le pic de recharge des VL a lieu lors du chassé-croisé du week-end du 12 août

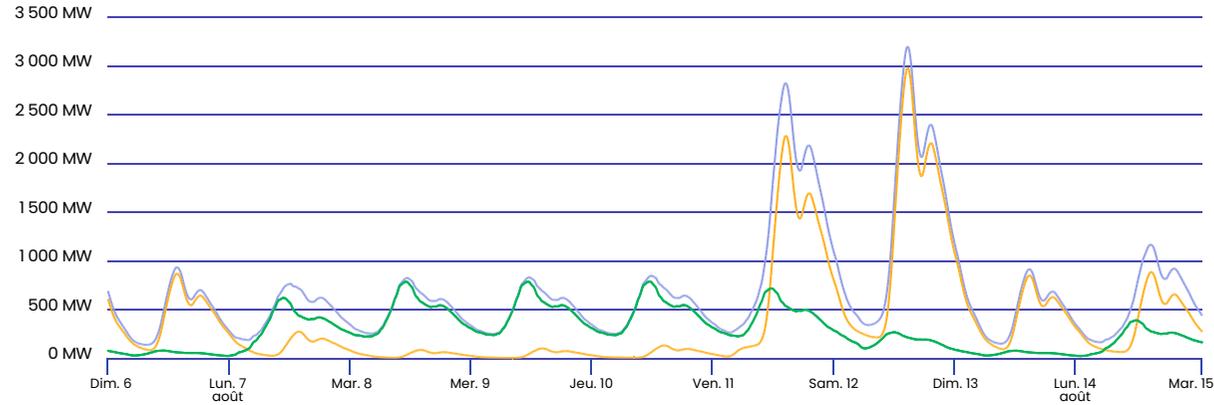
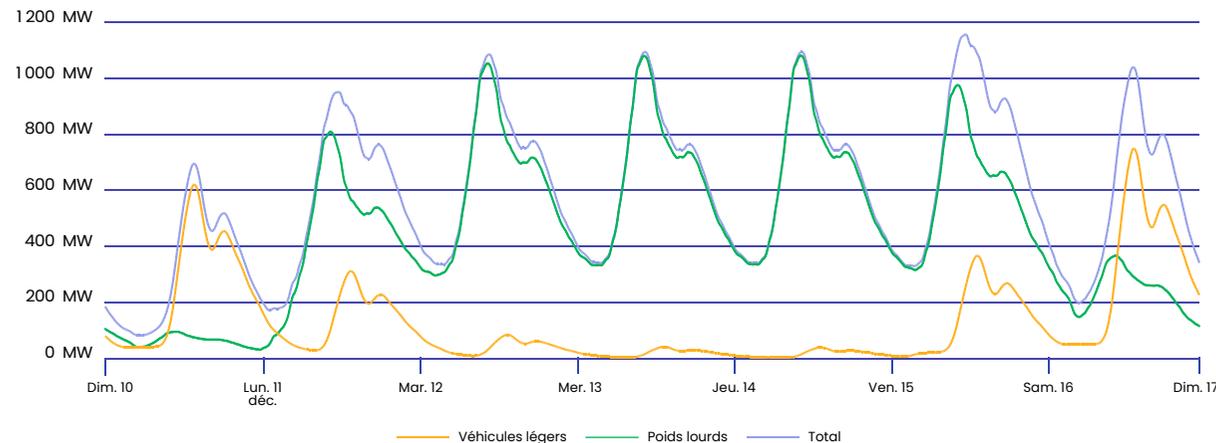


Figure 15 : Courbes hebdomadaires de la puissance de recharge en itinérance d'ici à 2035 pour les VL et les PL (scénario PL BEV haut) lors du pic de recharge des PL

Le pic de recharge des PL a lieu les jours ouvrés de la deuxième semaine de décembre



© Enedis/M. Laurent

La consommation annuelle cumulée d'électricité varie entre 2,6 et 5,4 térawattheures (TWh) selon les scénarios PL BEV, dont 1,9 TWh dus aux VE. L'énergie nécessaire pour la recharge des PL en itinérance est supérieure à celle pour la recharge des VE dans les scénarios médian et haut (jusqu'à près du double dans le scénario haut).

3.1.3 Des besoins en infrastructures réseaux concentrés sur le réseau public de distribution d'électricité (RPD)

L'étude d'impact réalisée dans le cadre de notre analyse est prévisionnelle. Elle est effectuée à partir des données du réseau électrique à date.

Les besoins en travaux sur les réseaux sont calculés en simulant le raccordement d'une aire d'arrêt à partir de sa puissance à la pointe. Cette puissance correspond au maximum de la demande sur cette aire en 2035, selon le modèle. Elle constitue donc la puissance de raccordement.

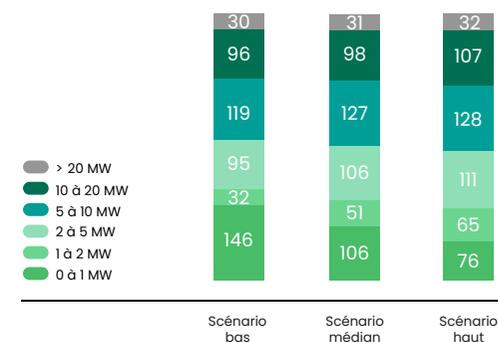
Le raccordement est simulé en sélectionnant pour chaque aire la solution technique optimale sur le plan économique. Selon la puissance de raccordement et l'état du réseau environnant, une aire peut ainsi avoir quatre types de raccordement.

- Le tirage d'une ou plusieurs liaisons HTA en souterrain depuis un départ HTA existant proche de l'aire, avec ou sans adaptation du départ existant et du transformateur HTB/HTA pour surmonter une contrainte de transit ou de tension.

- La création d'un ou plusieurs départs HTA directs depuis le poste source le plus proche, avec ou sans adaptation de la capacité de transformation de tension HTB vers HTA, par mutation ou par ajout de transformateur dans le poste source.
- La création d'un poste source si l'adaptation de la capacité du transformateur HTB/HTA le plus proche ne suffit pas ou si le réseau existant est trop éloigné. Un nouveau poste source doit être relié au réseau de transport. Les coûts liés aux liaisons HTB sont donc également estimés.
- Le raccordement direct au réseau public de transport (RPT) pour les aires les plus chargées lorsque cette solution est intéressante sur le plan technico-économique, avec un poste de transformation HTB/HTA privé sur l'aire. Ce cas ne survient que très rarement en raison des coûts unitaires de liaison HTB.

Figure 16 : Répartition des aires d'arrêt par tranche de puissance : besoins foisonnés de recharge PL et VL

Nombre d'aires équipées de points de charge



D'ici à 2035, les besoins en infrastructures sont sensiblement identiques dans les trois scénarios PL BEV étudiés, car ils sont principalement portés par la mobilité légère, basée sur un seul scénario de référence (Figure 17, p. 23). Tous ces scénarios impliquent la création de 8 nouveaux postes sources, avec autant de liaisons HTB,



ainsi que l'ajout ou la mutation de 47 à 49 transformateurs HTB/HTA. Cependant, une partie importante des travaux consiste à créer près de 690 liaisons HTA, puisque tout raccordement d'une aire hébergeant au moins une infrastructure de recharge de véhicules électriques (IRVE) haute puissance nécessite a minima une ligne de ce type. Ce nombre est supérieur à celui mentionné dans l'étude Enedis/RTE 2021 car il intègre en plus les besoins de recharge PL sur les aires de repos d'autoroute et les aires d'arrêt du réseau national.

3.1.4 Des investissements de 630 millions d'euros nécessaires sur le réseau électrique d'ici à 2035

Le montant des investissements requis sur le réseau électrique d'ici à 2035 pour le raccordement des aires d'autoroute s'élève à 630 millions d'euros (M€) dans le scénario PL BEV haut, dont 597 M€ pour le réseau de distribution ⁽¹⁸⁾, avec la création de liaisons HTA et HTB, et le renforcement ou la création de postes sources (Figure 18). Ce montant est à mettre en perspective des 96 milliards d'euros (Md€) d'investissements prévus par Enedis d'ici à 2040.

Les besoins de raccordement sont principalement portés et couverts par ceux des VL. Ils représentent environ 91 % des investissements nécessaires à la recharge en itinérance en 2035. Les coûts calculés ne varient pas de façon importante selon les scénarios PL BEV bas et médian.

(18) Les investissements concernent uniquement les travaux sur le réseau public, sans prendre en compte les réseaux internes sur chaque aire, non gérés par le gestionnaire du réseau de distribution. Ces travaux de raccordement se basent sur les besoins de puissance calculés dans cette étude et n'intègrent pas d'autres demandes que pourraient faire les gestionnaires d'IRVE (par exemple, une alimentation de secours).

Figure 17 : Travaux requis sur le réseau électrique d'ici à 2035 pour le raccordement des stations de recharge

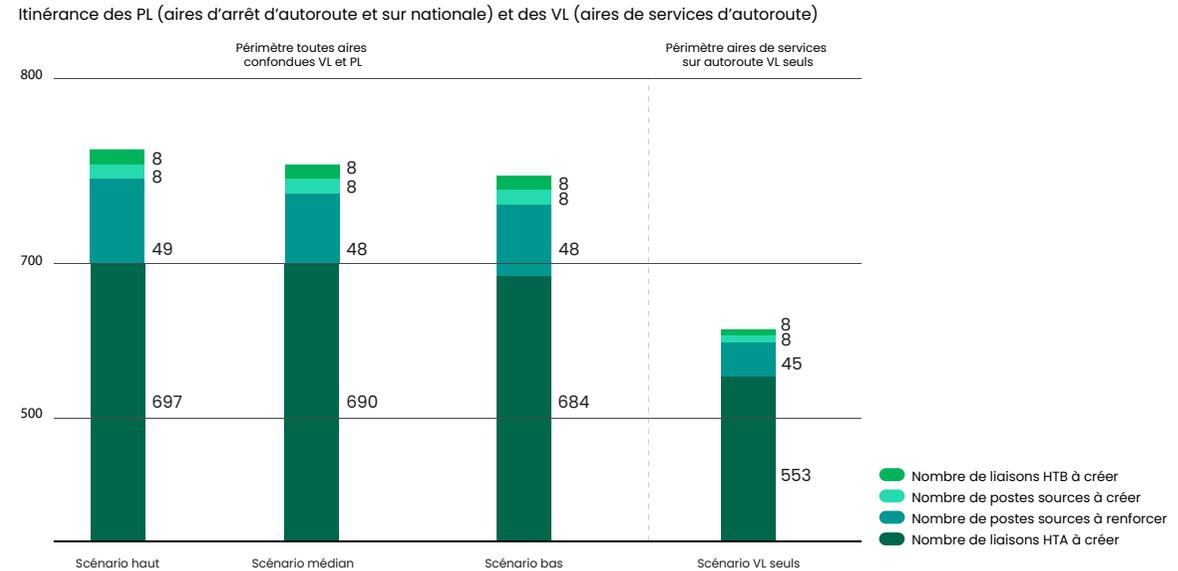
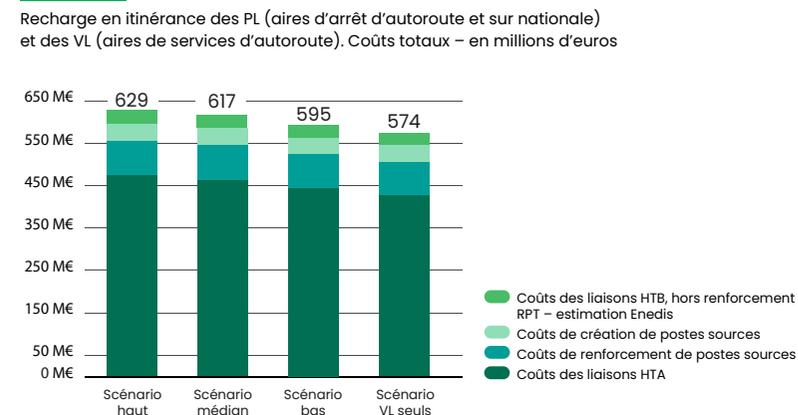


Figure 18 : Investissements requis sur le réseau électrique d'ici à 2035 pour le raccordement des stations de recharge



Dans le scénario haut, les dépenses d'investissement se répartissent à 89 % sur le réseau de distribution (création de liaisons HTA et adaptation des postes sources), à 6 % sur les créations de postes sources et à 5 % sur le réseau de transport ⁽¹⁹⁾ (Figure 19).

Pour rappel, l'étude Enedis/RTE 2021 calcule le montant des investissements nécessaires sur le réseau à 291 M€ d'ici à 2035, selon le scénario de référence. La présente étude actualise ce montant en prenant en compte l'évolution de cinq facteurs clés (Figure 20).

- Un effet prix. La mise à jour des coûts unitaires intègre l'évolution des prix de la filière, soit + 100 M€.
- Un effet volume de VE en 2035, soit + 12 M€. Cela est dû notamment à une augmentation du nombre de véhicules électriques à batterie (au détriment du parc VHR), qui passe de 12 à environ 14 millions entre le scénario de référence de l'étude de 2021 et l'étude actuelle.
- Un effet conséquent du choix de la puissance dimensionnante de pointe désormais retenue par les acteurs autoroutiers à la place de la pointe en P30h ⁽¹⁷⁾, soit + 171 M€.
- Un ajout de la mobilité lourde sur le périmètre des aires de services d'autoroute : + 14 M€.
- Une extension du périmètre pour les PL aux aires de repos d'autoroute et aux aires de repos et de services sur les routes nationales : + 41 M€.

Le coût de raccordement d'une aire s'élève en moyenne à 1,2 M€ dans le scénario PL BEV haut ; 25 % des aires ont un coût unitaire inférieur à 0,3 M€, tandis que 25 % des aires nécessitent pour leur raccordement un investissement supérieur à 1,4 M€.

(19) Estimation Enedis.

Figure 19 : Répartition des investissements selon la nature des travaux dans le scénario PL BEV haut

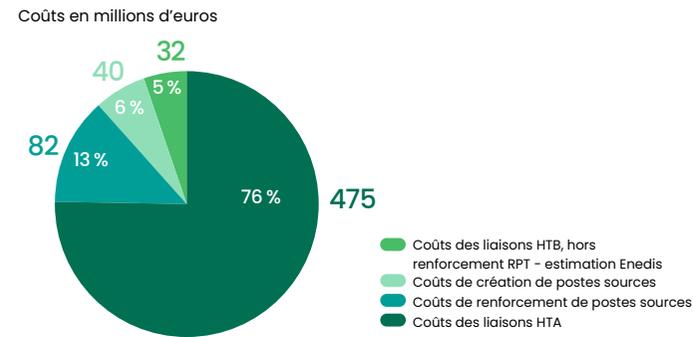
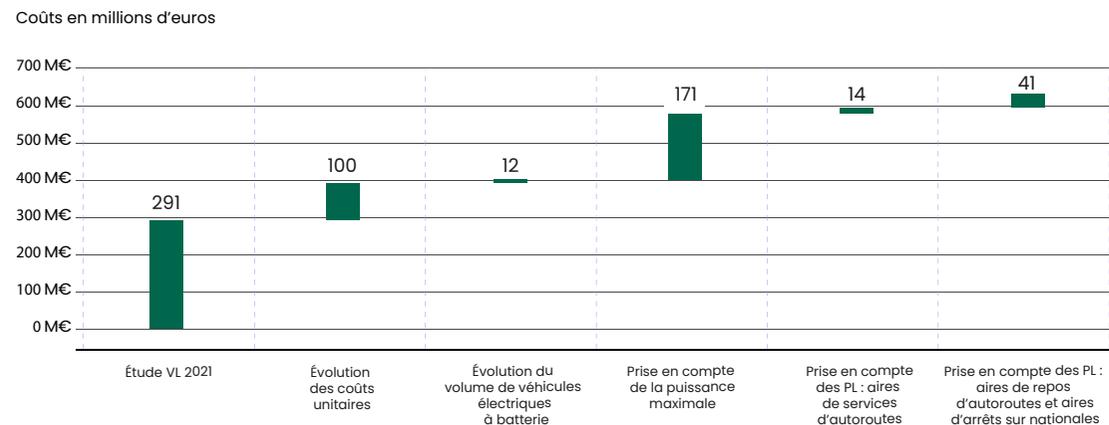


Figure 20 : Évolution des dépenses d'investissement sur le réseau électrique par rapport au scénario de référence de l'étude Enedis/RTE de 2021



3.2. L'impact sur les infrastructures du réseau routier

Le déploiement progressif des infrastructures de recharge pour PL sur les aires de services et de repos du réseau routier va avoir un impact sur l'aménagement des espaces dédiés au stationnement PL. Ces espaces vont s'adapter et suivre la progression du parc PL électrique en circulation, avec deux grandes évolutions.

- Une transformation d'une partie des places de stationnement pour PL en points de recharge dédiés exclusivement aux PL électriques. Cette réorganisation va engendrer sur l'emprise foncière actuelle une réduction du nombre de places des parkings PL 2,5 fois plus importante que la simple baisse du parc de PL thermiques, dans un contexte de tension déjà existant sur l'occupation de places PL sur certains axes, notamment sur certaines routes nationales.
- Une réduction de l'espace disponible pour la recharge dans la transformation des places de parking. La création des infrastructures de recharge pour PL, en îlot central entre deux points de recharge ou sur des îlots pour y installer des portiques ou des bornes satellites, va nécessairement engendrer une réduction de l'espace disponible pour stationner les PL lors de leur recharge. Selon la configuration retenue, c'est une place sur six, et jusqu'à une place sur trois, qui pourrait être perdue, accentuant d'autant le phénomène de perte de places de parking PL pour le parc circulant.

L'étude ne se penche pas sur la conception des parkings PL des aires d'arrêt. Actuellement, la plupart des places dédiées au stationnement PL sont en épi. Cette configuration permet de maximiser leur nombre pour une même surface foncière. Les places de recharge pour PL électriques ont vocation à devenir traversantes, afin de prévenir tout risque d'endommagement des portiques ou des bornes. Il conviendrait donc de projeter les dimensionnements futurs des aires d'arrêt afin d'intégrer et d'accueillir au mieux ce nouveau service de recharge en anticipant les réaménagements indispensables en termes de voies de circulation et de gabarits.



Chiffres clés

L'impact sur le réseau électrique et les infrastructures routières des besoins de recharge en itinérance des véhicules légers et des poids lourds d'ici à 2035

Énergie et puissance nécessaires pour le scénario haut : PL et VL seuls et cumulés ⁽²⁰⁾

Maille France	Énergie (en TWh)	Puissance (en GW)
VL seuls	1,9	2,98
PL seuls	3,5	1,1
PL et VL cumulés	5,4	3,2

Besoins de charge additionnés VL et PL par aire de services (scénario haut)

8,8 MW
Valeur moyenne

22,8 MW
Valeur moyenne pour chacune des 50 aires les plus sollicitées

Travaux et investissements sur le réseau électrique à horizon 2035 (scénario haut)

57
postes de transformation HTB/HTA à renforcer ou à créer (scénario haut)

630 M€
d'investissements sur le réseau de distribution et le transport d'électricité ⁽²¹⁾

Restructuration de l'emprise foncière sur les parkings PL des aires de services et de repos

2/3
des tronçons seront potentiellement en déficit structurel de foncier d'ici à 2035, représentant un équivalent de 7 000 à 8 000 places de parking PL

1/3 à 1/6
des places pourraient être perdues sur les parkings PL, selon la configuration des parkings concernés et les futures infrastructures de recharge

(20) Pour les véhicules légers, seuls les besoins de recharge sur les aires de services sur autoroute ont été pris en compte.

(21) Ce montant intègre les coûts des liaisons HTA, de renforcement ou de création de postes sources, et des liaisons HTB. Il n'intègre pas les coûts de renforcement des lignes HTB. Les coûts concernant le réseau de transport sont une estimation Enedis.

Les messages clés et recommandations

4.1 Enjeu d'optimisation des coûts et de réduction des délais pour le réseau électrique

4.1.1 Enjeu d'anticipation des travaux

Les travaux d'adaptation du réseau électrique identifiés par cette étude représentent des chantiers importants. Sans difficultés techniques particulières, ils peuvent cependant prendre plusieurs années, ponctués par les phases d'études, d'obtention des autorisations administratives et de déroulement des travaux. Les délais peuvent aller jusqu'à cinq ans pour un poste source, voire plus de sept ans pour la réalisation d'une ligne haute tension B (HTB).

Sur les aires de services, les demandes de raccordement des infrastructures de recharge de véhicules électriques (IRVE) proviennent jusqu'à présent des augmentations successives de puissance souscrite et de raccordement que sollicite chaque opérateur. Leur délai moyen de réalisation varie entre 12 et 24 mois. Or, la croissance du

parc de véhicules électriques (VE) va rapidement générer des contraintes réseau pour les aires d'arrêt les plus fréquentées par les véhicules légers (VL). Celles-ci vont nécessiter des travaux lourds, qui peuvent aller jusqu'à la création de postes sources et l'adaptation du réseau HTB. En l'état actuel, les délais de réalisation de ces travaux ne permettront pas de répondre à temps aux demandes des opérateurs.

Afin d'éviter qu'un tel scénario ne se produise, deux actions doivent nécessairement être menées :

- Anticiper collectivement les investissements requis pour disposer des puissances nécessaires aux VL et aux poids lourds (PL) sur chaque aire d'arrêt et aux différentes échéances. Cela, en donnant un cadre au financement des travaux à mener sur le réseau. Il conviendra de définir de quelle manière prendre en compte et intégrer cette démarche dans le cadre des relations contractuelles existantes, comme celles des contrats de concession autoroutières ou celles des contrats liant l'État ou les sociétés d'autoroutes avec les gestionnaires des aires de services.
- Revoir les procédures réglementaires et fonctionnelles de gestion des demandes de raccordement à court terme. Dans la majorité des cas, les travaux engagés pour répondre à ces demandes ne suffiront pas à



comblent les besoins à moyen et long termes. Sans révision de celles-ci, les gestionnaires de réseau devront reprendre plusieurs fois les travaux de terrassement et de pose de câbles sur les aires d'arrêt, avec des coûts de reprise de l'ordre de 50 % du coût total des liaisons haute tension A (HTA).

Cette planification à long terme des raccordements permettrait d'optimiser les travaux et éviterait des surcoûts. Elle donnerait accès aux puissances cibles tout en assurant des augmentations de puissance par palier, au fur et à mesure de l'avancement des travaux de renforcement du réseau. Elle offrirait également aux gestionnaires de réseau comme aux filières industrielles une visibilité qui contribuerait à réduire les risques face aux éventuelles tensions sur les chaînes d'approvisionnement, dans un contexte de transformation et d'électrification de différents secteurs (insertion des énergies renouvelables, diffusion des pompes à chaleur, électrification de la mobilité et d'industries énergivores).

4.1.2 Enjeu de mutualisation des raccordements sur une même aire

Sur les aires de services existantes, l'émergence de nouvelles infrastructures de recharge pour PL et l'arrivée de nouveaux opérateurs aboutiraient, si rien ne change, à des demandes d'augmentation de puissance entraînant sur ces aires des surinvestissements et une désoptimisation des raccordements (*lire paragraphe 3.1.2*).

À titre d'illustration, des demandes de raccordements PL et VL indépendantes l'une de l'autre conduiraient à ne pas foisonner les besoins, ce qui engendrerait des travaux supplémentaires. L'étude a estimé les travaux associés à cette sous-optimisation à 5 postes sources et 7 transformateurs HTB/HTA supplémentaires dans le scénario haut, représentant environ 90 millions d'euros (M€) de surcoût, soit + 14 % (*Figure 21*). Ce montant deviendrait de plus en plus significatif au cours des années suivantes, avec la croissance des deux parcs.

Partant de ce constat, il est nécessaire de définir comment organiser concrètement cette optimisation aire par aire, en indiquant qui en portera la responsabilité (gestionnaire du réseau de distribution, gestionnaire d'infrastructure routière ou un autre type d'acteur à mobiliser, voire à créer).

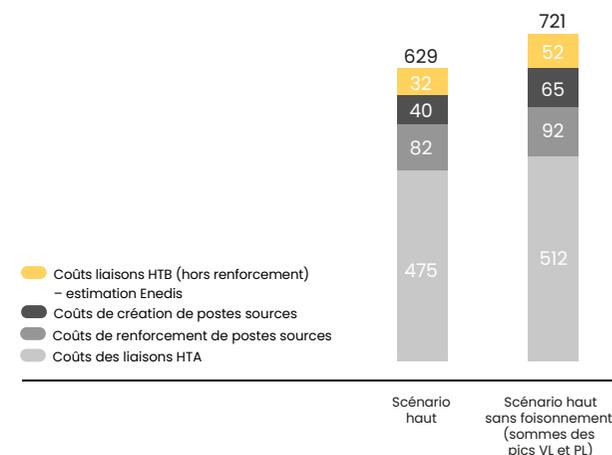
Les règles de partage des coûts de ces futurs raccordements doivent également être définies, tant en termes d'investissement – à chaque nouveau raccordement et à chaque augmentation de puissance – que de répartition du tarif d'utilisation du réseau.

Le raccordement mutualisé des IRVE pour PL et VE constitue donc un levier clé dans l'optimisation des travaux et des coûts sur le réseau électrique, collectivement et pour chacun des futurs opérateurs d'IRVE.

Des pistes complémentaires peuvent contribuer à l'optimisation des coûts. En effet, sur une même aire, le besoin de recharge de certains PL peut être couvert avec un point de recharge de puissance inférieure aux valeurs

Figure 21 : Investissements requis sur le réseau électrique avec et sans foisonnement des besoins de recharge des VL et des PL, aire par aire

Scénario PL BEV haut, en millions d'euros



retenues pour cette étude (100 kW pour les pauses de longue durée et 800 kW à 1 MW pour les pauses de courte durée). Les infrastructures déployées sur les aires pourraient ainsi être dotées :

- Pour les pauses longue durée, d'une partie des points de recharge à une puissance de 50 kW ou 75 kW.
- Pour les pauses de courte durée, d'une partie des points de recharge à des puissances comprises entre 300 kW et 500 kW.



4.2 Enjeu foncier

D'ici à 2035, le déploiement des infrastructures de recharge pour PL électriques sur les principaux axes routiers et autoroutiers nationaux va faire apparaître sur certains d'entre eux de potentiels déficits de foncier. Ils sont liés à deux facteurs.

- La transformation progressive de places de parking PL actuelles en places dédiées à la recharge PL, entraînant une réduction du nombre de places de parking pour les PL thermiques.
- L'emprise au sol des IRVE, avec un nombre de points de recharge plus faible que celui des places de parking supprimées, de l'ordre de 10 % à 40 %.

Bien que la part de PL électriques dans le transport de marchandises longue distance restera limitée à cette date (dans le scénario haut, 25,3 % des trajets longue distance seront électrifiés, et les PL électriques longue distance représenteront 12,6 % du parc total), il sera nécessaire, dès 2035, d'intégrer les pertes de places liées à l'installation et à l'accessibilité des bornes sur certains axes, car une majorité des emplacements sera encore utilisée par les PL thermiques.

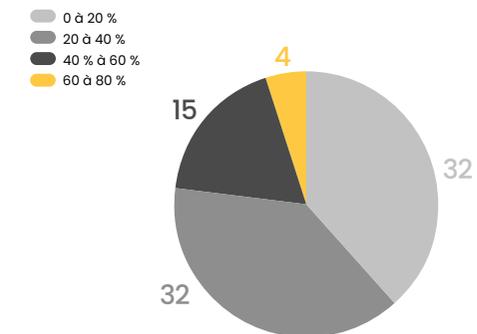
Selon l'étude, les réaménagements nécessaires pour accueillir un nombre suffisant de bornes pourraient entraîner la transformation de plus de la moitié des places de parking PL sur près d'un quart des tronçons en points de recharge. En y ajoutant les 40 % de tronçons pour lesquels 25 % à 50 % des places PL seraient supprimées, ce sont deux tiers des tronçons qui seront

potentiellement en déficit structurel de places PL d'ici à 2035 (Figure 22). Des analyses plus fines par type d'axe et à la maille de chaque tronçon doivent être menées afin de réduire la tension liée au manque potentiel de places de stationnement PL. Elles doivent notamment consister, d'une part, à identifier le potentiel d'intégration de nouvelles zones foncières à l'intérieur du périmètre du réseau routier concerné et, d'autre part, à caractériser la part de développement de hubs PL à mener en dehors du réseau routier, en particulier à proximité des axes concernés et de leurs accès.

D'un point de vue économique, l'approche vise donc bien à trouver un optimum entre les coûts de raccordement au réseau électrique qui ont été évalués dans cette étude et les coûts du foncier nécessaire à l'aménagement, en tenant compte des caractéristiques du réseau électrique local et des enjeux liés à l'objectif de zéro artificialisation nette (ZAN).

Figure 22 : Nombre de tronçons routiers en fonction du taux de places de PL équipées de bornes de recharge d'ici à 2035

Pourcentage de places de parking PL à équiper



4.3 Trois principales recommandations

L'électrification de la mobilité lourde longue distance est un enjeu essentiel pour le réseau électrique, mais également pour l'aménagement du territoire avec, à la clé, un besoin d'infrastructures conséquent. Afin d'être prêts à temps collectivement pour accompagner l'électrification des flottes PL, conforter les utilisateurs finaux dans la décision d'achat de PL électriques et accélérer ainsi la transition énergétique du transport routier de marchandises longue distance, les contributeurs de ce rapport formulent trois principales recommandations.

1 INSTAURER UNE PLANIFICATION ET UNE FEUILLE DE ROUTE

Les pouvoirs publics doivent définir en tant qu'aménageurs du territoire une feuille de route partagée et opposable sur la recharge en itinérance, sur la base des besoins de mobilité des VL et des PL. Ce document doit préciser, pour chaque aire : la puissance de raccordement totale de l'aire et pour chacun des usages (PL et VL) ; les infrastructures de recharge et la puissance à horizon 2027, 2030 et jusqu'en 2035 ; et définir le rôle et la responsabilité de chaque acteur. Il doit prendre en compte les contraintes du réseau électrique et les contraintes foncières (analyses par tronçon à mener), en cohérence avec les différents règlements applicables, dont celui de l'AFIR (Alternative Fuel Infrastructure Regulation de l'Union européenne).

2 INSTITUER DES DISPOSITIFS RÉGLEMENTAIRES, ADMINISTRATIFS ET FINANCIERS

De nouveaux dispositifs réglementaires et administratifs doivent être mis en place, pour :

- Anticiper les besoins de puissance et les demandes de raccordement, et accélérer les démarches administratives d'autorisations, afin d'assurer la disponibilité des infrastructures réseau au moment adéquat. L'anticipation pour les cas nécessitant des postes sources et des liaisons HTB, tributaires de longs chantiers, est prioritaire.
- Mutualiser les raccordements des IRVE PL et VL sur une même aire, et optimiser leurs emplacements, afin de réduire les investissements et donc les coûts pour la collectivité.
- Définir le rôle et la responsabilité de chacun des acteurs pour réaliser les investissements nécessaires, en tenant compte des contraintes de chacun (concessionnaires autoroutiers, gestionnaires des réseaux électriques, opérateurs de bornes et d'aires de services).

3 METTRE EN PLACE DES MESURES INCITATIVES

Le déploiement d'infrastructures de recharge en itinérance pour les PL électriques représente des investissements significatifs (génie civil, réaménagement des parkings, IRVE et raccordements) qui ne pourront être rentabilisés les premières années. Un dispositif incitatif spécifique, simple d'accès et fournissant une visibilité sur le long terme, doit être mis en place à l'échelle nationale. Il devra être cohérent avec les incitations qui seront prévues pour accompagner le financement des PL électriques et des IRVE au dépôt et à destination.



Contacts



service-presse@enedis.fr
+33 (0)1 47 74 75 98



presse@totalenergies.com
@TotalEnergiesPR

Relations médias :
+33 (0)1 47 44 46 99



Samuel Beauchef
samuel.beauchef@vinci-autoroutes.com
+33 (0)6 12 47 58 91

