

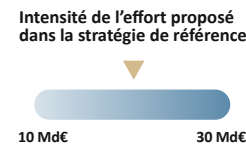


FICHE 3

Renouvellement et adaptation au changement climatique



Maintenir la qualité de service en renouvelant le réseau construit après la Seconde Guerre mondiale et en adaptant les équipements aux fortes chaleurs et aux inondations



SITUATION ACTUELLE



Le réseau électrique actuel a été construit dans sa grande majorité au cours de la deuxième moitié du 20^e siècle. 20% des lignes aériennes ont aujourd'hui plus de 70 ans : 13 000 km de câbles et 65 000 pylônes ont entre 70 et 105 ans.



Cette situation est moins marquée dans les autres pays d'Europe, où le réseau est en général renouvelé plus tôt. Par exemple, la limite d'âge considérée par RTE pour les câbles est de 85 ans, ce qui le place dans la fourchette haute parmi les gestionnaires de réseau européens. En Europe, la moyenne se situe autour de 60 à 65 ans (seul un autre GRT dépasse les 80 ans).



Cette situation est liée à un choix d'optimisation réalisé par RTE : la maintenance et

l'entretien du réseau ont été prolongés pour limiter les investissements sur la période 2000-2020.



Le réseau existant est nécessairement soumis aux aléas climatiques. Ces derniers posent des questions de différente nature : dimensionnement « mécanique » des ouvrages (hauteur, résistance mécanique, etc.), modes d'exploitation, maintenance préventive et maintenance en cas d'avarie sur le matériel.

Le changement climatique accentue l'exposition aux risques du réseau existant. En effet, les phénomènes climatiques seront plus fréquents (d'ici 2050, le nombre de jours de vagues de chaleur pourrait doubler en France métropolitaine), plus intenses (inondations plus violentes), et susceptibles de se

produire sur des périodes plus longues (vagues de chaleur au printemps et à l'automne).



Le réseau de transport d'électricité est adapté aux grandes tempêtes : suite aux tempêtes de 1999, RTE a mis en place un important programme de renouvellement du réseau. Ce programme a duré 15 ans et a coûté 2,7 Md€. Il a notamment permis de sécuriser le réseau 400 kV grâce à l'installation de pylônes anti-cascade. Depuis 2017, le réseau de transport d'électricité est adapté à des vents de 180 km/h sur le littoral (à 150 km/h dans les terres) et a ainsi pu résister aux tempêtes Ciaran, Domingos, Darragh, Bert, etc.



Jusqu'à présent, les épisodes de canicules et d'inondations ont été gérés en adaptant les méthodes d'exploitation et de maintenance (canicule de 2003, inondations de 2010 ou de début 2024, crue de la Seine de 2016).

Néanmoins, le contexte du changement climatique ne permet plus de se limiter à des adaptations de l'exploitation et de la maintenance. À l'image de ce qui a été réalisé pour les tempêtes, il est impératif d'adapter le dimensionnement des infrastructures du réseau aérien aux risques climatiques et d'éviter une « cascade » d'avarie sur les matériels en cas de phénomènes climatiques intenses.



ENJEUX POUR LE RÉSEAU



Pour le SDDR 2025, les enjeux sont les suivants : (i) définir un programme de renouvellement qui répond à la fois au besoin de renouvellement du réseau et à celui d'adaptation au changement climatique et (ii) le mettre en œuvre dans des conditions de maîtrise industrielle.

Pour cela, RTE peut capitaliser sur le retour d'expérience du dernier SDDR, qui donnait la priorité au renouvellement du réseau existant (en particulier pour le traitement de la corrosion dans les zones littorales et fortement urbanisées).

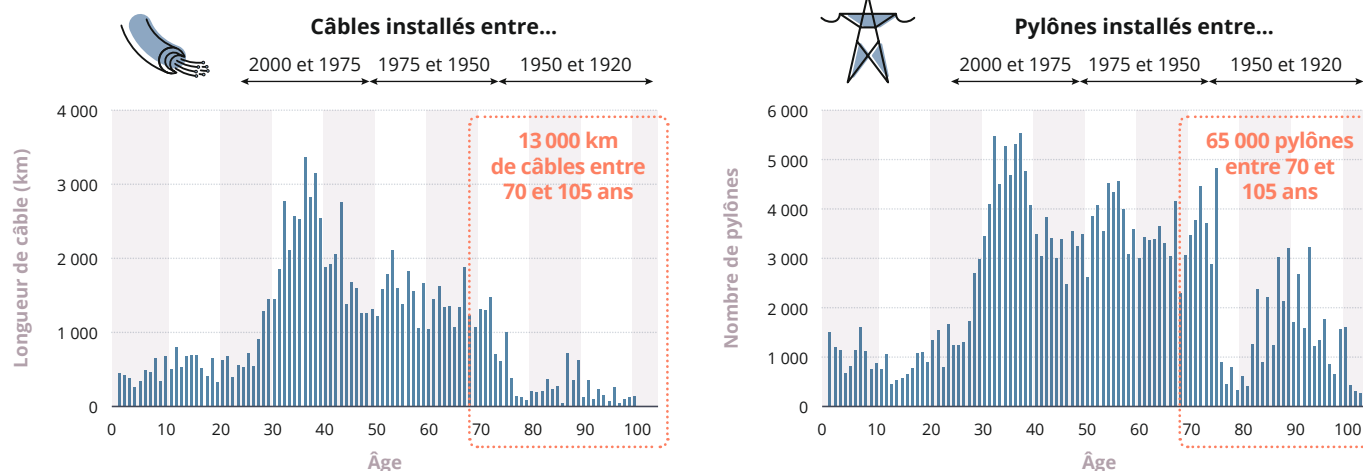
le renouvellement du réseau sont passés d'environ 450 à 860 M€ de dépenses entre 2021 et 2024.

Sur le plan industriel, cette accélération a montré l'importance du programme de renouvellement pour les fournisseurs de matériels et les entreprises d'ingénierie : il s'agit du programme le « plus prévisible » parmi les programmes industriels de RTE.

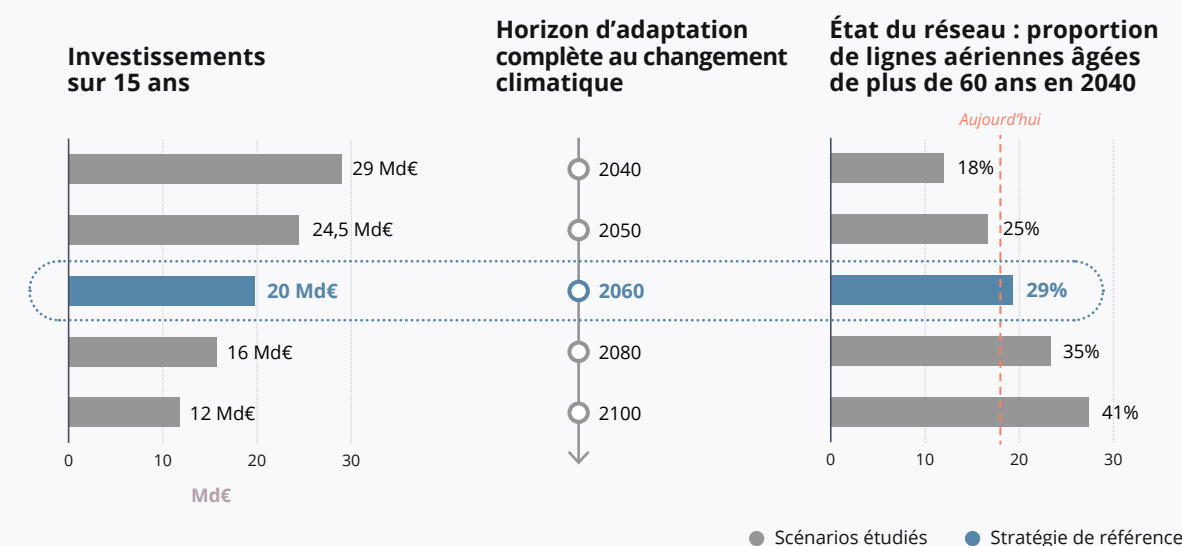


Le renouvellement permet également d'homogénéiser les pratiques dans le domaine de l'ingénierie (standardisation, volume d'études, etc.).

Cette industrialisation bénéficie ensuite aux autres programmes industriels de l'entreprise. Par exemple, la standardisation a été un des chantiers ouverts suite au dernier SDDR. Il a conduit à réduire significativement le nombre de références du catalogue de matériels : 24 à 10 références de câbles souterrains, 45 à 14 de câbles aériens et 13 000 à 1 500 pour les pylônes.



STRATÉGIE DE RÉFÉRENCE ET ALTERNATIVES POSSIBLES



Choix de la stratégie de référence

Plusieurs scénarios de renouvellement ont été étudiés allant d'un prolongement tendanciel – qui conduirait à une adaptation au changement climatique du réseau à la fin du 21^e siècle – à un scénario de franche accélération – qui permet d'achever l'adaptation en 2040 pour un coût total de 29 Md€.

RTE propose de retenir le scénario intermédiaire : ce dernier conduit à maintenir la proportion d'infrastructures vieilles et vétustes encore en service par rapport à la situation actuelle, à l'adapter au changement climatique d'ici 2060 et à éviter que le réseau existant ne soit limitant pour les raccordements. Il s'agit déjà d'une feuille de route très ambitieuse sur le plan industriel.



DESCRIPTION DE LA STRATÉGIE DE RÉFÉRENCE ET DES CHOIX D'OPTIMISATION



Terminer le renouvellement des parties les plus anciennes du réseau (construites dans les années 1920 à 1940) et engager le renouvellement des lignes aériennes construites après la Seconde Guerre mondiale

La stratégie de référence permet de ne pas augmenter la proportion d'infrastructures vieilles et vétustes encore en service par rapport à la situation actuelle. L'effort est très important : il conduit à renouveler près d'un quart du réseau aérien en 15. Cette accélération

est néanmoins nécessaire pour éviter d'augmenter le volume d'infrastructures vétustes et donc d'avoir à gérer de manière simultanée entre 2040 et 2060 une part importante du renouvellement du réseau de l'après-guerre et de celui construit entre 1975 et 1995.

En effet, en 2040, après la mise en œuvre de la stratégie de référence proposée dans le SDDR, près de 30 000 km de câbles aériens auront encore plus de 60 ans (soit autant qu'aujourd'hui) et plus de 7 000 pylônes auront encore plus de 100 ans (soit 50% de plus qu'aujourd'hui).



Centrer les besoins d'adaptation du réseau au changement climatique (fortes chaleurs, submersion et crues centennales futures), qui sont les risques principaux auxquels l'infrastructure existante sera soumise

La stratégie de référence permet d'adapter le réseau au changement climatique en 35 ans (climat +4°C en 2100).

Le programme de renouvellement est une opportunité pour assurer l'adaptation au changement climatique du réseau : il évite d'avoir à mener deux fois des opérations d'ingénierie sur une même infrastructure et réduit donc le risque de mal-adaptation des infrastructures. Ce point est d'autant plus important que le réseau aérien est constitué d'environ 100 000 km de lignes et que le coût associé à une mal-adaptation pourrait donc s'avérer significatif.

La réussite de la stratégie de référence nécessite également de continuer à adapter la maintenance du réseau et l'exploitation du système électrique pour tenir compte des perspectives sur l'âge du réseau et sur l'évolution des phénomènes climatiques. Au cours des prochaines années, les moyens associés à la maintenance du réseau seront augmentés en conséquence (+25% sur la période couverte par le prochain tarif de réseau).



Standardiser l'adaptation au changement climatique des lignes électriques (risque fortes chaleurs)

Les fortes chaleurs dilatent les câbles et entraînent donc un risque pour l'environnement immédiat des lignes (notamment la végétation). C'est ce qui a conduit au déclenchement d'incendies, par exemple en Californie.

L'adaptation des lignes constitue l'effort d'adaptation le plus significatif à plusieurs titres : plus de 30% du réseau aérien doit être adapté au changement climatique. Dans certaines régions, l'effort est particulièrement important. Par exemple, 55% du réseau en Nouvelle-Aquitaine est concerné.

Les études menées dans le cadre du SDDR ont permis de commencer à identifier parmi les lignes à renouveler celles qui sont le plus exposées aux fortes chaleurs. Pour cartographier les lignes plus précisément et commencer par le renouvellement des lignes les plus à risque, RTE a prévu de réaliser des campagnes de détection par laser (technologie LIDAR, 40 M€ d'ici 2028).

Sur le plan de l'ingénierie, l'adaptation au changement climatique des lignes se prête bien à l'industrialisation. Dans tous les cas de figure, il s'agit d'avoir recours à des pylônes plus hauts et à des câbles d'un diamètre plus important.



Maintenir l'alimentation électrique en cas de submersion et crues centennales futures

2 800 sites électriques accueillent les postes exploités ou co-exploités par RTE. Pour l'ensemble des postes de transformation exploités par RTE, 24% apparaissent inondables à horizon 2050. S'agissant plus particulièrement des postes 400 kV et des postes dont RTE est propriétaire (560 postes), ce chiffre s'élève à 18%.

En volume, le nombre de travaux d'adaptations est donc moins important que sur les lignes aériennes. Néanmoins, il n'est pas possible d'adopter une approche aussi industrialisée et systématique.

D'une part, les choix techniques dépendent du bassin fluvial ou du littoral, du positionnement de l'infrastructure, etc. Certains matériels doivent être surélevés. Dans certains cas, des matériels étanches peuvent être installés.

D'autre part, du fait de la redondance, il est possible que le réseau soit résilient au risque inondations même si certains postes demeurent inondables et peuvent donc être amenés à perdre leur alimentation électrique. Pour les tempêtes, il n'est pas nécessaire de sécuriser tous les pylônes du réseau 400 kV : il en va de même pour les postes électriques et les inondations.

En tant que responsable de l'exploitation du système électrique, RTE doit donc définir une stratégie d'ingénierie et d'exploitation qui permette d'assurer que (i) le réseau à très haute tension soit robuste aux inondations futures (c'est-à-dire qu'en cas d'inondation dans un poste 400 kV, un autre poste 400 kV puisse reprendre la charge électrique) et que (ii) l'adaptation des autres niveaux de tension soit bien coordonnée avec les distributeurs d'électricité (Enedis et entreprises locales de distribution) et les autres gestionnaires d'infrastructures (notamment transports).

La stratégie de référence permet notamment d'adapter 93% des postes (postes 400 kV et dont RTE est propriétaire). Pour les 7% restants, les solutions relèvent de l'exploitation ou de la maintenance car leur adaptation entraînerait des coûts disproportionnés.



Organiser un programme industriel dédié au renouvellement du réseau aérien

Il s'agit du programme industriel le plus important en volume du SDDR. Il représente plus de la moitié de la longueur totale d'infrastructures du réseau concernée par des travaux sur la période du SDDR (le reste concerne des travaux de renforcement du réseau et dans une moindre mesure de renouvellement des liaisons souterraines).

Ce programme concerne majoritairement les zones rurales, et notamment certaines régions françaises (Centre-Val de Loire, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie). Une attention spécifique réside dans les travaux à planifier dans la région francilienne en raison de l'architecture atypique du réseau en Île-de-France et de la densité de la métropole parisienne.

L'emplacement des lignes et des postes électriques ne sera en général pas modifié mais les équipements seront plus récents (pylônes plus hauts, câbles plus résistants aux fortes chaleurs, surélévation de certains matériels électriques dans les postes).

La réussite de ce programme industriel repose sur la standardisation des matériels et des opérations d'ingénierie. Il nécessite d'approfondir de manière très importante les mesures mises en œuvre au cours des cinq dernières années, et notamment d'assurer une plus forte synchronisation entre les travaux sur les pylônes et ceux sur les câbles aériens.

Pour tenir compte de ce fort besoin d'industrialisation, la stratégie de référence proposée par RTE est divisée en deux temps. Entre 2025 et 2030, les investissements sont globalement stables par rapport au niveau actuel, ce qui permet de consolider le travail réalisé au cours des cinq dernières années. Entre 2030 et 2040, une accélération très significative doit être réalisée. Par exemple, le renouvellement des lignes aériennes doit progressivement passer de 800 km par an (en moyenne sur 2025-2030) à 2 500 km par an en 2040 et le renouvellement des disjoncteurs doit être multiplié par 2,5.

Cette accélération ne sera effectivement lancée par RTE que si les conditions industrielles ont été remplies au cours des trois prochaines années avec les fournisseurs concernés.



INDICATEURS



100 % des nouveaux investissements décidés en application du SDDR conformes à la trajectoire de référence pour l'adaptation au changement climatique définie par l'État (+4 °C en 2100 en France)



Environ un quart du réseau terrestre aérien renouvelé ou déposé d'ici 2040 (**23 500 km** de lignes et **85 000 pylônes**, déconstruction et non remplacement de certaines lignes)



Renouvellement des postes sous enveloppe métallique (fortement émetteurs de SF₆ et soumis progressivement à une obsolescence des matériels) : **près de 50** postes renouvelés d'ici 2040 (dont 25 % d'ici 2030 sur 200 au total)



Renouvellement de **100 %** des lignes souterraines de technologies obsolètes (arrêt de la maintenance des fabricants et fin des pièces de rechange). Il s'agit des technologies à pression d'huile et à papier imprégné, qui seront entièrement remplacées respectivement d'ici 2030 et 2040



Stabilisation de l'âge moyen du réseau sur la majorité des actifs (le nombre d'infrastructures vétustes n'augmente pas).

Par exemple :

	2024	2040
Câbles du réseau aérien	46 ans	44 ans
Postes sous enveloppe métallique	23 ans	26 ans
Disjoncteurs	29 ans	27 ans



Augmentation des moyens pour assurer le bon état et accroître la connaissance et la surveillance du patrimoine et préparer l'adaptation au changement climatique : **+25 %** des moyens associés à la maintenance du réseau d'ici 2028 (par rapport à 2024)



TEMPORALITÉ

Phase 1
2025-2030



Stabilisation des investissements au niveau actuel (~900 M€/an)

Augmentation des dépenses de maintenance de 380 M€ en 2024 à 480 M€ en 2028 (dont ~20 % en lien avec l'environnement)



Consolidation du rythme avec :

- ▶ **800 km/an de lignes aériennes (moyenne)**
- ▶ **180 disjoncteurs/an (moyenne)**
- ▶ **1 à 2 PSEM/an (moyenne)**
- ▶ **100 % des liaisons souterraines à pression d'huile renouvelées**

Projets majoritairement déjà décidés

- ▶ 50 % liaisons aériennes renouvelées sont situées en Centre-Val de Loire, Nouvelle-Aquitaine et Occitanie (pour majorité dans des zones rurales)
- ▶ Traitement spécifique de l'Île-de-France avec des « têtes de série »



Préparation des phases suivantes

- ▶ Accroissement du volume d'études
- ▶ Élargissement des panels fournisseurs
- ▶ Identification des ouvrages les plus à risques via l'utilisation du LIDAR
- ▶ Standardisation des opérations et mutualisation des travaux
- ▶ Adaptation des politiques de maintenance et d'exploitation (notamment au changement climatique)

Renouvellement des liaisons aériennes construites majoritairement entre 1920 et 1960

Phase 2
2030-2040

Augmentation progressive jusqu'au doublement des investissements (passage de 1 à plus de 2 Md€/an)

Évolution des dépenses de maintenance à étudier

Augmentation progressive pour atteindre :

- ▶ **2 500 km/an de lignes aériennes en 2040**
- ▶ **450 disjoncteurs/an en 2040**
- ▶ **4 PSEM/an en 2040**
- ▶ **100 % des liaisons souterraines à papier imprégné renouvelées**

Projets non décidés



80 % du réseau résilient aux fortes chaleurs et aux inondations/submersions (climat futur)

Renouvellement des liaisons aériennes construites majoritairement entre 1940 et 1970

Phase 3
2040-2060

Stabilisation des investissements

Évolution des dépenses de maintenance à étudier

Stabilisation du rythme

Projets non décidés



100 % du réseau résilient aux fortes chaleurs et aux inondations/submersions (climat futur)

Renouvellement des liaisons aériennes construites majoritairement entre 1950 et 1975



AVANT/APRÈS : EFFET DE LA STRATEGIE PROPOSEE DANS LE SDDR POUR L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



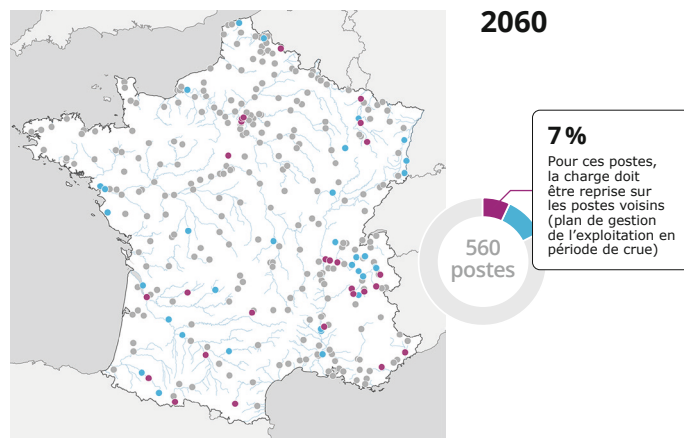
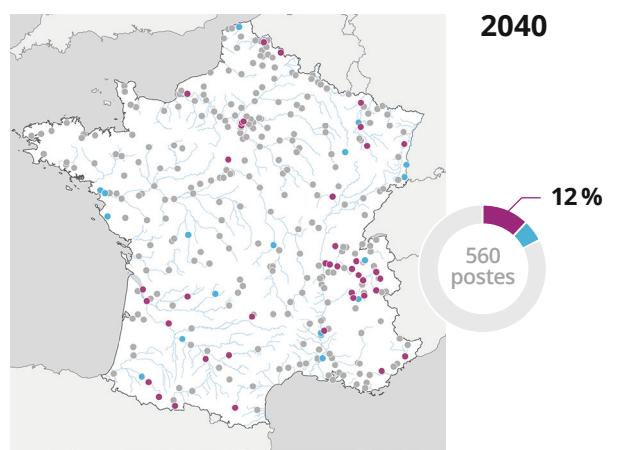
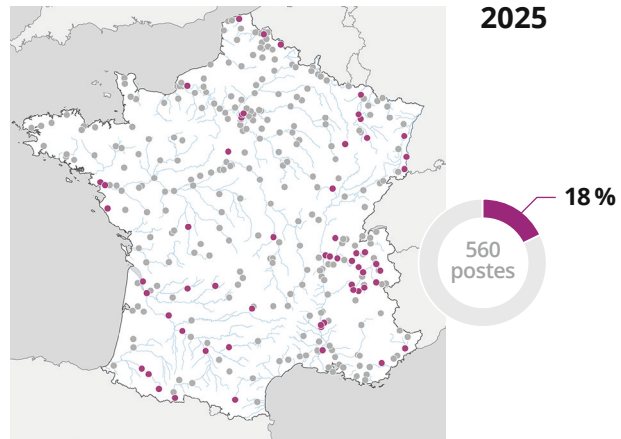
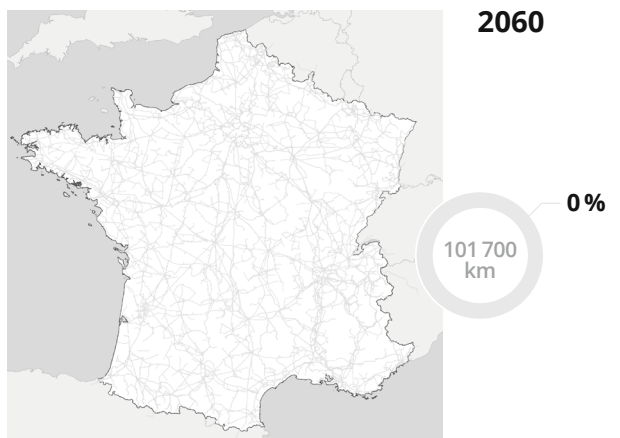
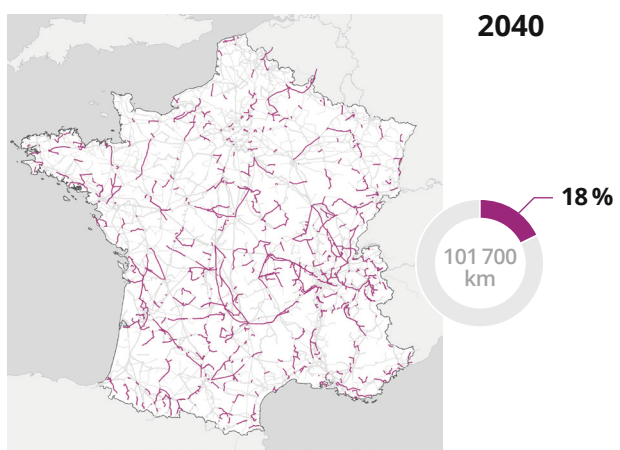
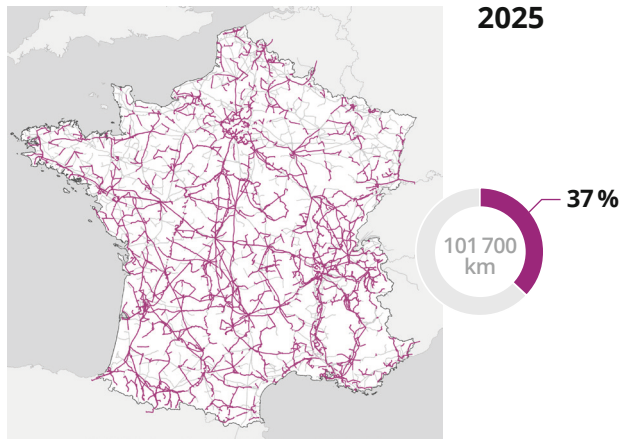
Lignes aériennes (risque chaleur)

- Exposées au risque chaleur
- Non exposées



Postes* (inondations centennales/submersion)

- Inondables avec risque sur l'alimentation électrique
- Inondables sans risque sur l'alimentation électrique
- Non inondables
- Cours d'eau



Sources : RTE, CCR - Fond de carte : IGN, Vigicrue RTE - 2024

* Postes 400 kV et postes dont RTE est propriétaire



EXEMPLE : PROJET DE RÉHABILITATION DU RÉSEAU DANS LES VALLÉES DES PYRÉNÉES

État des lieux

Le réseau des vallées pyrénéennes de la Neste, du Louron et d'Aure a été majoritairement construit au début des années 1920 pour collecter la production hydraulique des Pyrénées et l'acheminer vers le sud-ouest. Ces infrastructures font aujourd'hui partie des plus âgées du réseau français.

Objectifs

La rénovation de ce réseau est un impératif de court-terme et vise à écarter trois risques : une dégradation de la qualité de l'électricité par le réseau du fait de la vétusté des installations, une exposition croissante aux phénomènes de canicules, une incapacité à raccorder la production solaire ou à permettre la modernisation des installations hydrauliques.

Description du projet

D'ici 2030, pour renouveler et renforcer le réseau de ces vallées dans les Pyrénées, RTE mettra en service

un nouveau poste électrique à Arreau (vallée de la Neste), installera 92 km de nouvelles lignes souterraines, déposera 136 kilomètres de lignes aériennes et renouvellera 42 km de lignes aériennes existantes (en optimisant le tracé actuel : par exemple, dans la vallée du Louron, passage de deux lignes aériennes simples soit deux rangées de pylônes en une ligne aérienne double soit une seule rangée de pylônes). Cette modernisation permet ainsi de réduire le linéaire aérien du réseau dans la zone.

Les reconstructions envisagées, qu'elles soient aériennes ou souterraines tiennent compte du climat futur (câbles aériens et souterrains supportant des températures plus importantes, positionnement des postes électriques par rapport aux risques de crues).

L'ensemble de ce programme de renouvellement et de restructuration du réseau des vallées de Pyrénées s'élève à environ 200 M€ sur la période 2025-2030.

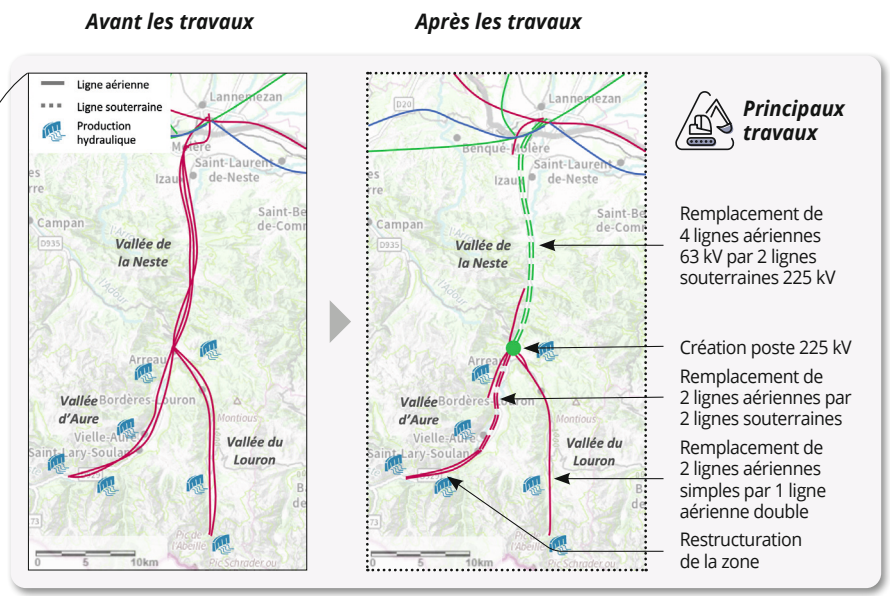
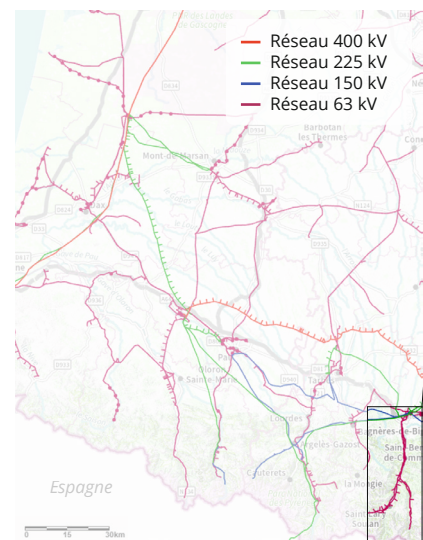


Schéma simplifié de l'évolution du réseau dans les vallées de la Neste, d'Aure et du Louron

Source : RTE, IGN



EXEMPLE : PROJET DE RENOUVELLEMENT DU RÉSEAU AÉRIEN FRANCILIEN

État des lieux

Le réseau aérien francilien a majoritairement été construit sur la période 1940-1970. Une partie des lignes a déjà dépassé 80 ans en 2025. Il est composé de plus de 2050 km de lignes aériennes 225 et 400 kV (dont 25% exposées au risque de fortes chaleurs) et de 6000 pylônes (dont un tiers est constitué d'acier noir soumis à une forte corrosion).

Son architecture est atypique en France : deux couronnes concentriques à 400 kV et 225 kV forment le maillage du réseau pour répartir l'électricité acheminée vers la région parisienne. Ces deux couronnes sont reliées entre elles par cinq principaux couloirs de lignes aériennes («pénétrantes»). Depuis la construction de ce réseau, l'urbanisation s'est fortement densifiée en Île-de-France et l'environnement des ouvrages a donc beaucoup évolué.

Objectifs

Le renouvellement de ces infrastructures répond à quatre enjeux : vétusté, corrosion, fortes chaleurs, croissance de la consommation (mobilité électrique, *data centers*, gares, etc.). Ce programme de renouvellement s'étend sur 30 ans à compter d'aujourd'hui. La première étape vise à lancer deux « têtes de série » pour capitaliser sur l'expérience acquise pour mieux préparer les travaux suivants.

Horizon 2030

RTE prévoit deux projets tête de série, soit 200 km à renouveler pour un montant prévisionnel de 250 M€ : la pénétrante au départ de Plessis-Gassot (à l'est du Val-d'Oise) et celle au départ de Morbras (à l'ouest de la Seine-et-Marne). Les travaux doivent commencer en 2026 et s'achever d'ici 2030. Les projets seront aériens et s'inséreront dans les couloirs existants.

Le principal enjeu pour ces têtes de série est d'identifier les modes opératoires les plus pertinents et de sécuriser les coûts et les cadences des travaux pour des opérations d'ingénierie non-standards : les interventions en Île-de-France sont particulières du fait des multiples franchissements difficiles (Seine, autoroutes, voies SNCF) et de la densité urbaine (interventions plus complexes sur les lignes).

Horizon 2055

RTE modernisera et adaptera au changement climatique tous les couloirs aériens avec environ 1000 km de lignes et 2000 pylônes à remplacer. Le montant prévisionnel du programme devra tenir compte du retour d'expérience sur les têtes de série. À date, il est chiffré à 2 Md€ (en aérien).

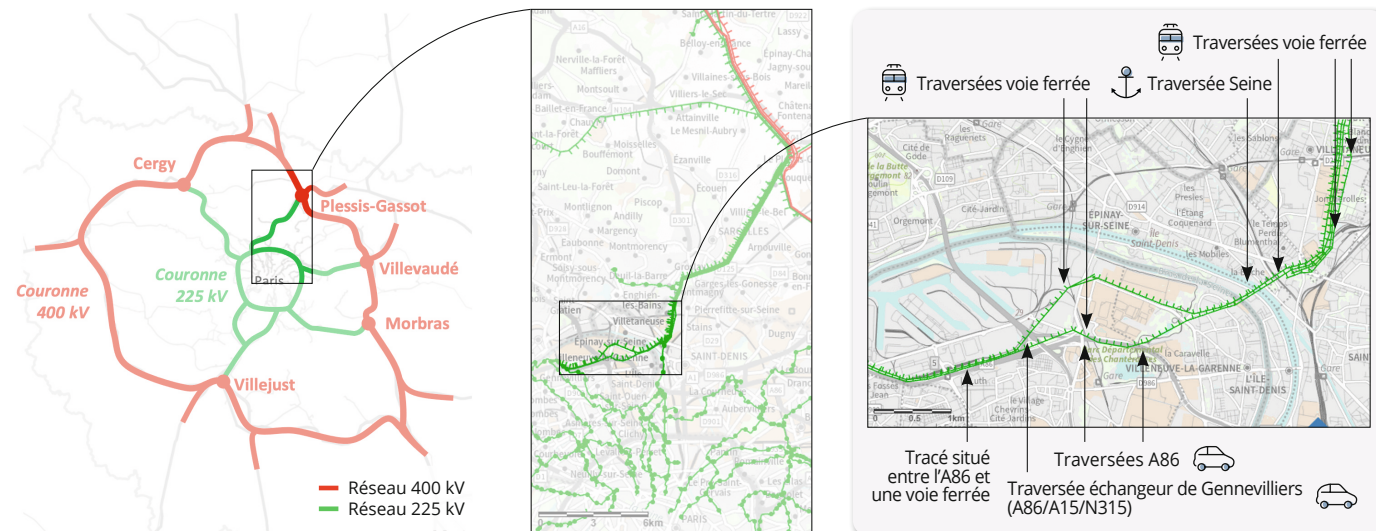


Schéma simplifié des deux couronnes concentriques autour de Paris et des 5 principaux couloirs qui les relient

Zoom sur le couloir au départ de Plessis-Gassot (Val-d'Oise)

Zoom sur les 8 derniers kilomètres du couloir au départ de Plessis-Gassot (Val-d'Oise)

Source : RTE, IGN