FICHE 14

Empreinte environnementale du réseau

Intégrer dans la stratégie de référence des leviers d'évitement et de réduction de l'empreinte environnementale du réseau

SITUATION ACTUELLE

Développer le réseau de transport d'électricité est indispensable pour accroître la part de l'électricité dans la consommation énergétique nationale en substitution aux énergies fossiles. Il s'agit d'une opération qui présente un bilan très positif sur le plan climatique, le « coût carbone » de la construction du réseau étant très largement inférieur aux bénéfices que retire la collectivité d'un recul des énergies fossiles. Le SDDR articule une stratégie qui répond à l'ambition de décarbonation de l'économie et conduit donc à faire croître le réseau.

À ce titre la stratégie se doit d'intégrer des leviers d'évitement et de réduction à la maille du plan-programme pour minimiser l'empreinte environnementale du réseau. Actuellement, le réseau est visible sur 15% du territoire. Son emprise est d'environ 335000 ha (soit 0,6% du territoire traversé). Moins de 1% des zones protégées et/ou inventoriées sont traversées par le réseau de transport d'électricité, et celui-ci permet par ailleurs de nombreux co-usages dans 99% des cas. 4100 ha correspondent à des sols artificialisés (principalement pour les postes électriques). Les lignes sous-marines représentent une proportion très faible des pertes ou changements d'habitats du milieu marin (moins de 0,05%).

Au cours des dix dernières années, la longueur du réseau aérien a diminué (-1400 km), grâce à la mise en souterrain (~30%) ou au démontage de certaines lignes aériennes (~70%).

Les infrastructures existantes font l'objet de travaux d'entretien dont l'impact environnemental se réduit progressivement (p. ex. : réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires pour l'entretien des postes existants mise en œuvre suite au dernier SDDR).

Les nouvelles infrastructures seront développées en concertation avec les parties prenantes pour éviter et réduire les pressions sur la biodiversité et les activités humaines. Les projets devront respecter la stratégie retenue dans le SDDR suite à la phase d'avis et de participation du public. Les tracés précis et les mesures territoriales et environnementales seront définis au cas par cas, comme c'est le cas actuellement (p. ex. : la restauration ou la création de prairies, de zones humides ou d'habitats à chauves-souris, la préservation d'îlots forestiers, *etc.*).

La consommation de ressources liées aux infrastructures du réseau public de transport d'électricité correspond actuellement à environ 1,5% de la consommation française de cuivre, moins de 0,5% pour l'aluminium et 0,1% pour les aciers et le béton.

L'empreinte carbone du réseau est aujourd'hui inférieure à 1 $MtCO_2eq$/an, soit moins de 0,2% de l'empreinte carbone de la France.

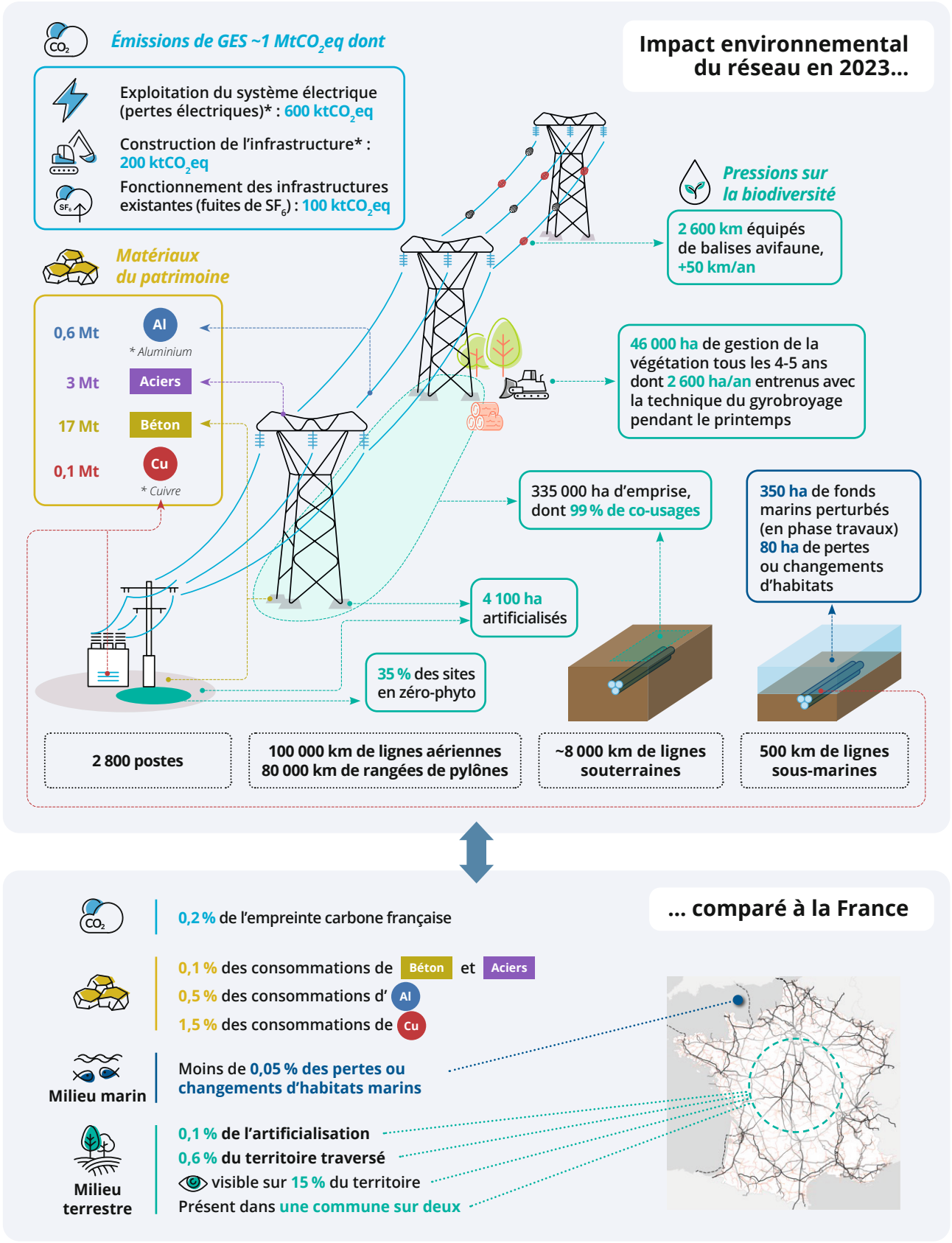


Figure 14.1 – Impact du réseau actuel sur l'environnement (et comparaison au reste de la France) – chiffres 2023

* Pour les pertes électriques et la construction des infrastructures, une moyenne a été réalisée sur la période 2018-2023 car les émissions peuvent fortement varier d'une année sur l'autre.

FICHE 14

ENJEUX POUR LE RÉSEAU

La mise en œuvre du SDDR augmentera l'empreinte environnementale et territoriale du réseau par rapport à la situation actuelle. Dans le SDDR, RTE a mené à bien un important programme de simulations visant à maîtriser cette évolution.

Il s'agissait d'identifier au niveau du plan-programme des leviers d'évitement et de réduction stratégiques pour (1) proposer une stratégie de développement du réseau qui tienne compte des enjeux techniques, économiques et environnementaux et (2) faire évoluer la politique environnementale de l'entreprise (notamment à l'égard des fournisseurs d'équipements).

Pour cela, à l'image de ce qui a été effectué dans les *Futurs énergétiques 2050,* RTE a mené un programme d'études conjoint entre les simulations de réseau et les simulations environnementales. Ces simulations ont porté sur les pressions sur la biodiversité, l'impact visuel, les besoins en ressources minérales et l'empreinte carbone du réseau. Conformément à la réglementation, ces analyses seront complétées par des analyses sur les impacts sur le milieu humain ou les risques industriels et technologiques dans le rapport environnemental.

Au niveau de chaque projet, la séquence éviter-réduire-compenser et suivre sera mise en œuvre selon des principes qui seront décrits dans le rapport environnemental du SDDR.

DESCRIPTION DE LA STRATÉGIE DE RÉFÉRENCE ET DES CHOIX D'OPTIMISATION – VOLET BIODIVERSITÉ ET IMPACT VISUEL

Identifier d'emblée des leviers d'évitement et de réduction des pressions sur la biodiversité et les activités humaines

Tous niveaux de tension confondus, la stratégie de référence du SDDR conduit au renforcement ou à la construction d'environ 16000 km de lignes d'ici 2040. Parmi ce volume, 2500 km correspondent notamment à de nouvelles lignes en mer HVDC, 1000 km à de nouvelles lignes en mer en courant alternatif, 7500 km à des nouvelles lignes souterraines terrestres, et 3500 km à des nouvelles lignes aériennes (le reste concernant des renforcements du réseau existant).

Par rapport à une trajectoire non priorisée, la stratégie de priorisation des investissements et d'optimisation du réseau existant permet d'éviter la construction d'un volume important de lignes électriques :-30% de nouvelles lignes aériennes et souterraines.

Maîtriser l'emprise territoriale des renforcements de la structure à très haute tension et ne pas augmenter la longueur totale des rangées de pylônes par rapport à la situation actuelle

La stratégie décrite dans les fiches n°10 et 13 repose sur le renforcement du réseau aérien existant pour adapter la structure du réseau aux flux engendrés par la croissance du parc de production et de la consommation d'électricité.

La stratégie nécessite de changer des câbles sur des lignes existantes et de réhabiliter certaines lignes. Les nouvelles lignes doivent être construites en priorité dans les couloirs existants. Pour les nouvelles lignes, les pylônes doivent permettre d'accueillir deux lignes pour éviter de construire deux rangées de pylônes.

Cette stratégie évite des impacts environnementaux par rapport à l'enfouissement des lignes à très haute tension en courant continu. En effet, l'utilisation de cette technologie nécessiterait l'artificialisation de 250 à 400 hectares pour les stations de conversion courant alternatif – courant continu et près de 4000 à 6000 hectares de tranchées à creuser pour les travaux de création de lignes souterraines HVDC.

La stratégie définie dans le SDDR permet par ailleurs de ne pas augmenter la longueur totale des rangées de pylônes par rapport à 2025 (tous niveaux de tension

confondus – environ 80000 km de rangées de pylônes en France) et de limiter les cas de création de « nouveaux » couloirs de lignes aux rares zones du réseau où le maillage du réseau actuel est insuffisant et où la couverture des besoins en électricité nécessitent la construction d'infrastructures permettant le transit de très forte puissance (*cf*. fiches n°10 et 12).

Enfin, la stratégie conduit à limiter le passage des nouveaux projets dans des zones protégées et/ou inventoriées. La part du réseau qui traverse des zones protégées et/ou inventoriées devrait rester de l'ordre de 1%.

Limiter l'artificialisation des sols liée à la construction de nouveaux postes électriques

Dans la stratégie de référence, environ 400 postes électriques doivent être construits. La stratégie prévoit que les nouveaux postes électriques soient construits sur des surfaces déjà artificialisées dès que cela est possible et que les postes électriques (nouveaux et existants) soient végétalisés. La part du réseau dans l'artificialisation des sols doit ainsi rester très faible (de l'ordre de 0,2%) même si l'emprise totale associée aux postes augmente (jusqu'à 30%).

Le choix d'une stratégie souterraine en courant continu pour le réseau à très haute tension conduirait à augmenter cet impact, pour permettre l'installation des stations de conversion (de l'ordre de +10%).

Maintenir une emprise limitée du réseau sur les fonds marins et marginale par rapport aux autres activités

En proportion, la part des zones marines protégées et/ou inventoriées traversées par les lignes sous-marines devrait rester stable par rapport à la situation actuelle. Concrètement, l'emprise du réseau sur les fonds marins demeurera très réduite (de l'ordre de quelques millièmes).

Poursuivre les mesures mises en œuvre suite au dernier SDDR, par exemple sur les balises avifaune et l'entretien des postes

Afin de limiter et, à terme, supprimer l'utilisation de produits phytosanitaires dans les postes, tous les nouveaux postes sont systématiquement conçus pour intégrer une gestion sans produit phytosanitaire. La gestion des postes existants évolue progressivement pour ne plus avoir recours aux produits phytosanitaires. Le rythme et les coûts de cette évolution sont cadrés par la délibération de la Commission de régulation de l'énergie sur le programme d'investissement 2022. La cible de plus long terme pour l'entretien des postes existants doit faire l'objet d'un examen par la CRE dans son avis sur le SDDR.

Pour éviter les collisions avec les lignes aériennes, la stratégie proposée dans le SDDR prévoit une augmentation de 60% du linéaire de lignes équipées de balises avifaune.

Supprimer progressivement d'ici 2029 le gyrobroyage lors du printemps pour le réseau existant et réduire la volumétrie d'entretien avec des aménagements durables de la végétation

Le gyrobroyage, consistant à broyer les végétaux en morceaux laissés sur site, est historiquement la principale technique utilisée pour entretenir la végétation dans les couloirs de lignes aériennes. Elle est utilisée sur 6300 ha par an dont 2600 ha au printemps (sur les 11000 ha entretenus chaque année).

Cette technique, également utilisée par différents gestionnaires d'infrastructures linéaires, perturbe toutefois la biodiversité, en particulier au printemps.

RTE fait de la réforme de sa politique d'entretien de la végétation une priorité des cinq prochaines années. Elle doit conduire à supprimer la pratique du gyrobroyage au printemps d'ici 2029 et impose une révision complète de la manière de travailler avec les fournisseurs (alors que ces emplois sont en forte tension). Le travail a été engagé pour accompagner cette évolution.

Poursuivre les travaux de recherche pour documenter de manière plus fine l'incidence du réseau actuel sur l'environnement et identifier les axes de progrès en matière de stratégie environnementale

Il s'agit d'une demande de l'Autorité environnementale dans son avis sur le dernier SDDR.

RTE mène actuellement un programme de recherche important visant à la fois à mieux comprendre les impacts des infrastructures de réseau, notamment sur l'environnement marin durant tout leur cycle de vie (travaux, exploitation, fin de vie) et à adapter les mesures de prévention mises en œuvre.

Par exemple, le projet Searenité, qui vise à réduire le bruit de battage des pieux en mer, monté en partenariat avec les entreprises Greenov, Chantiers de l'Atlantique, Heerema, a fait l'objet d'un soutien de l'ADEME en février 2025.

AVANT/APRÈS

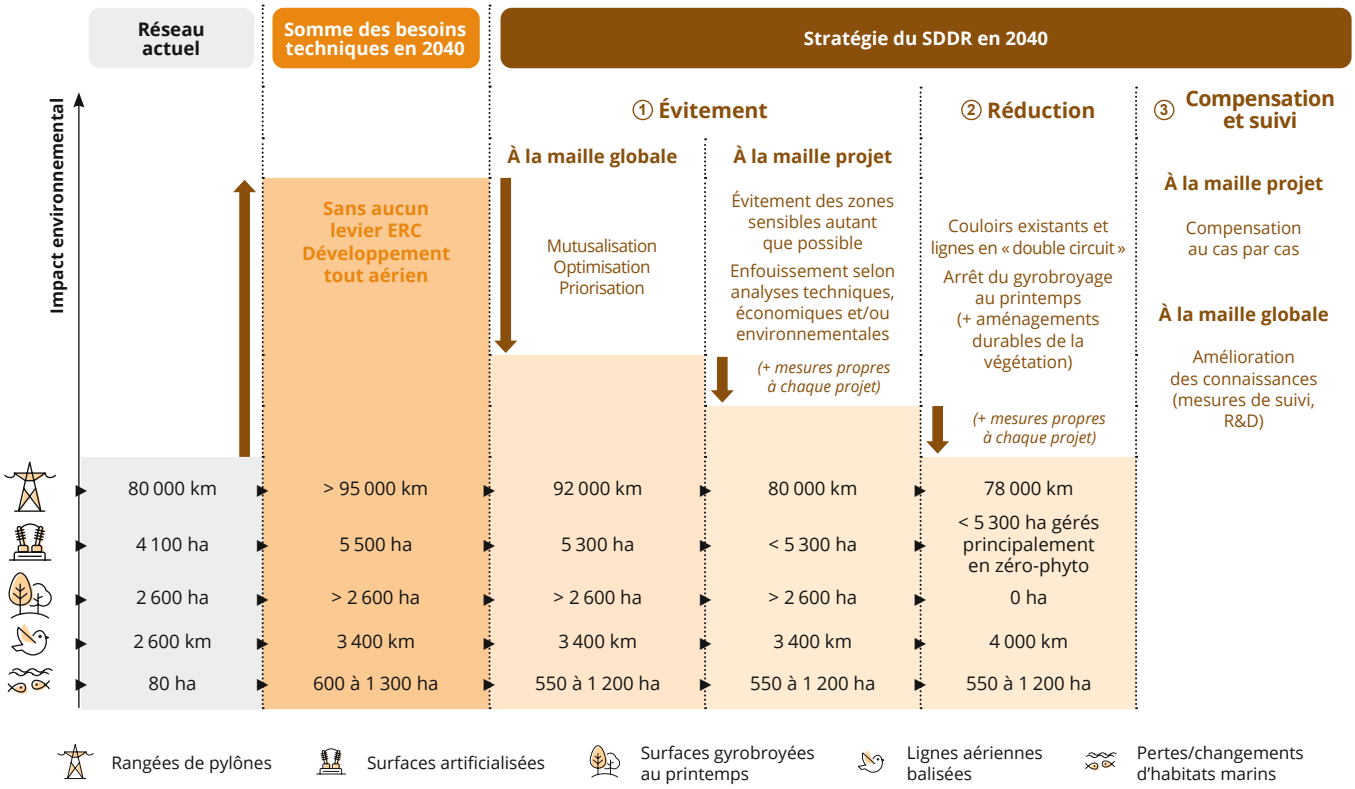


Figure 14.2 – Effets de la stratégie proposée dans le SDDR sur la biodiversité et l'impact paysager

DESCRIPTION DE LA STRATÉGIE DE RÉFÉRENCE ET DES CHOIX D'OPTIMISATION – VOLET RESSOURCES MINÉRALES ET EMPREINTE CARBONE

Proposer une stratégie qui contribue à réduire les émissions du système électrique français

La stratégie de référence du SDDR contribue à la réduction des émissions nationales et européennes.

Par exemple, dès 2030 et dans un scénario cohérent avec le projet de PPE 3 :

- Le raccordement des nouvelles unités de production permet de baisser les émissions annuelles du parc de production de 10 $MtCO_2$éq par rapport à 2019 ;
- Le raccordement des nouvelles unités de consommation permet de baisser les émissions annuelles de -50 $MtCO_2$éq par rapport à 2019 ;
- Le renforcement du réseau à très haute tension permet d'éviter une hausse des émissions du système électrique européen par rapport à une situation sans renforcement du réseau (3,7 $MtCO_2$éq).

Les exports de production bas-carbone française permis par les interconnexions avec le reste de l'Europe contribuent par ailleurs à réduire les émissions

annuelles du système électrique européen (de l'ordre de 20 $MtCO_2$éq en 2024).

Les émissions associées à la construction des infrastructures de réseau prévues dans le SDDR ne sont pas du tout du même ordre de grandeur (de l'ordre de 500 $ktCO_2$éq en 2030 pour des infrastructures qui fonctionneront 40 à 90 ans).

Maîtriser les besoins en ressources minérales et l'empreinte carbone du réseau public de transport d'électricité

La mise en œuvre de la stratégie proposée dans le SDDR entraîne une hausse de la consommation de ressources minérales (3 à 5 fois plus élevée qu'aujourd'hui en fonction des ressources considérées).

D'ici l'horizon 2040, l'empreinte carbone du réseau pourrait doubler par rapport à la situation actuelle. Cette hausse est principalement due aux phases d'extraction des ressources minérales et de fabrication des équipements (80 % de la hausse).

Par rapport à une trajectoire correspondant à la somme des besoins techniques, la stratégie de priorisation des investissements et d'optimisation du réseau existant permet de réduire de 30% les émissions de gaz à effet de serre liées au réseau (incluant pertes électriques, fuites de SF_6, construction des infrastructures de réseau), et de 40% les consommations d'aluminium.

Réduire encore davantage les fuites de SF_6 (gaz à haut pouvoir de réchauffement climatique, utilisé en petites quantités comme isolant dans les postes « compacts » sous enveloppe métallique) grâce à des actions de maintenance du réseau (colmatage des fuites) et au renouvellement progressif des postes historiquement construits avec des technologies polluantes

Depuis le dernier SDDR, RTE a accentué ses efforts de limitation des rejets SF_6 et a atteint de très bons résultats grâce à ses actions de maintenance pour colmater les fuites sur les postes existants. Ainsi, les émissions liées aux rejets de SF_6 sont en baisse et ont atteint 3,8 tonnes de SF_6 en 2022 (contre environ 6 tonnes en 2018).

Dans le même temps, RTE a lancé un grand programme de remplacement des postes électriques les plus concernés par les fuites de SF_6 (« plan PSEM ») défini dans le dernier SDDR. Ce plan, désormais mieux articulé autour de têtes de série par niveaux de tension, doit produire des résultats à moyen terme en complément des actions de colmatage à court terme.

Enfin, RTE étudie des solutions qui permettent de ne plus utiliser le SF_6 dans les nouveaux postes et se conformer à la réglementation en la matière.

Ces différentes actions conduisent à projeter une baisse des émissions liées à ce gaz de l'ordre de 55% d'ici à 2040.

Augmenter les exigences environnementales dans les achats de matériels de RTE

Pour être significatifs, les leviers de réduction de l'empreinte carbone nécessitent une forte mobilisation de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement aux côtés de RTE.

RTE a déjà fait évoluer sa politique d'approvisionnement. Désormais, le poids des critères environnementaux est de minimum 10% dans les achats (auparavant ils étaient en moyenne compris entre 2 et 5%). L'objectif de cette réforme est de favoriser l'utilisation de matériaux « bas-carbone » (béton, aluminium, acier, *etc.*). Une attention particulière sera portée à la tenue des engagements pris par les fournisseurs avec la mise en œuvre des contrôles appropriés.

Cette évolution des critères de « mieux-disance » constitue une première étape pour engager résolument une transformation de la filière corollaire de la visibilité et des engagements à long-terme proposés par RTE dans le cadre de la mise en œuvre du SDDR (*cf.* fiche n°2).

Passer d'une logique d'expérimentation au passage à l'échelle pour l'utilisation de matériaux recyclés dans les différents matériels utilisés pour le réseau électrique

Les études technico-économiques ont permis de chiffrer les gains associés à l'utilisation d'aluminium, d'aciers et de cuivre recyclés.

Par exemple, en portant le taux d'aluminium recyclé dans les câbles à 30%, il serait possible de réduire de 15 à 25% les besoins d'aluminium primaire dans la trajectoire priorisée. Néanmoins, sur le plan technique, ce niveau de recyclage constitue un défi pour la filière car l'aluminium requis est d'une haute pureté métallurgique.

Sur le cuivre, les opportunités offertes par le démontage et le renouvellement des matériels peuvent contribuer à la construction d'une filière française sur l'économie circulaire du cuivre. Néanmoins, le recyclage de ces déchets en boucle fermée ne permettra pas de réduire drastiquement les futurs besoins en cuivre primaire.

RTE mène actuellement six expérimentations en matière d'économie circulaire portant sur différentes ressources minérales (aluminium et cuivre, notamment). Ces expérimentations sont menées en boucle ouverte ou en boucle fermée (recyclage des matériaux provenant du réseau actuel pour les réutiliser dans les projets de renouvellement ou de nouvelles infrastructures).

L'objectif est de poursuivre ces expérimentations et de préparer le passage à l'échelle avec les fournisseurs. Il s'agit d'un des chantiers prioritaires dans la mise en œuvre du SDDR.

Approfondir les possibilités de substitution du cuivre par de l'aluminium dans les nouveaux câbles sous-marins de très forte puissance (portant la hausse du besoin de cuivre)

Une telle évolution serait performante sur le plan économique et environnemental mais n'est pas possible sur les très fortes puissances (320 kV et 525 kV) car elle relève encore de la R&D. Pour la période 2035-2040, il est néanmoins possible d'envisager une telle évolution.

RTE considère que le programme éolien en mer est un levier pour accélérer ces travaux de recherche et l'utilisera comme tel dans ses échanges avec les fournisseurs (*cf.* fiche n°6).

AVANT/APRÈS

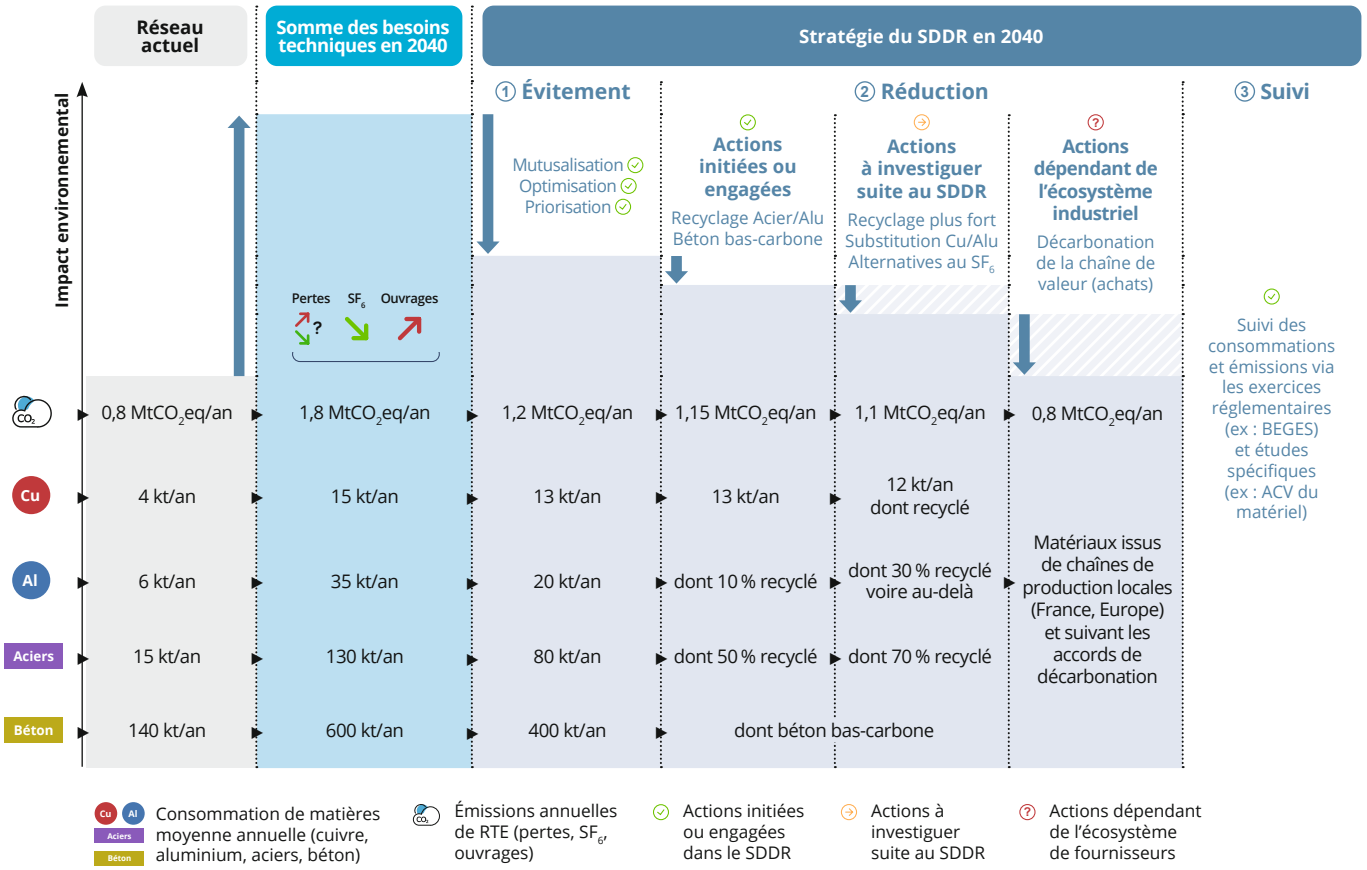


Figure 14.3 – Effets de la stratégie proposée dans le SDDR sur les ressources minérales et l'empreinte carbone du réseau

INDICATEURS

30 %
Le volume de lignes terrestres évitées d'ici 2040 dans le SDDR (par rapport à une stratégie non priorisée et non mutualisée)

Une évolution relative stable des rangées de pylônes aériens

0 gyrobroyage au printemps en 2029 (contre 2 600 ha aujourd'hui)

+ 60 % du linéaire de lignes équipées de **balises avifaune** par rapport à aujourd'hui

- 55 % des émissions de SF_6 d'ici 2040 par rapport à aujourd'hui grâce à la politique de renouvellement et de maintenance des postes électriques

10 % minimum pour les critères environnementaux dans les marchés de RTE (contre 2 à 5 % aujourd'hui)

Jusqu'à 30 % d'aluminium recyclé dans les nouveaux câbles (faisabilité technique confirmée sur certaines technologies, passage à l'échelle qui dépend de l'engagement des fournisseurs)

6 expérimentations en cours ou à venir sur le recyclage de l'aluminium, du cuivre et de l'acier (en boucle ouverte et/ ou fermée)

EXEMPLE : ÉVOLUTION DE LA GESTION DE LA VÉGÉTATION (VOLET BIODIVERSITÉ)

État des lieux

La gestion de la végétation aux abords des lignes est un enjeu de sécurité, pour les hommes et l'environnement (risque incendie). RTE utilise différentes techniques et intervient à différents moments dans l'année pour contrôler la pousse des végétaux à côté et en dessous des lignes, et réaliser des entretiens pour garantir une distance minimale entre les lignes et la végétation. Le gyrobroyage, consistant à broyer les végétaux en morceaux laissés sur site, est historiquement la principale technique utilisée (6300 ha sont traités par gyrobroyage sur les 11000 ha entretenus chaque année). Les coûts associés à l'entretien de la végétation ont représenté de l'ordre de 60 M€ en 2023.

Objectifs

Afin de préserver la biodiversité et *a fortiori* dans la perspective d'une croissance des investissements dans le réseau aérien, RTE fait de la réforme de sa politique d'entretien de la végétation une priorité des cinq prochaines années. L'objectif est d'arrêter les travaux de gyrobroyage au printemps sur tout le territoire (actuellement, 2600 ha par an) et tous les types de travaux de végétation dans les zones environnementales protégées au printemps.

Les nouvelles infrastructures aériennes devront par ailleurs être construites pour permettre dès le départ un entretien sans gyrobroyage.

Description

Il s'agit d'une ambition exigeante, qui implique une conduite du changement avec les acteurs de la filière alors que les emplois sont en tension dans ce domaine et que la réalisation des travaux en période hivernale est difficile. Elle nécessite des évolutions dans les pratiques d'entretien voire dans les matériels utilisés.

Une refonte importante des relations entre RTE et les professions d'élagage et de bûcheronnage a été engagée au cours des deux dernières années pour préparer cette transformation.

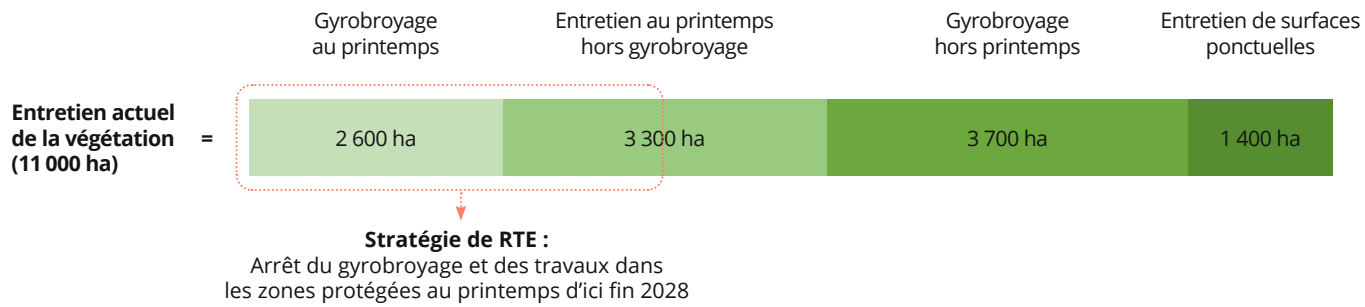


Figure. 14.4 – Méthodes actuelles d'entretien de la végétation sous les lignes électriques

La gestion de la végétation devra s'appuyer sur la mise en place d'aménagements durables de la végétation (lisières étagées, gestion par pâturage ou par fauche tardive, *etc.*), qui permettent de réduire la volumétrie d'entretien et d'intervention. Cette pratique d'aménagement s'est mise en place progressivement au cours des dernières années : RTE a ainsi constaté qu'elle soulevait plusieurs défis (montée en cadence de l'écosystème industriel, insertion locale, maîtrise des coûts). Il s'agit d'un axe d'approfondissement au cours des cinq prochaines années.

La stratégie de référence sur la gestion de la végétation conduit à augmenter les coûts d'entretien de la végétation (de 35 à 40 % en cinq ans).



EXEMPLE : ÉVOLUTION DE LA VALORISATION DE L'ALUMINIUM (VOLET RESSOURCES MINÉRALES)

État des lieux

Les impacts et les risques associés à la consommation de matières peuvent être en partie amoindris en utilisant des matières premières issues de filières de recyclage des déchets, plutôt que de matières premières primaires, issues de l'extraction de ressources minérales.

La maturité de ces filières diffère selon les matériaux et leur utilisation. En particulier, l'aluminium contenu dans les câbles et le matériel électrique de postes requiert une haute pureté métallurgique, impliquant des exigences élevées sur la qualité des matières recyclées, ce qui a jusqu'alors freiné leur introduction.

L'analyse des effets sur la consommation de matières du SDDR a été faite en prenant en compte différents niveaux d'ambition de recyclage, allant d'un taux de recyclage nul à des hypothèses plus ambitieuses mais incertaines sur les capacités d'intégration de contenu recyclé dans le nouveau matériel.

L'aluminium fait partie des matériaux pour lesquels l'utilisation de matières secondaires constitue un levier important et crédible de réduction des besoins en ressources minérales pour le réseau électrique :

- Les déchets en aluminium sortant du réseau de transport d'électricité lors du renouvellement des câbles entre 2025 et 2040 correspondent à environ un quart du besoin cumulé en aluminium sur la même période, ce qui constitue une opportunité de filière de recyclage en boucle fermée (c'est-à-dire pour les réutiliser pour le réseau public de transport d'électricité).
- Une première expérimentation a été menée par RTE avec Trimet et MTB Recycling pour étudier la faisabilité de recyclage en boucle fermée de câbles aériens en Almélec en conservant la qualité requise pour le réseau. Cela a permis de démontrer la possibilité d'intégrer au moins 30 % d'aluminium recyclé dans ce type de câbles sans altérer les caractéristiques du matériel et d'identifier les conditions opérationnelles nécessaires à la fabrication de ces câbles.

Objectifs

Dès lors, RTE a chiffré l'impact sur les consommations en matières résultant de taux de recyclage croissants, allant :

- d'une intégration progressive mais contenue d'aluminium recyclé dans les lignes aériennes (10%) d'ici 2040 ;
- à un recyclage progressif atteignant à terme l'ensemble des déchets d'aluminium du réseau pour les nouvelles lignes aériennes, couvrant jusqu'au quart du besoin ;
- voire au recours à des déchets d'aluminium au-delà du réseau de RTE qui pourraient également être incorporés dans d'autres matériels (matériels de poste et câbles souterrains).

La faisabilité opérationnelle de ces cibles est dépendante de la possibilité de construire l'écosystème industriel adéquat dans lequel RTE devra se coordonner avec les collecteurs de déchets, recycleurs, câbliers, d'autant plus que le taux d'aluminium recyclé incorporé est élevé.

Description

RTE a contractualisé en 2024 avec Nexans pour (1) valoriser les déchets en aluminium lorsque RTE est amené à changer ou à retirer des câbles sur une ligne aérienne, en favorisant une boucle courte à destination des usages réseau, et (2) introduire de l'aluminium recyclé dans les nouveaux câbles (10%).

La conduite de ce contrat permettra d'identifier l'impact de l'incorporation d'aluminium recyclé sur les coûts des matériels associés.

La généralisation de cette démarche pourrait permettre d'élever progressivement le taux de contenu recyclé, voire d'étendre l'introduction d'aluminium recyclé aux câbles souterrains et sous-marins et au matériel au sein des postes électriques.

La progression du taux de recyclage de l'aluminium constitue une priorité dans la mise en œuvre du SDDR. Elle dépendra de la capacité de RTE à intégrer ses déchets d'aluminium dans la filière de recyclage et surtout de la structuration d'une filière industrielle de recyclage d'aluminium de qualité électrique aussi bien en boucle fermée qu'en boucle ouverte.

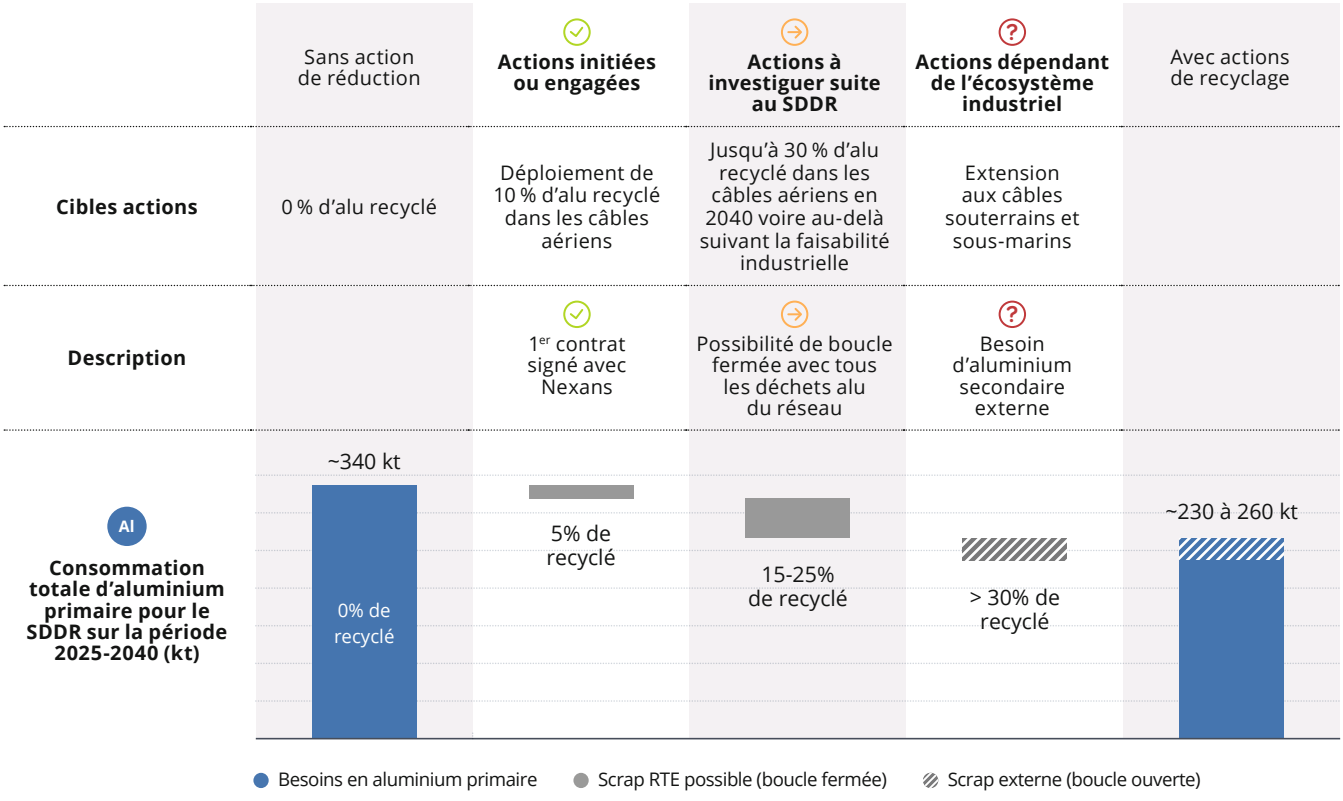


Figure 14.5 – Zoom sur les enjeux liés au recyclage de l'aluminium sur la consommation de ressources pour le réseau public de transport d'électricité