

Les besoins électriques de la mobilité longue distance sur autoroute



Sommaire

1. Résumé	4
2. Introduction	6
2.1 Le déploiement des infrastructures de recharge sur autoroute doit accélérer pour accompagner le développement de la mobilité électrique	6
2.2 Les gestionnaires de réseaux électriques anticipent les évolutions nécessaires des réseaux pour assurer ces nouveaux usages	7
3. Les besoins d'infrastructure de recharge pour la mobilité légère sur autoroute pourront représenter à horizon 2035 une puissance moyenne par aire entre 4 MW (scénario de référence) et 12 MW (scénario haut) et une puissance cumulée de l'ordre de 2 GW à 5 GW	8
3.1 À mi-2021, moins d'un quart des aires d'autoroute sont équipées de stations de recharge haute puissance	8
3.2 L'évaluation des besoins de recharge aire par aire à moyen/long terme repose sur un cadre de modélisation des trajets longue distance effectués par les véhicules légers	9
3.3 Deux scénarios sont étudiés pour refléter les incertitudes sur le développement de la mobilité électrique, en particulier pour les trajets longue distance	10
3.4 Les besoins de recharge sur autoroute ne représenteront qu'une très faible consommation d'électricité	11
3.5 La puissance des stations de recharge sur autoroute devrait représenter une puissance cumulée de l'ordre de 2 GW (scénario de référence) à 5 GW (scénario haut) à l'horizon 2035	13
4. Les évolutions des réseaux pour les besoins de recharge sur autoroute ne présentent pas de défis techniques ou financiers majeurs	15
4.1 Les évolutions de réseaux concernent principalement le réseau de distribution	15
4.2 Des investissements entre 300 et 600 M€ sont nécessaires sur la période 2020 – 2035, dont environ 80 % sur le réseau de distribution	16
4.3 Les coûts unitaires sont très variables mais peuvent être classés en trois configurations	18
4.4 Les pistes d'optimisation des coûts peuvent limiter les coûts mais ne présentent pas de gisement très important de baisse des investissements dans les réseaux à l'horizon considéré	19
5. Annexes	20
5.1 Scénarios	20
5.2 Évaluation des coûts d'extension et de renforcement des réseaux électriques	20

1 | Résumé

Contexte : le déploiement des infrastructures de recharge rapide sur autoroute est une condition essentielle au développement à grande échelle de la mobilité électrique.

Sous l'effet des politiques publiques, le développement de la mobilité électrique connaît une forte accélération. En 2020, les immatriculations de véhicules électriques ont représenté 11 % des ventes de véhicules légers, contre moins de 3 % en 2019. À fin février 2021, 500 000 véhicules légers électriques et hybrides rechargeables sont en circulation en France (1,2 % du parc).

Le développement massif d'infrastructures de recharges constitue un prérequis pour la poursuite et l'accélération du développement de la mobilité électrique. C'est notamment le cas des infrastructures de recharge sur autoroutes, qui sont essentielles à la bascule vers les véhicules électriques pour les utilisateurs devant effectuer des trajets longue distance. Sur les 415 aires de service sur autoroute en France métropolitaine, seulement une centaine¹ sont aujourd'hui équipées de bornes de recharge. Ce maillage actuel est contraignant pour permettre un essor de la mobilité électrique sur longue distance : il correspond en moyenne à une aire équipée d'une station de recharge tous les 130 km sur le linéaire autoroutier. À fin avril 2021, les aires équipées ont en moyenne 6 points de charge dont la puissance maximale est comprise entre 50 kW et 350 kW, ce qui représente une puissance totale raccordée de 130 MW.

Les pouvoirs publics ont pris différentes mesures pour accélérer le développement de stations de recharge sur autoroutes : obligation pour les sociétés

concessionnaires d'autoroutes d'équiper toutes les aires de service avant le 1^{er} janvier 2023, soutien financier, dans le cadre du plan de relance, à l'installation de bornes sur les grands axes autoroutiers et routiers pour un montant total de 100 M€ et augmentation, de 40 % à 75 % de la part financière des coûts de raccordement qui n'est pas à la charge des porteurs de projets d'installation², pour les demandes de raccordement de puissance inférieure ou égale à 5 000 kW effectuées avant le 31 décembre 2021.

Afin d'anticiper les besoins de raccordement et d'adapter des réseaux et d'évaluer les coûts associés, Enedis et RTE ont réalisé une étude commune visant à évaluer le dimensionnement des stations de recharge nécessaires pour accompagner le développement de la mobilité électrique pour les véhicules légers et les coûts de raccordement et d'adaptation des réseaux pour permettre d'alimenter ces stations de recharge.

Cette étude identifie 3 points essentiels à retenir :

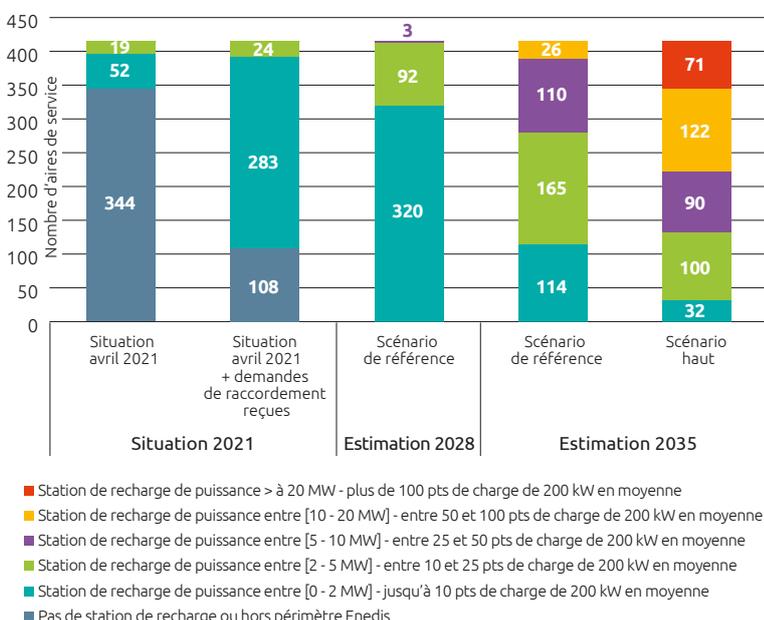
1 – Les besoins d'infrastructure de recharge sur autoroute pourront représenter en 2035 une puissance installée totale entre 2 GW (scénario de référence) et 5 GW (variante haute), soit entre 4 MW et 12 MW en moyenne par aire

Sur la base des statistiques des enquêtes sur les transports concernant les trajets longue distance réalisés par les véhicules circulant en France, Enedis et RTE ont estimé les besoins en puissance de recharge nécessaires dans une configuration avec 5,3 millions de véhicules électriques en 2028 (objectifs de la PPE) et 15,6 millions en 2035 (scénario Crescendo haut du rapport sur la mobilité électrique publié par RTE en mai 2019 avec le soutien de l'AVERE).

D'autres hypothèses sont considérées et conditionnent l'évaluation du besoin de recharge : la part de véhicules hybrides rechargeables ne nécessitant pas de recharge pour les trajets longue distance (22 % des véhicules électriques), une moindre utilisation (de ~30 % dans la configuration de référence) des véhicules électriques pour les trajets longue distance par rapport aux véhicules thermiques actuels et un dimensionnement de l'infrastructure de recharge pour couvrir les besoins de recharge seulement 99,7 % du temps³ sans occasionner d'attente pour les automobilistes.

Des variantes sur ces paramètres sont considérées dans l'analyse à l'horizon 2035.

FIGURE 1 : Nombre d'aires de service équipées de points charge haute puissance (décomposition selon la puissance de raccordement)



1 Dont 71 aires raccordées et équipées de points de charge haute puissance de 150 kW ou plus et de puissance totale supérieure à 500 kW.

2 La part qui n'est pas à la charge des porteurs de projets est financée par l'ensemble des utilisateurs du réseau, à travers le Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Électricité.

À l'horizon 2028, les besoins de puissance sont estimés à 1,5 MW en moyenne par aire, soit 8 points de charge de puissance moyenne de 200 kW (permettant une recharge à 80 % d'un véhicule typique en 20 minutes)⁴. Ils peuvent être très variés d'une aire à l'autre et atteindre jusqu'à 6 MW sur certaines aires. A l'horizon 2035, la puissance totale installée des stations de charge sur autoroute est estimée entre 2 GW et 5 GW environ en fonction des scénarios étudiés. Les besoins de puissance sont de l'ordre de 4 MW en moyenne par aire de service dans la configuration de référence, soit 20 points de charge de puissance moyenne de 200 kW. Sur les aires les plus sollicitées, le besoin peut atteindre jusqu'à 16 MW, soit de l'ordre de 80 points de recharge.

À cet horizon, dans une configuration « haute », les besoins de puissance seraient de l'ordre de 12 MW par aire en moyenne, 60 points de charge de puissance moyenne 200 kW, et atteindraient 40 MW et 200 points de charge sur les aires les plus sollicitées.

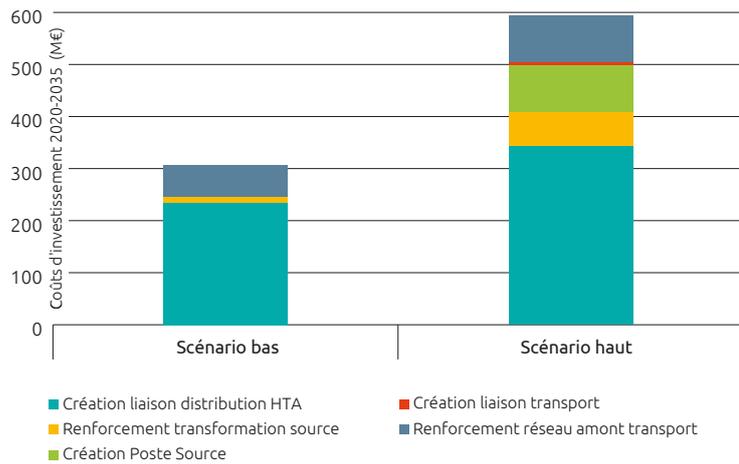
Ces besoins doivent globalement être considérés avec prudence et pourraient être dépassés dans certaines configurations spécifiques et en particulier en cas de développement plus rapide de la mobilité électrique que les trajectoires publiques considérées. Enfin, ces estimations n'intègrent pas les besoins pour la mobilité lourde dont la prise en compte pourrait conduire à ajuster les besoins exprimés dans l'étude.

2 – Les réseaux s'adapteront aux besoins de recharge sur autoroute, sans impact notable sur les trajectoires financières

Les extensions et adaptations des réseaux ne présentent pas de défis techniques particuliers ni d'enjeux financiers importants, leurs coûts étant pris en compte dans les trajectoires d'investissements des gestionnaires de réseau. Les coûts de développement des réseaux de transport et de distribution pour l'alimentation des stations de recharge sur autoroute sont estimés entre 300 M€ (configuration de référence) et 600 M€ (variante haute) d'ici 2035 (soit entre 20 et 40 M€/an), ce qui représente entre 0,3 et 0,6 % investissements planifiés par les GRD / GRT sur la période.

80 % des coûts correspondent à des investissements sur le réseau de distribution. Ils concernent essentiellement la création de nouvelles liaisons HTA entre des postes sources existants et les aires d'autoroutes et, pour certaines aires, le renforcement de postes sources (mutation de transformateur). Une partie importante de ces coûts ne dépend pas de la puissance raccordée. Néanmoins, dans la configuration haute étudiée, où les besoins de puissance à raccorder

FIGURE 2 : Coûts d'investissements dans les réseaux électriques cumulés sur la période 2021-2035



sont nettement plus élevés, le seul développement de nouvelles liaisons HTA à partir des postes sources existants n'est plus compatible avec un maintien d'un niveau de tension sur le réseau satisfaisant et la création d'une vingtaine de nouveaux postes sources sera nécessaire.

Les coûts pour le réseau de transport représenteront entre 60 et 90 M€ sur 15 ans (soit 4 à 6 M€/an) selon la configuration étudiée et correspondent à des renforcements ponctuels sur le réseau 63 kV/90 kV.

Ces coûts sont à comparer aux niveaux d'investissements actuels dans les réseaux électriques, soit 1,5 Md€ pour le réseau de transport et 4 Md€ pour le réseau de distribution en 2019 et des investissements futurs prévus par les gestionnaires de réseau (les investissements prévus sur le réseau public de transports se montent à plus de 2 Mds€ par an en moyenne sur la période 2020-2035).

3 – L'anticipation par les porteurs de projets est un facteur déterminant du développement des équipements de l'ensemble des aires de service

D'un point de vue technique, les extensions et adaptation des réseaux nécessaires pour raccorder ces stations de recharge ne posent pas de difficultés techniques particulières. Néanmoins, selon le niveau de puissance et la configuration technique d'alimentation de chaque aire, les délais pouvant aller de douze à vingt-quatre mois sont nécessaires pour la réalisation des études, l'obtention des autorisations administratives et la réalisation des travaux. Les demandes de raccordement doivent être anticipées par les porteurs de projets, pour permettre une bonne adéquation entre le besoin des utilisateurs et le dimensionnement des infrastructures.

3 Critère actuel utilisé par les sociétés d'autoroute pour dimensionner les stations essence (critère défini sur la 30^e heure la plus chargée)

4 L'hypothèse considérée est une répartition entre différents niveaux de puissances au sein d'une aire d'autoroute: 20 % des points de charge à 50 kW, 50 % à 150 kW et 30 % à 350 kW.



2 | Introduction

2.1 | Le déploiement des infrastructures de recharge sur autoroute accélère pour accompagner le développement de la mobilité électrique

Le développement massif du véhicule électrique constitue un levier essentiel pour atteindre les objectifs européens et français de réduction des émissions de CO₂ d'ici à 2030. Sous l'effet de la mise en place de différents dispositifs de soutien au développement des véhicules électriques et de pénalisation des véhicules thermiques, mis en place par l'Union européenne, la France et les collectivités territoriales, la dynamique de développement des véhicules électrique est désormais enclenchée. L'année 2020 a été marquée par une accélération très nette des immatriculations de véhicules électriques : les ventes 2020 (près de 200 000) ont quasiment triplé par rapport à 2019 et ont représenté plus de 10 % des ventes de véhicules légers. On compte ainsi plus de 580 000 véhicules légers électriques et hybrides rechargeables en France métropolitaine.

L'équipement des autoroutes en stations de recharge s'intensifie : les sociétés concessionnaires d'autoroute ont désormais l'obligation d'équiper toutes leurs aires de service d'ici au 1^{er} janvier 2023⁵. En contrepartie, des dispositifs d'accompagnement financier sont déployés :

- Le Plan de soutien « France Relance » prévoit des aides à l'installation de bornes de recharge rapide sur les grands axes routiers et autoroutiers, à hauteur de 100 M€ jusqu'à juin 2022 (décret n° 2021-153 du 12 février 2021),
- Le taux de réfaction est porté de 40 % à 75 % pour des demandes de raccordement de puissance inférieure ou égale à 5 000 kW jusqu'à fin 2021.

2.2 | Les gestionnaires de réseaux électriques anticipent les évolutions nécessaires des réseaux pour assurer ces nouveaux usages

L'arrivée de millions de véhicules électriques soulève une légitime question sur les coûts d'adaptation du système électrique pour permettre la recharge des véhicules. La question porte à la fois sur la capacité de production pour faire face à cette consommation supplémentaire, mais aussi sur les besoins d'adaptation et de redimensionnement des réseaux électriques et des investissements associés.

La question de la capacité du parc de production d'électricité à répondre à cette consommation a fait l'objet d'une analyse détaillée, publiée par RTE et l'AVERE dans le rapport sur les « Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique » en mai 2019. Ces analyses ont montré qu'un développement massif de la mobilité électrique ne posait pas de difficulté à l'horizon 2035.

Celle de l'adaptation et du redimensionnement des réseaux a également été étudiée par les gestionnaires de réseaux qui ont vocation à mettre en œuvre, en partenariat avec les politiques publiques, les conditions d'alimentation de la demande électrique associée aux infrastructures de recharge. D'une part, dans le cadre de son Schéma décennal de développement de réseau (SDDR) RTE a mené des premières estimations sur le besoin d'infrastructure de recharge pour la mobilité électrique longue distance. D'autre part, Enedis a publié un rapport sur « l'intégration de la mobilité électrique dans le réseau public de distribution d'électricité » en novembre 2019⁶. Il établit que le réseau de distribution sera capable de répondre aux pics de sollicitation anticipés. S'agissant précisément de la recharge rapide sur les aires de service d'autoroute, Enedis a mené en 2018 une première étude de chiffrage des besoins d'adaptation du réseau dont les principaux résultats sont restitués dans le rapport de la CRE d'octobre 2018⁷.

Ces différentes études sont basées sur des périmètres et hypothèses différents.

Afin d'apporter une analyse consolidée, basée sur des hypothèses identiques, Enedis et RTE ont engagé conjointement une étude complémentaire visant à évaluer les besoins de recharge sur les aires d'autoroutes et les puissances de raccordement de bornes nécessaires pour accompagner le développement de la mobilité électrique sur longue distance et estimer les besoins d'investissements dans les réseaux HTA et HTB et les leviers d'optimisation des coûts d'investissements.

Deux horizons temporels sont étudiés : 2035 et un point intermédiaire en 2028, correspondant à l'horizon de la PPE actuellement en vigueur.

L'analyse est réalisée en deux étapes : une estimation aire par aire du besoin de puissance à raccorder pour répondre aux besoins de recharge pour la mobilité longue distance et une analyse des impacts pour les réseaux, des besoins de raccordement et de renforcement et le chiffrage des coûts correspondants.



5 Décret n° 2021-159 du 12 février 2021 relatif aux obligations s'appliquant aux conventions de délégation autoroutières en matière de transition écologique

6 <https://www.enedis.fr/presse/integration-de-la-mobilite-electrique-au-reseau-public-de-distribution-deelectricite>

7 Les réseaux électriques au service des véhicules électriques, CRE, octobre 2018



3 | Les besoins d'infrastructure de recharge pour la mobilité légère sur autoroute pourront représenter à horizon 2035 une puissance moyenne par aire entre 4 MW (scénario de référence) et 12 MW (scénario haut) et une puissance cumulée de l'ordre de 2 GW à 5 GW

3.1 | À mi-2021, moins d'un quart des aires d'autoroute sont équipées de stations de recharge haute puissance

À fin avril 2021, seulement une centaine d'aires⁸ sur les 415 aires de service sur autoroute en France métropolitaine sont équipées de bornes de recharge haute puissance. Les aires qui disposent déjà de stations de recharge sont en moyenne équipées de six points de charge dont la puissance maximale est comprise entre 50 kW et 350 kW. La puissance totale raccordée représente aujourd'hui 130 MW. Le maillage actuel est contraignant pour permettre un essor de la mobilité électrique sur longue distance : il correspond en moyenne à une aire équipée

d'une station de recharge tous les 130 km sur le linéaire autoroutier.

Sous l'effet de ces mesures et de l'anticipation par les sociétés concessionnaires d'autoroutes, de nombreuses demandes de raccordement ont été adressées aux gestionnaires de réseau. En tenant compte des stations déjà équipées, l'ensemble des demandes recensées devraient conduire d'ici 2022 à ce que les trois quarts des aires soient équipées de stations de recharge haute puissance.

3.2 | L'évaluation des besoins de recharge aire par aire à moyen/long terme repose sur un cadre de modélisation des trajets longue distance effectués par les véhicules légers

L'étude réalisée par Enedis et RTE consiste à évaluer les besoins de recharge sur les 415 aires de service d'autoroute du territoire métropolitain. Les puissances des stations de recharge estimées pour cette étude correspondent uniquement aux besoins pour la mobilité des véhicules légers et n'intègrent pas les besoins liés à la mobilité des véhicules lourds (camions notamment).

L'estimation des besoins de puissance des stations de recharge pour la mobilité légère électrique s'effectue sur la base d'une modélisation du trafic sur autoroute correspondant aux déplacements longue distance (seuls déplacements susceptibles de nécessiter des besoins de recharge) et des besoins d'arrêt pour recharge des véhicules légers. Cette modélisation s'appuie sur les statistiques de l'Enquête nationale transport déplacements de 2008 (ENTD)⁹ : lieu de départ, jours de départ, heures de départ, lieu de destination.

Sur la base des volumes de trajets par couple origine/destination, un calcul d'itinéraire analogue à celui que fournit un GPS est effectué et permet une projection du trafic de véhicules sur chaque tronçon d'autoroute.

L'ENTD ne porte cependant que sur les déplacements des personnes résidant en France et n'intègre donc pas les déplacements correspondant aux habitants des pays voisins qui peuvent effectuer des trajets avec origine ou destination en France ou pour traverser la France et se rendre dans un autre pays.

Afin de pallier cet effet ainsi que tous les éventuels biais de modélisation sur les trafics, les trajets pris en compte sont recalés en niveau sur les trafics actuels observés par tronçons (TMJA 2017¹⁰).

Fréquentation des aires

Pour chaque trajet (couple origine/destination) et chaque véhicule (caractérisé par sa consommation kilométrique et la taille de sa batterie), le modèle calcule les aires auxquelles le véhicule devra s'arrêter pour la recharge, compte tenu de l'hypothèse sur la capacité de la batterie et la consommation kilométrique. Il est supposé que les véhicules ne

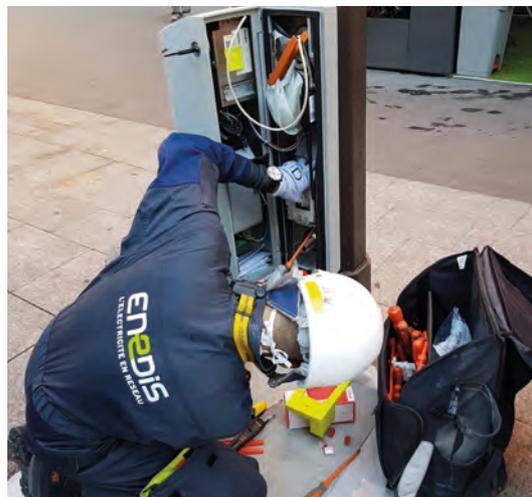
s'arrêtent que lorsqu'une recharge électrique est nécessaire, et le cas échéant rechargent l'énergie suffisante pour poursuivre le trajet.

Les VHR sont considérés comme ne se rechargeant pas sur autoroute mais privilégiant le moteur thermique pour les trajets longue distance.

Répartition temporelle du trafic

L'Enquête nationale transport déplacement fournit des statistiques sur les déplacements par mois, par type de jour et heure de la journée mais ne permet pas de distinguer, au sein d'un même mois, les différentes semaines. Afin de reconstituer une vision du trafic pour chaque jour de l'année, deux hypothèses différentes ont été considérées :

- Une hypothèse dite de « variabilité haute », consistant à compléter les éléments de l'enquête nationale transport-déplacement avec des informations de l'enquête « Mobilité touristique et population présente »¹¹, qui permet d'avoir une vision plus détaillée temporellement des déplacements. L'analyse de cette enquête permet ainsi de construire une différenciation entre les semaines d'un même mois.
- Une hypothèse dite de « variabilité basse » qui utilise les mêmes données d'enquête "Mobilité touristique et population présente" et les pondère pour retrouver les variations de trafic observées sur certains tronçons d'autoroute.



8 Dont 71 aires raccordées et équipées de points de charge haute puissance de 150 kW ou plus et de puissance totale supérieure à 500 kW.

9 Enquête nationale transports et déplacements (ENTD) 2008 | Données et études statistiques (developpement-durable.gouv.fr)

10 Taux Moyens Journaliers Annuels de trafic constaté sur autoroute, data.gouv.fr, 2017

11 « Mobilité touristique et population présente. Les bases de l'économie présentielle des départements. » Ministère des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer – Ministère délégué au tourisme, 2006.

Dimensionnement en puissance des aires de service

La puissance par aire de service est calculée en fonction des besoins de recharge pour chaque heure de l'année, évalués à l'étape précédente et d'une hypothèse de dimensionnement. Cette hypothèse peut prendre deux valeurs :

- Une hypothèse de dimensionnement « à la trentième heure ». Cette hypothèse consiste à considérer que les aires d'autoroute seront en capacité de répondre aux besoins de recharge, sans délai d'attente excessif pour les automobilistes, toutes les heures de l'année à l'exception des 30 heures les plus chargées de l'année. Ce critère de la trentième heure correspond au dimensionnement des ouvrages autoroutiers. Appliqué aux stations de

recharge sur autoroute, il peut conduire à une attente de plusieurs dizaines de minutes en fonction des aires, plusieurs jours par an. C'est cette hypothèse de dimensionnement électrique à la trentième heure qui est retenue dans le scénario de référence de cette étude.

- Une hypothèse de dimensionnement « à la pointe ». La puissance de raccordement pour chaque aire est fixée à la puissance maximale applicable au cours de l'année, lors du pic horaire de demande de recharge. Elle assure qu'il n'existe pas d'attente en station, en contrepartie d'un investissement plus élevé dans les réseaux. C'est l'hypothèse considérée dans la variante « haute » sur les besoins de recharge.

3.3 | Deux scénarios sont étudiés pour refléter les incertitudes sur le développement de la mobilité électrique, en particulier pour les trajets longue distance

Deux scénarios sont étudiés pour refléter des configurations contrastées susceptibles d'avoir un impact sur les besoins de recharge sur autoroutes. Ces différents scénarios sont étudiés sur l'horizon 2035. Sur l'analyse à horizon 2028, seul le scénario de référence fait l'objet d'une évaluation. Les deux scénarios reposent sur le même nombre de véhicules électriques en circulation (5,3 millions en 2028¹² et 15,6 millions en 2035), qui correspond à l'hypothèse haute considérée dans le rapport RTE-AVERE de 2019. Compte-tenu du développement récent de la mobilité électrique, ce scénario apparaît désormais comme étant plausible.

Les différences entre les scénarios portent sur :

- L'utilisation des véhicules électriques pour la mobilité longue distance d'une utilisation moindre de ~25 % que les véhicules thermiques actuels à une utilisation supérieure de 20 % que les véhicules thermiques actuels.
- La taille des batteries, qui conditionne les besoins de recharge sur autoroutes, se situe entre de l'ordre de 70 kWh et de l'ordre de 90 kWh, soit entre moins de 300 et plus de 350 km d'autonomie pour des trajets sur autoroute.
- Le critère de dimensionnement des stations de recharge, entre un critère de dimensionnement à 99,7 % (qui ne garantit pas une possibilité de recharge des véhicules sans attente des automobilistes pendant les 30 heures les plus chargées de l'année) et un critère à 100 % où les infrastructures de recharges permettent d'éviter des attentes pour la recharge même sur les heures les plus chargées.

Les scénarios étudiés se distinguent aussi sur l'hypothèse de répartition de la mobilité longue distance entre les différentes semaines, et singulièrement les WE, d'un même mois. Il s'agit ici de traiter une imprécision sur la reconstitution de la répartition temporelle des déplacements longue distance et non une incertitude en soi sur le développement de la mobilité électrique.

3.3.1 | Scénario de référence

Ce scénario décline le scénario « Crescendo haut » du rapport RTE-AVERE sur l'ensemble des paramètres de développement de la mobilité électrique : nombre, technologie, tailles des batteries, distance parcourue en longue distance. Il repose ainsi sur un développement des véhicules électriques légers à 15,6 millions d'unités (véhicules tout électriques et véhicules hybrides rechargeables) en 2035, soit environ à 40 % du parc de véhicules légers avec un point d'étape en 2028 à 5,3 millions d'unités en cohérence avec la PPE. La part des véhicules hybrides rechargeables dans ce parc électrique serait de 22 % soit à peu près la proportion à fin 2020 pour les véhicules légers.

La capacité moyenne des batteries se situe à 73 kWh à l'horizon 2035, en cohérence avec les projections des acteurs du secteur¹³.

¹² Ce chiffre correspond aux objectifs de la PPE

¹³ https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019_07_TE_electric_cars_report_final.pdf



La puissance des infrastructures de recharge est établie sur la base du critère actuel de dimensionnement de la capacité d'accueil des stations d'autoroute, c'est-à-dire sur la 30^e heure la plus chargée de l'année. Ce choix implique qu'un arbitrage est réalisé entre le

temps d'attente pour se recharger lors des périodes de forts déplacements longue distance et les coûts de raccordement des IRVE.

L'hypothèse de variabilité considérée est la variabilité « haute ».

3.3.2 | Scénario haut

Le scénario haut teste une configuration plus « stressante » pour le réseau mais qui peut apparaître aussi réaliste que le scénario de référence à plusieurs égards.

Le scénario haut se distingue du scénario de référence par :

- Une configuration de développement basée sur les hypothèses du scénario Forte du rapport RTE-AVERE : la mobilité électrique se développe plus particulièrement chez les « gros rouleurs » qui réalisent une plus grande part de trajets longue distance. Associés à cette hypothèse de

développement des longs trajets en électrique, les paramètres relatifs aux batteries et aux puissances de recharge sur autoroute sont positionnés à des niveaux élevés. La capacité moyenne de la batterie du véhicule 100 % électrique est estimée à 89 kWh.

- Un dimensionnement des stations de recharge correspondant au niveau du besoin maximal sur l'année : ce dimensionnement correspond à une configuration où les stations de recharges ont suffisamment de capacité pour accueillir les recharges, y compris pendant les heures de plus forte sollicitation.

3.4 | Les besoins de recharge sur autoroute ne représenteront qu'une très faible consommation d'électricité

À horizon 2028, dans le scénario de référence, la consommation d'électricité sur les stations de recharge sur autoroute représentera de l'ordre de 0,7 TWh/an, soit moins de 0,2 % de la consommation actuelle d'électricité et de l'ordre de 6 % de la consommation d'électricité pour la mobilité électrique.

La part de la consommation réalisée en itinérance sur la consommation totale (itinérance + recharge à destination) est d'environ 40 %. Ce résultat traduit les hypothèses suivantes : la batterie est pleine au départ avant d'arriver sur l'autoroute, et seule l'énergie suffisante pour arriver à destination est rechargée au dernier arrêt sur une aire.

À horizon 2035, cette consommation d'électricité par les véhicules légers sur les aires d'autoroute devrait représenter entre 1,8 TWh (scénario de référence) et 3,5 TWh (scénario haut). À cet horizon, dans tous les scénarios, cette consommation représentera au plus 10 % de la consommation totale des véhicules électriques et moins de 0,7 % de la consommation d'électricité nationale.

Bien que la consommation en énergie pour la recharge sur autoroute soit faible, la pointe de puissance correspondant à ces recharges peut être significative car les besoins de mobilité longue distance sur autoroute sont essentiellement concentrés sur certains jours spécifiques de l'année, week-ends prolongés (Pentecôte, Pâques, etc.) et départs en

vacances, dont les « chassé-croisé » de juillet-août. À l'horizon 2035, la pointe nationale « synchrone » de recharge sur autoroute pour la mobilité légère devrait se situer entre de l'ordre de 2,5 GW (scénario de référence) et 4 GW (scénario haut).

Les recharges sur autoroute pour les besoins de mobilité longue distance sont concentrées lors des périodes où le système électrique dispose de marges (WE, périodes de congés, etc.) et ne posent pas de difficultés vis-à-vis des capacités de production d'électricité disponibles. En pratique, la contribution des recharges sur autoroute à la pointe nationale restera faible. Dans la configuration de référence à l'horizon 2035, la contribution de la recharge des véhicules légers sur les aires d'autoroute à l'augmentation de la pointe de consommation nationale serait limitée : entre moins de 0,7 GW et au plus 1,4 GW dans une situation défavorable où une vague de froid « tomberait » sur une journée de départ en congés. Cette contribution est à comparer avec la pointe de consommation nationale pour la recharge des véhicules sur autoroute, de l'ordre de 2,5 GW et la pointe de consommation nationale d'électricité, qui a atteint 88,5 GW le 24 janvier.

FIGURE 3 : Consommation d'électricité sur les aires d'autoroutes pour le besoin de recharge des véhicules électriques

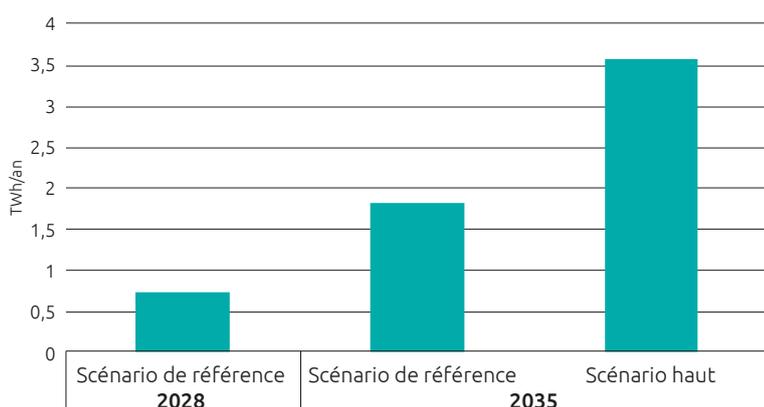
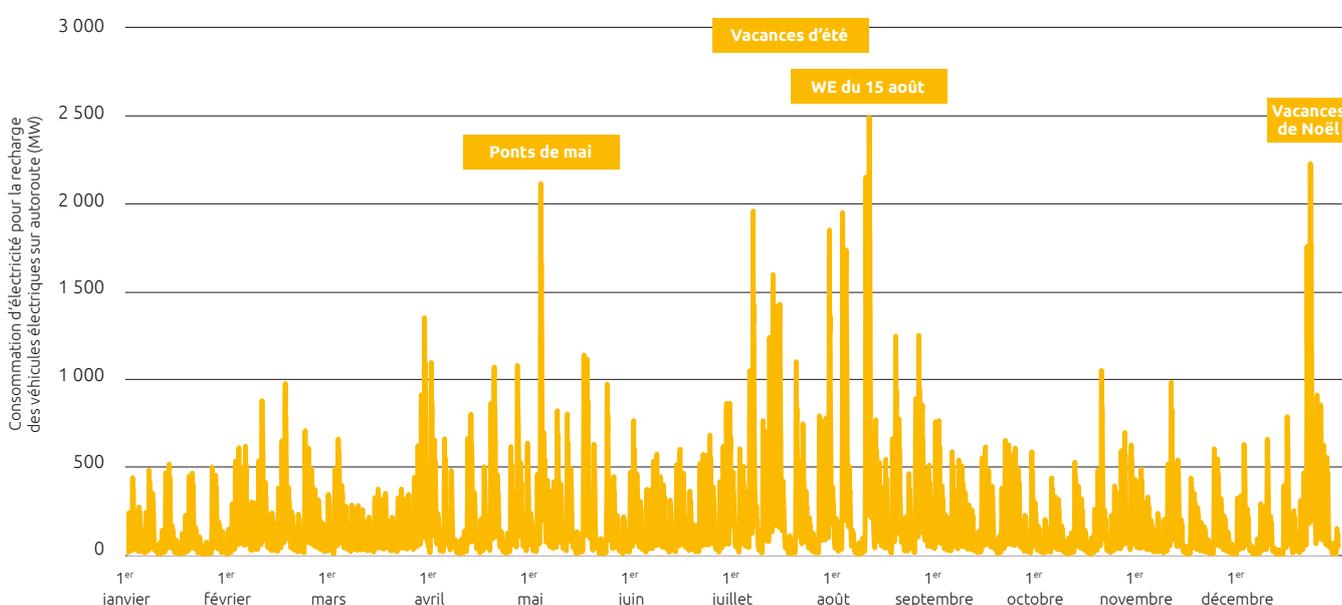


FIGURE 4 : Puissance soutirée pour la recharge des véhicules électriques légers sur les aires d'autoroutes – scénario de référence à horizon 2035



14 Trajets où le point de départ ou d'arrivée se situent à plus de 80 km du lieu de résidence.

3.5 | La puissance des stations de recharge sur autoroute devrait représenter une puissance cumulée de l'ordre de 2 GW (scénario de référence) à 5 GW (scénario haut) à l'horizon 2035

D'ici 2023, chacune des aires de service devrait être équipée de stations de recharge haute puissance. À l'horizon 2028, les besoins estimés de raccordement des stations de recharge sur autoroute (en tenant compte d'un dimensionnement à la « 30^e heure »), la puissance totale de raccordement devrait représenter de l'ordre de 0,6 GW dans le scénario de référence. Ceci représente une puissance à raccorder de l'ordre de 1,5 MW en moyenne par aire. Cette puissance moyenne correspond globalement aux puissances constatées sur les aires déjà raccordées en 2021 : entre 1,5 et 2,5 MW sur les 71 aires répertoriées au périmètre Enedis, disposant d'au moins quatre points de recharge.

À l'horizon 2035, la puissance totale de raccordement des stations de recharge sur autoroute représenterait entre près de 2 GW (scénario de référence) et près de 5 GW (scénario haut). Cela représente entre 4 MW (scénario de référence) et 12 MW (scénario haut) en moyenne par aire.

Dans le scénario de référence, le besoin de puissance moyenne par aire de 4 MW correspond à l'équivalent de 20 points de charge de puissance moyenne de 200 kW, permettant une recharge à 80 % d'un véhicule typique en 20 minutes¹⁵.

Dans le scénario « haut », le besoin de puissance moyenne par aire de 12 MW correspond à l'équivalent de 60 points de charge de puissance moyenne de 200 kW, et atteindrait au maximum 40 MW soit 200 points de charge sur les aires les plus sollicitées.

Les besoins en puissance sont contrastés selon les aires. Sans surprise, ce sont sur les aires correspondant aux axes les plus fréquentés que les niveaux de demande de recharge sont les plus importants. C'est notamment le cas de l'A6, l'A7, l'A8 et l'A9, très empruntés en périodes de vacances et, dans une moindre mesure, l'A10 et l'A20.

FIGURE 5 : Puissance cumulée à l'échelle nationale des stations de recharge sur les aires de service sur autoroute

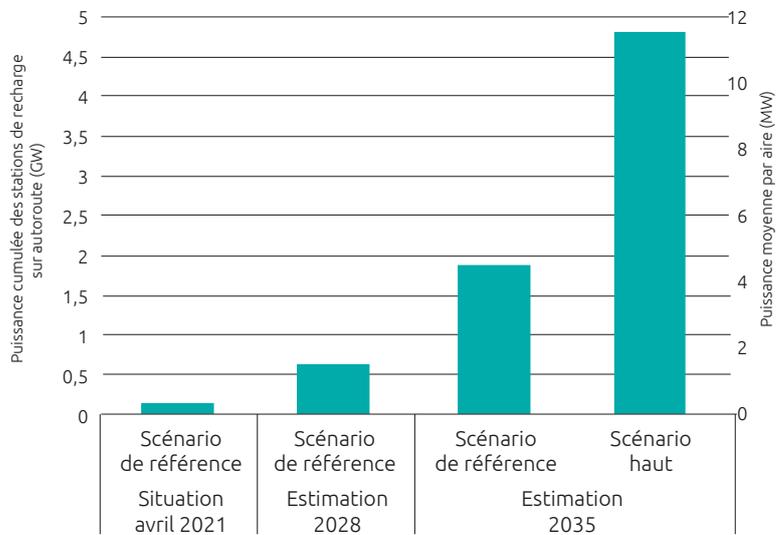
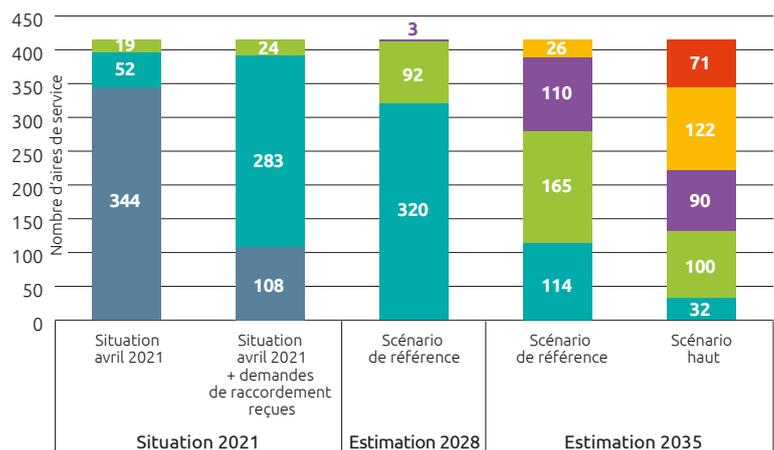


FIGURE 6 : Nombre d'aires de service équipées de points charge haute puissance (décomposition selon la puissance de raccordement)



- Station de recharge de puissance > à 20 MW - plus de 100 pts de charge de 200 kW en moyenne
- Station de recharge de puissance entre [10 - 20 MW] - entre 50 et 100 pts de charge de 200 kW en moyenne
- Station de recharge de puissance entre [5 - 10 MW] - entre 25 et 50 pts de charge de 200 kW en moyenne
- Station de recharge de puissance entre [2 - 5 MW] - entre 10 et 25 pts de charge de 200 kW en moyenne
- Station de recharge de puissance entre [0 - 2 MW] - jusqu'à 10 pts de charge de 200 kW en moyenne
- Pas de station de recharge ou hors périmètre Enedis

15 L'hypothèse considérée est une répartition entre différents niveaux de puissances au sein d'une aire d'autoroute : 20 % des points de charge à 50 kW, 50 % à 150 kW et 30 % à 350 kW.

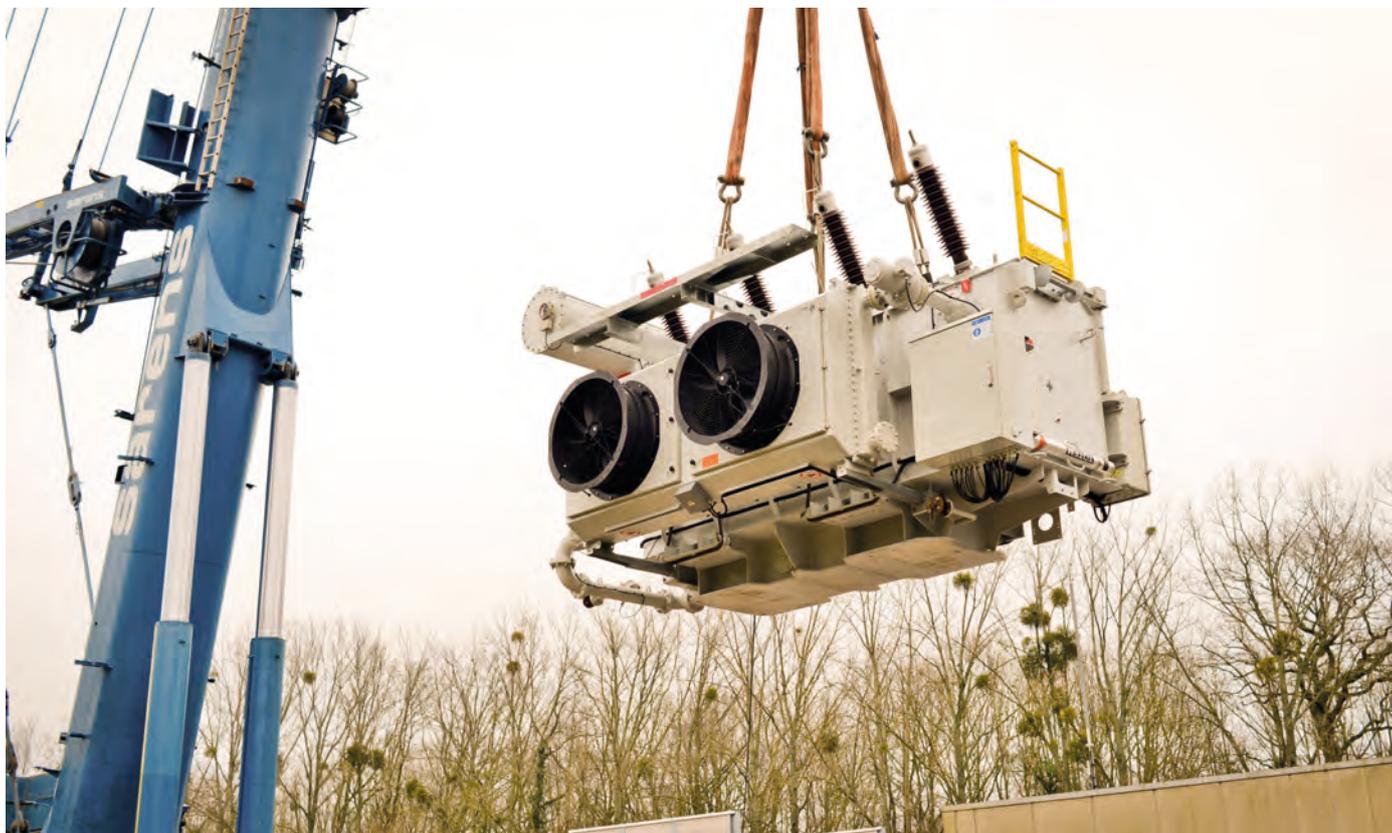
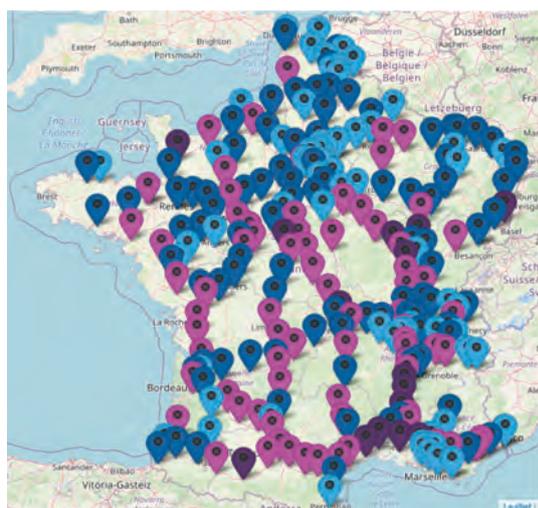


FIGURE 7 : Puissance de recharge par aire de service à l'horizon 2035 dans le scénario de référence



Puissance au niveau de chaque aire :

- Inférieure à 2 MW
- Entre 2 et 5 MW
- Entre 5 et 10 MW
- Supérieure à 10 MW

Sur les aires les plus sollicitées, le besoin sur les aires les plus sollicitées peut atteindre jusqu'à 16 MW (soit de l'ordre de 80 points de recharge à 200 KW en moyenne) dans le scénario de référence et jusqu'à 40 MW (soit de l'ordre de 200 points de recharge à 200 KW en moyenne) dans le scénario « haut ».

Ces besoins, tant au niveau de chaque aire que leur agrégation nationale, doivent globalement être considérés avec prudence et pourraient être dépassés en cas de développement plus rapide de la mobilité électrique que les trajectoires publiques considérées. Enfin, ces estimations n'intègrent pas les besoins pour la mobilité lourde dont la prise en compte pourrait conduire à ajuster les besoins exprimés dans l'étude.

4 | Les évolutions des réseaux pour les besoins de recharge sur autoroute ne présentent pas de défis techniques ou financiers majeurs

4.1 | Les évolutions de réseaux concernent principalement le réseau de distribution

Une vingtaine de nouveaux postes sources pourraient être nécessaires d'ici 2035, dans l'hypothèse la plus contraignante pour le réseau de développement de la mobilité électrique (scénario haut).

Lors du raccordement d'une nouvelle charge au réseau de distribution, une étude de levée de contrainte est réalisée par Enedis. Cette étude vise notamment à établir si cette charge fait apparaître une contrainte sur le réseau (contrainte en tension ou en intensité sur le départ HTA, ou contrainte transformateur au niveau du poste source), et le cas échéant identifier la solution présentant le meilleur bilan technico-économique à 10 ans.

Dans le cadre de cette étude, l'étude réseau est prévisionnelle et très simplifiée : elle est réalisée à réseau existant et sans tenir compte de la production EnR sur le réseau. Les leviers de levée de contrainte étudiés sont réduits à trois : la création d'une ou plusieurs liaisons HTA, la mutation du transformateur du poste source et la création d'un nouveau poste source. En outre, on considère ici que la création d'un départ HTA est nécessaire dès lors que la demande pour l'aire dépasse 0,5 MW, c'est-à-dire quasiment systématiquement.

À l'horizon 2028, dans le scénario de référence, seulement 3 postes sources existants sont à renforcer. Mais de nombreuses liaisons HTA pourraient être nécessaires.

À l'horizon 2035, dans le scénario de référence, les besoins de renforcements du réseau de distribution sont limités, avec moins d'une vingtaine de postes source à renforcer. Dans le scénario haut, environ 60 postes sources sont à renforcer et près d'une vingtaine de postes sources sont à créer.

Dans tous les scénarios, la recharge sur les aires d'autoroute n'exige pas de renforcements importants du réseau de transport.

Le développement de recharges sur les aires de service sur autoroute a un effet sur les flux sur le réseau de transport et notamment le réseau HTB1. Aux horizons considérés, l'impact reste relativement

FIGURE 8 : Créations et renforcements sur le réseau de distribution à prévoir sur la période 2021-2028 et la période 2029-2035 pour le raccordement des stations de recharge sur autoroute pour la mobilité légère

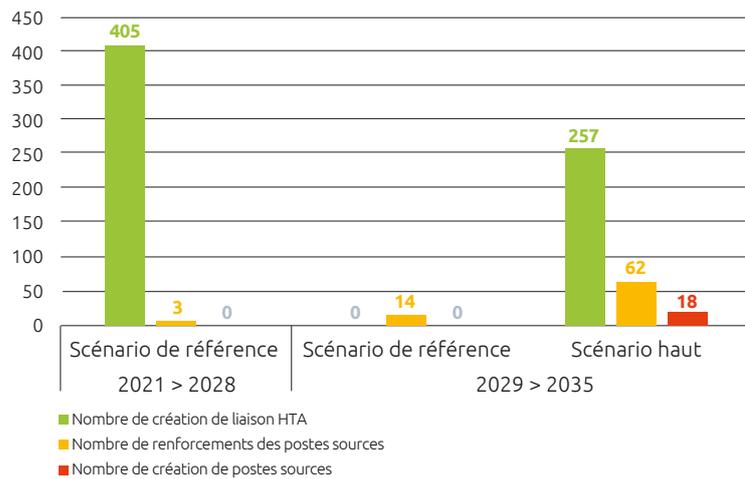
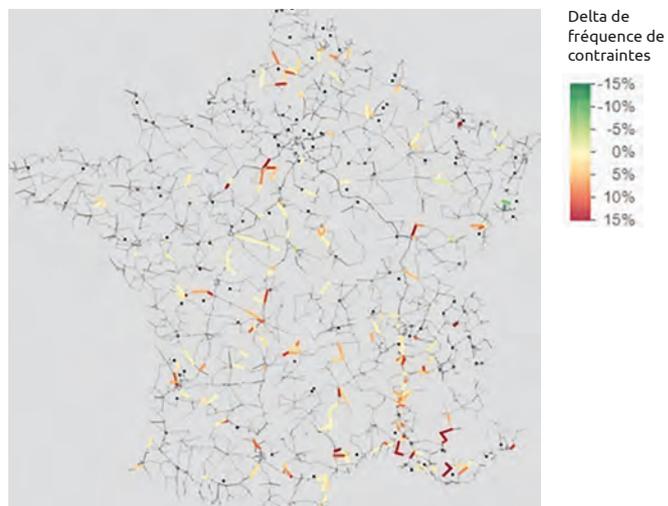


FIGURE 9 : Carte représentant l'évolution des contraintes sur le réseau HTB1, sous l'effet du développement de la recharge sur autoroute (comparaison avec et sans recharge sur autoroute)



limité, compte-tenu des volumes d'énergie en jeu (moins de 2 TWh dans le scénario de référence en 2035).

Le développement de ce nouveau poste de consommation s'inscrit dans un contexte où les développements du réseau de transport ne sont que très localement et ponctuellement tirés par les évolutions de consommation mais plus par le développement des EnR. Globalement, le développement de la recharge sur autoroute conduit à faire augmenter légèrement les contraintes sur le réseau de transport (cf. Figure 9), ce qui engendrera quelques besoins de renforcement.

Les analyses menées conduisent à estimer un besoin de renforcement sur moins de 20 ouvrages (dans le scénario de référence) et de l'ordre de 25 ouvrages dans le scénario haut.

La recharge sur autoroutes représente un enjeu faible pour le réseau de transport, avec seulement des impacts très ponctuels et nécessitant des investissements très limités.

4.2 | Des investissements entre 300 et 600 M€ sont nécessaires sur la période 2020 – 2035, dont environ 80 % sur le réseau de distribution

4.2.1 | Sur la période 2020 – 2028, des investissements de l'ordre de 250 M€, qui correspondent pour l'essentiel à la création de liaisons pour raccorder des stations-service sur des aires non équipées actuellement

Le coût total sur la période 2020-2028 est estimé à 260 M€, dont 80 % représentent la création de 405 départs HTA directs et 20 % de renforcement de trois postes sources et du réseau HTB amont.

Ce montant correspond à un coût unitaire de l'ordre de 600 k€ par aire en moyenne. Cependant, les coûts par aire sont très différenciés et dépendent fortement de la configuration des aires (la puissance à raccorder et la configuration locale du réseau, notamment la distance au poste source le plus proche). La distribution des coûts présente un écart-type de 330 k€.

Cette estimation est fondée sur l'hypothèse prudente du besoin de création d'un départ HTA pour toutes les aires dont la puissance est supérieure à 0,5 MW. Autrement dit, on considère que le réseau HTA ne dispose pas de marge d'accueil et donc le coût de raccordement calculé dans le modèle correspond à la fourchette haute des coûts constatés en 2020, et non aux coûts moyens constatés en 2020 qui sont significativement inférieurs.

Quel coût réel pour le demandeur ? Taux de réfaction

L'article 64 de Loi d'Orientation des Mobilités (LOM) prévoit un taux de prise en charge dérogatoire maximal de 75 % par le TURPE des coûts de raccordement d'infrastructures de recharge ouvertes au public. L'arrêté du 27 avril 2021 précise les conditions dans lesquelles ce taux est porté de 40 % à 75 %.

S'agissant des routes express et autoroutes, le taux de 75 % s'applique aux stations de recharge dont la puissance est inférieure ou égale à 5 000 kW, si l'aire n'est pas déjà équipée d'une IRVE d'une puissance supérieure à 60 kW. En outre, si plusieurs demandes sont effectuées simultanément par le même aménageur dans un rayon de 100 mètres, seul le raccordement le moins onéreux bénéficie du raccordement à 75 %.

Si la demande respecte ces critères, alors le taux de réfaction de 75 % est appliqué à l'ensemble des prestations figurant dans la proposition de raccordement d'Enedis. Les montants relatifs aux prestations d'accès réseau (consignation de réseau), de travaux sous tension HTA, de fourniture et pose d'ouvrages (canalisation HTA, cellules HTA, accessoires, comptage BT ou HTA), de terrassements ou d'autres composantes sont réduits de 75 % dans la facture client.

Par exemple, considérons un coût de raccordement qui s'élève à 300 k€ HT. Si la demande est éligible au taux de réfaction à 75 %, le devis facturé au demandeur correspond donc à 75 k€ HT. Dans le cas contraire, le devis facturé est de 180 k€ HT.



4.2.2 | Sur la période 2028 – 2035 des investissements dans les réseaux électriques supplémentaires dont l'ampleur dépendra des modalités de développement de la mobilité électrique et le dimensionnement des stations de recharge sur autoroute

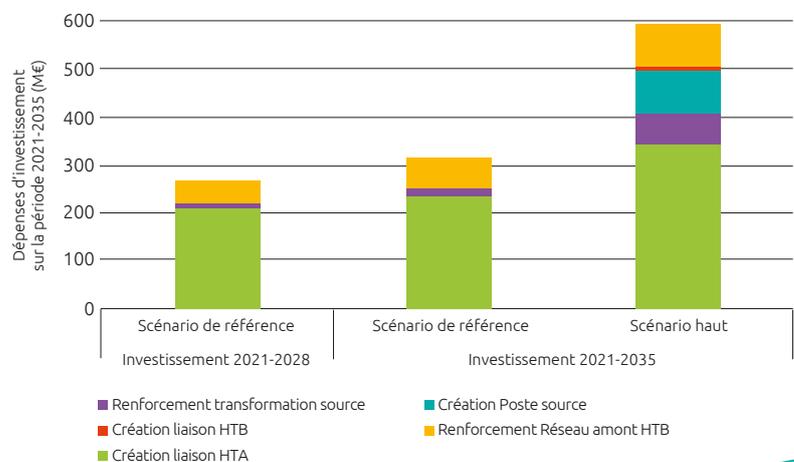
Les liaisons HTA créés avant 2028 permettent aux départs de porter la demande de recharge sans contrainte. Mais avec une demande croissante, des contraintes de transformation peuvent apparaître, nécessitant des mutations de transformateurs.

Pour le scénario de référence, l'investissement dans les réseaux s'élève à environ 300 M€ en cumul sur la période 2020-2035, soit de l'ordre de 50 M€ de plus par rapport à l'investissement à consentir d'ici 2028. Ceci signifie que dans cette configuration, l'essentiel des investissements dans les réseaux correspondent aux premiers raccordements, qui nécessitent la création de nouvelles liaisons.

Ces coûts représentent moins de 1 % des coûts annuels d'investissement actuels sur les deux réseaux électriques.

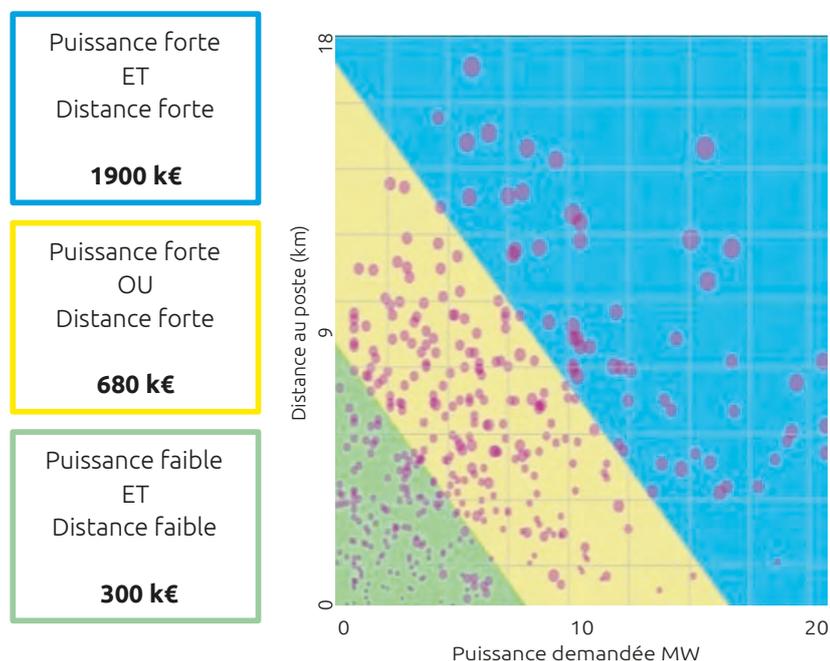
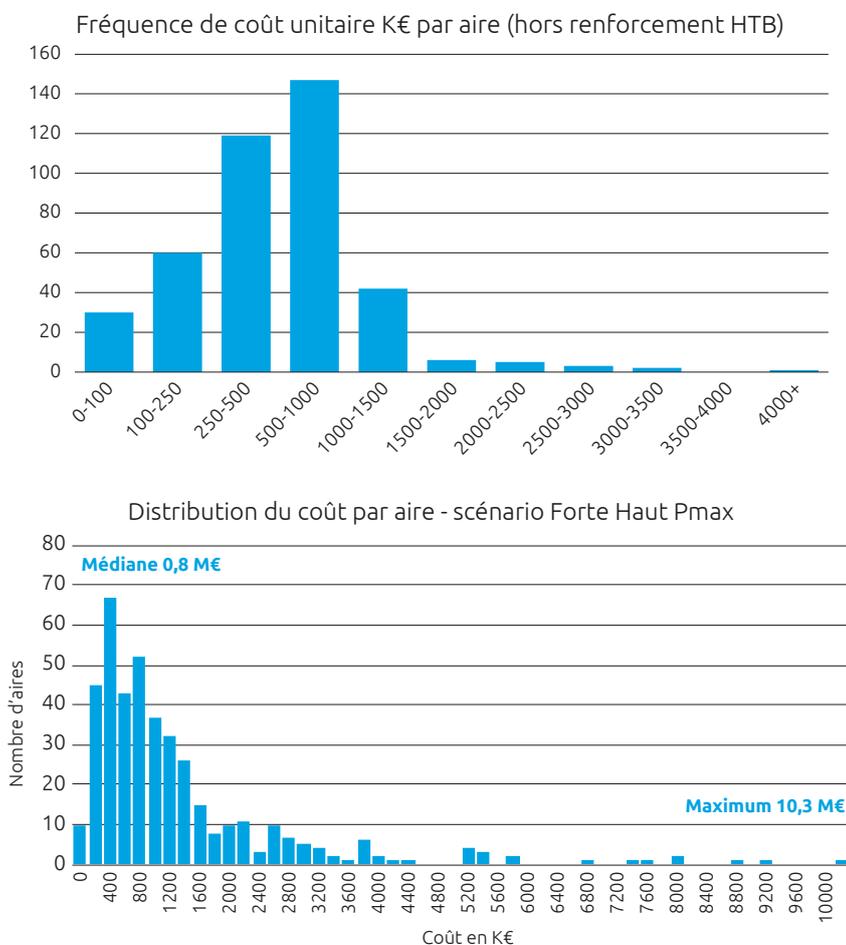
Les résultats sont par ailleurs robustes à l'hypothèse relative à la répartition temporelle des besoins de recharge au sein d'un mois. Pour le scénario de variabilité basse des besoins de recharge, les coûts de raccordement des stations-service sont réduits de moins de 15 %.

FIGURE 10 : Dépenses d'investissement cumulées dans les réseaux électriques (transport et distribution) sur la période 2021-2028 et 2021-2035 pour le raccordement des stations de recharge sur autoroute nécessaires à la mobilité légère longue distance



4.3 | Les coûts unitaires sont très variables mais peuvent être classés en trois configurations

FIGURE 11 : Répartition des coûts unitaires (par aire) de raccordement (hors coûts pour le réseau de transport) des stations de recharge sur autoroute à horizon 2035, dans le scénario de référence (en haut) et le scénario haut (en bas)



Le coût unitaire de raccordement d'une aire peut varier très sensiblement en fonction du scénario et du contexte local. Il dépend essentiellement de deux facteurs : la puissance de raccordement et la distance entre l'aire et le poste source le plus proche.

Il atteint 750 k€ en moyenne dans le scénario de référence, en tenant compte des coûts de renforcement du réseau de transport.

Dans le scénario haut, le coût de raccordement par aire passe à 1200 k€ par aire en moyenne (hors renforcement du réseau de transport). Dans ce scénario haut, le coût unitaire peut dépasser 5 M€ pour 4 % des stations, mais reste inférieur à 800 k€ pour la moitié des aires (cf Figure 11).

La dispersion des coûts de raccordement est importante autour de cette valeur moyenne, comme le montre l'histogramme ci-contre.

La Figure 12 représente les caractéristiques de l'ensemble des raccordements étudiés dans le scénario de référence. Ces raccordements peuvent être classés en trois catégories représentées graphiquement par trois couleurs distinctes :

- Les raccordements de faible puissance et/ou faible distance au poste source dont les coûts de raccordement et de renforcement moyens s'élèvent à 300 k€.
- Les raccordements de puissance élevée ou de distance au poste source élevée dont les coûts de raccordement et de renforcement moyens s'élèvent à 680 k€.
- Les raccordements de puissance élevée et de distance au poste source élevée dont les coûts de raccordement et de renforcement moyens s'élèvent à 1900 k€.

FIGURE 12 : Répartition des configurations de raccordement, selon la puissance à raccorder et la distance de l'aire de service au poste source le plus proche. La surface de chaque point est proportionnelle au coût de renforcement et de raccordement (hors renforcements du réseau de transport)

4.4 | Les pistes d'optimisation des coûts peuvent limiter les coûts mais ne présentent pas de gisement très important de baisse des investissements dans les réseaux à l'horizon considéré

Les coûts présentés précédemment sont estimés en considérant un raccordement séquencé dans le temps, en plusieurs fois, pour chacune des aires¹⁶. Ce mode de raccordement correspond à ce qu'il est le plus probable de se réaliser, sans organisation spécifique et sans logique de long terme dans le séquençage des demandes de raccordement

Une analyse des potentiels d'optimisation des coûts a été effectuée. Les leviers portent sur le regroupement des stations, le dimensionnement « à la cible » et dimensionnement « à la cible » optimisé avec raccordement au réseau de transport.

Le levier regroupement des stations pourrait présenter une économie de l'ordre de 10 % à 15 %

L'hypothèse de référence (considérée dans les coûts présentés précédemment) consiste à considérer que le raccordement est effectué aire par aire, sans chercher à mutualiser les besoins des aires lorsque deux aires sont situées l'une en face de l'autre. Elles sont donc raccordées via deux points de livraison différents.

L'hypothèse alternative testée consiste à considérer un raccordement « groupé » : les aires de services sont regroupées lorsqu'elles se font face de part et d'autre de l'autoroute.

Ce levier d'optimisation pourrait présenter une économie de l'ordre de 10 % (scénario de référence) à 15 % (scénario haut).

Le levier dimensionnement « à la cible » ne présente pas de gisement significatif de gain

Le dimensionnement à la cible consiste à prévoir un dimensionnement du réseau en anticipant les besoins de long terme, permettant ainsi d'éviter de multiples travaux (ex : réalisation d'une tranchée pour passer un câble, puis réouverture plusieurs années plus tard pour remplacer le câble par une section plus importante, etc.).

Les premières analyses menées ne permettent pas d'identifier de gisement significatif pour la plupart des raccordements considérés. En général, les liaisons HTA prévues permettent déjà d'absorber les besoins estimés à l'horizon 2035 et peu de travaux seraient à optimiser.

Des analyses plus détaillées sont effectuées au cas par cas par le gestionnaire de réseau lorsqu'une demande de raccordement se présente.

Le levier raccordement au RPT ne présente pas d'intérêt avéré, même si des gains marginaux sont possibles

Le levier consiste à envisager un raccordement direct au réseau de transport, dans le cas d'un dimensionnement à la cible.

Compte tenu des puissances à raccorder pour certaines aires d'autoroutes et l'éloignement au poste source le plus proche, il peut être légitime de s'interroger sur la pertinence de raccorder certaines aires directement sur le réseau de transport.

L'analyse a montré que cette solution peut ponctuellement présenter un intérêt (hors coûts supplémentaires pour les opérateurs des bornes) mais ne constitue pas une configuration de référence, à cet horizon et compte tenu des puissances à raccorder considérées. L'intérêt économique n'est pas avéré à cet horizon. Cependant cette question risque de se poser sur des horizons plus lointain et/ou en intégrant les besoins pour la mobilité lourde.

16 L'hypothèse retenue dans le cas de raccordements séquencés (scénario de référence), consiste à considérer que le raccordement s'effectue en plusieurs séquences successives :

- En trois temps au maximum si la puissance 2035 demandée P est supérieure à 10 MW = 3 demandes de P/3 en MW
- En deux temps au maximum si la puissance 2035 demandée P est comprise entre 5 et 10 MW = 2 demandes de P/2 en MW
- En un seul temps si la puissance cible 2035 est inférieure à 5 MW.

5 | Annexes

5.1 | Scénarios

Catégorie	Paramètre	Scénario de référence	Scénario haut
Développement de l'électromobilité	Nombre de véhicules électriques 2035	15,6 millions	15,6 millions
	Part de VHR dans le parc de véhicules électriques	22 %	22 %
	Participation des véhicules électriques à la longue distance (en % d'une utilisation moyenne actuelle des véhicules thermiques pour les besoins longue distance)	73 %	122 %
Caractéristiques véhicules	Capacité moyenne des batteries	73 kWh	89 kWh
	Consommation moyenne des VE sur autoroute pour 100 km	22,7 kWh	23,9 kWh
Réseau électrique	Dimensionnement des stations de recharge sur autoroute	30 ^e trafic horaire annuel	Trafic horaire maximal annuel
Trafic autoroutier	Variabilité de trafic	basse	haute

Note:

- La puissance maximale de recharge dépend cependant de la taille des batteries des véhicules ($P_{max} = 2 \times \text{capacité} / 1h$, par exemple pour 73 kWh la P_{max} sera 146 kW). La plupart des véhicules se rechargeront à une puissance proche de 130 kW.

5.2 | Évaluation des coûts d'extension et de renforcement des réseaux électriques

5.2.1 | Adaptations du réseau de distribution

Le raccordement d'une installation de soutirage en HTA est régi par des principes et règles techniques qui sont décrits succinctement dans l'encadré ci-dessous.

Condition	Adaptation réseau
Le raccordement au poste le plus proche est possible en respectant le critère du « 100/d » ¹⁷ (cette limite prend en compte implicitement les éventuels problèmes de tension basse)	<ul style="list-style-type: none"> • Création d'une ou plusieurs liaisons de distribution HTA entre l'aire de service et le poste source le plus proche. Le nombre de liaisons sera choisi afin de ne pas induire la création de contraintes d'intensité au niveau des départs ou au niveau des matériels alimentant les départs en sortie des postes sources. • Si nécessaire : adaptation de la capacité globale de transformation du poste source via la mutation du transformateur (augmentation de sa capacité), ou l'ajout de transformateur • Si nécessaire : renforcement sur le réseau de transport <i>cf. chapitre 4.1</i>
Le raccordement au poste le plus proche n'est pas possible en respectant la limite 100/d	<ul style="list-style-type: none"> • Création d'un poste source HTB/HTA (RTE + Enedis) • Alternative : raccordement dans le domaine HTB (<i>cf. extension du réseau de transport cf. chapitre 4.1</i>) • Si nécessaire : renforcement sur le réseau de transport

¹⁷ La puissance limite de raccordement au RPD est définie par 40 MW ou 100/d (en MW) où d est la distance en kilomètres comptée sur un parcours du réseau entre le point de livraison et le point de transformation HTB/HTA le plus proche alimentant le réseau public de distribution (Enedis-PRO-RES_50E, principes et règles techniques pour le raccordement d'une installation de consommation en HTA).

À noter que ce schéma prévoit le raccordement systématique des aires de service par de nouveaux départs HTA pour couvrir les demandes à 2028 et 2035. Il en résulte que le coût estimé est systématiquement dans la fourchette haute des coûts qui seront réellement rencontrés pour deux raisons :

- Il existe souvent déjà un départ HTA existant pouvant accueillir une puissance supplémentaire sans produire de contrainte sur le réseau ; la capacité d'accueil sur ces départs demeure toutefois limitée ;
- L'opérateur demandeur du raccordement adoptera probablement une approche par augmentations successives de puissance souscrite, jusqu'à occasionner éventuellement une contrainte sur le

réseau. À ce moment, l'opérateur arbitrera entre la création d'un départ direct permettant d'éviter l'apparition d'une contrainte, et la mise en œuvre d'une solution alternative moins coûteuse, non étudiée ici.

Ce choix s'explique par souci de simplification et dans une perspective de long terme car les investissements doivent anticiper la croissance future. Avec donc pour conséquence une estimation haute en termes d'investissement réseau, et de coût pour le demandeur.

ILLUSTRATION : création de deux départs et mutation de transformateur pour une aire de service sur l'A8

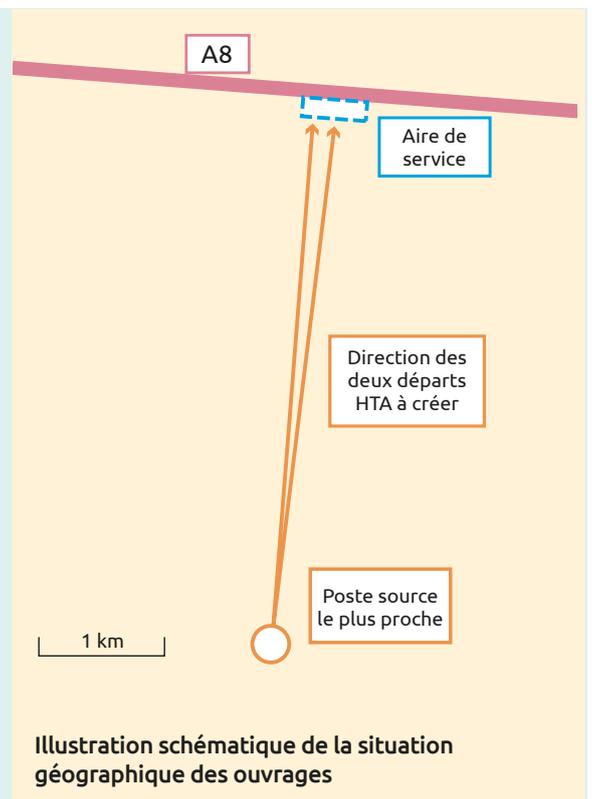
Il est supposé ici que la puissance globale de raccordement à horizon 2035 sera d'environ 15 MW et qu'elle sera portée par trois demandes de raccordement de puissance égale sur la période 2020-2035.

Le poste source le plus proche est situé à moins de 5 km.

Le premier palier de puissance respecte le critère de 100/d donc une liaison HTA directe est créée. Dès la seconde demande, il est nécessaire de créer un second départ pour éviter des contraintes d'intensité au niveau du départ. Ces deux premières liaisons permettront ensuite d'accueillir la troisième demande de raccordement en respectant les contraintes de tension et d'intensité.

L'analyse du poste source fait apparaître une contrainte en puissance qui ne peut être résolue pas des opérations de rééquilibrage de charge. Une mutation de transformateur est donc réalisée.

Le coût total de raccordement (hors renforcements HTB) pour cette aire est compris entre 1000 et 1500 k€ qui se répartit entre les coûts des liaisons HTA et le coût de renforcement du poste source.





5.2.2 | Adaptations du réseau de transport

5.2.2.1. Renforcement du réseau amont

La recharge occasionne des flux supplémentaires y compris sur les niveaux de tension supérieurs, quelle que soit la solution de raccordement retenue. La méthodologie employée consiste à capter l'impact isolé de la recharge sur autoroutes dans le volume de congestions d'ici 2035, en comparant les résultats de flux simulés sur le réseau de transport sans puis avec ajout de la consommation liée à la recharge sur aires d'autoroutes.

La méthode utilisée simule heure par heure les situations de flux, ce qui permet de déterminer le nombre d'heures dans l'année pour lesquelles ces flux dépassent les capacités des ouvrages et les actions à déclencher pour soulager ces contraintes. Celles-ci peuvent être légères et sans coût (ou alors à faible coût), mais lorsque les dépassements sont trop importants, ces actions peuvent ne pas être suffisantes ce qui incite à déclencher un investissement pour renforcer l'ouvrage, et ainsi permettre d'accueillir le flux supplémentaire qui occasionnait la contrainte. C'est ce principe d'arbitrage économique qui a été appliqué pour déterminer le nombre de

renforcements d'ouvrages supplémentaires que les flux induits par la recharge sur le réseau en amont rendent nécessaires.

5.2.2.2. Extension éventuelle du réseau de transport

Les niveaux de puissance estimés à 2035 pourraient atteindre théoriquement dans certaines conditions des valeurs significatives pour certaines aires qui peuvent également se trouver « éloignées » de postes sources existants. Dès lors, une extension du réseau de transport pourrait être nécessaire. Dans ce cas, quatre solutions sont envisagées dans l'étude :

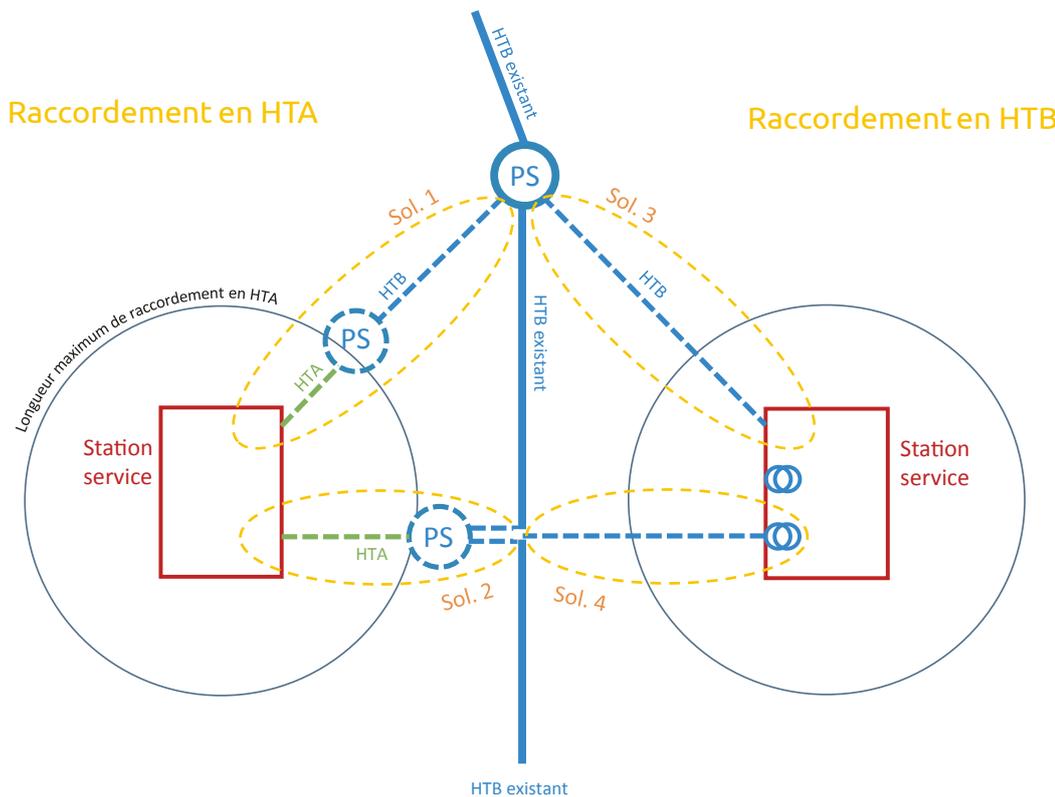
- Solution « création de poste source » : création d'un nouveau poste source et raccordement au réseau de distribution. Cette solution constitue la stratégie de raccordement de référence. Elle se décline via deux modalités de raccordement de ce nouveau poste source au réseau de transport :
 - **Solution 1** : Raccordement du poste source à partir d'un poste existant ;
 - **Solution 2** : Raccordement en coupure du poste source à partir d'une liaison HTB1.

- Solution « raccordement transport » : à titre dérogatoire dans les situations pour lesquelles la puissance n'excède pas 40 MW, il est possible de raccorder directement la station-service au réseau de transport sans créer de poste source.
- **Solution 3** : Raccordement à un poste RTE existant via une liaison HTB.
- **Solution 4** : « Raccordement transport en piquage » : raccordement au réseau de transport par une liaison en piquage. La solution de raccordement en piquage n'est possible qu'à certaines conditions : le nombre de piquage est limité par ligne, le piquage ne dégrade pas la qualité de l'électricité localement...

Une extension du réseau de transport est nécessaire si le raccordement de l'aire au poste le plus proche ne respecte pas le critère 100/d. Quatre solutions sont étudiées.

Les deux premières solutions correspondent aux modalités de raccordement de référence. Les deux suivantes peuvent être envisagées à titre dérogatoire si l'utilité du nouveau poste source n'est pas démontrée et si ces solutions sont moins coûteuses.

FIGURE 13 : Solutions de raccordement des stations-service lorsque l'extension du réseau de transport est nécessaire
(Note : en pointillé, ouvrages à créer)



Une extension du réseau de transport est nécessaire si le raccordement de l'aire au poste le plus proche ne respecte pas le critère 100/d. Quatre solutions sont étudiées.

Retrouvez-nous sur Internet



enedis.fr



[enedis.officiel](https://www.facebook.com/enedis.officiel)



[@enedis](https://twitter.com/enedis)



[enedis.officiel](https://www.youtube.com/enedis.officiel)