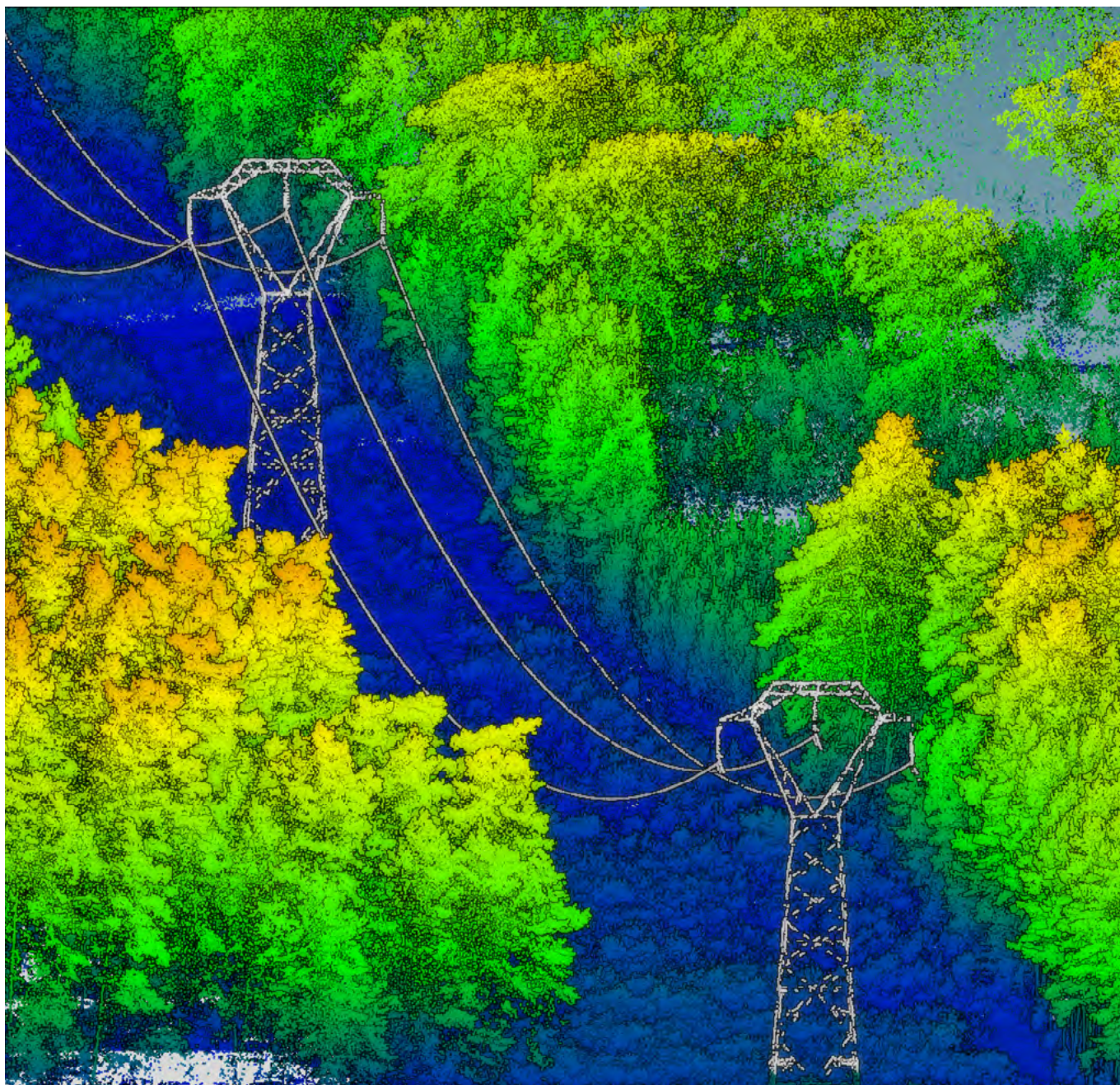




LIVRE BLANC RÉSEAUX ÉLECTRIQUES ET BIODIVERSITÉ : **une alliance grâce aux données**



SOMMAIRE

	Préambule	p.4
	Résumé exécutif	p.5
1.	Suivre, mesurer et réduire les impacts sur la biodiversité : un enjeu pour mieux répondre aux attentes des parties prenantes	p.7
2.	Des données à mobiliser pour réduire les impacts amont	p.9
3.	Explorer le potentiel des réseaux électriques pour préserver la biodiversité	p.10
4.	Des outils numériques pour optimiser la gestion de la végétation	p.13
5.	Modes de collecte et traitement des données terrain pour qualifier la « valeur écologique » des emprises du réseau	p.14
6.	Améliorer la prévention des risques naturels à proximité des ouvrages et déployer des solutions d'adaptation fondées sur la nature pour la résilience des infrastructures et du territoire	p.18
7.	Eolien Off-shore : une activité nouvelle dont les impacts sur la biodiversité sont étudiés de près par les gestionnaires de réseaux	p.20
	Conclusion	p.21
	Annexe	p.22

AVANT-PROPOS

Ce livre blanc a été réalisé grâce à l'implication de Flora Henri, Julien Blanchet, Gaëtan Cloître et Yann Castres, étudiants à l'École des Ponts ParisTech, dont le travail de recherche et de synthèse a constitué le socle de ce document. Think Smartgrids tient à remercier tout particulièrement Melinda Murail (RTE), principale contributrice à ce livre blanc, pour son expertise et son engagement tout au long de sa réalisation. Nos remerciements vont également à l'ensemble des personnes interviewées, gestionnaires de réseaux, chercheurs, associations environnementales et représentants institutionnels, dont les éclairages ont enrichi et nourri chacun des chapitres de cet ouvrage. Que toutes et tous soient ici chaleureusement remerciés.

PRÉAMBULE

En 2025, un des axes d'étude de l'association Think Smartgrids a été la réduction de l'empreinte environnementale du réseau, en mobilisant à cette fin les données et les technologies numériques.

L'enjeu est de concilier transition énergétique, numérique et écologique, afin de répondre conjointement aux différentes crises environnementales (climat, biodiversité, ressources).

En contribuant à décarboner nos systèmes énergétiques, les réseaux électriques jouent un rôle clé pour lutter contre une des principales causes de l'effondrement de la biodiversité¹. Cependant, comme pour tout projet industriel, la construction, la maintenance et le démantèlement de ces réseaux entraînent nécessairement des impacts environnementaux, d'autant plus que ces infrastructures interagissent en permanence avec le milieu naturel environnant.

L'un des défis majeurs est ainsi d'accélérer la décarbonation du système énergétique, sans augmenter les pressions sur la biodiversité, dont l'érosion s'accélère dangereusement².

Pour les gestionnaires de réseaux comme pour les autres acteurs du système électrique, une meilleure prise en compte de la biodiversité et des écosystèmes apporte de nombreux cobénéfices.

Parmi ceux-ci :

- Augmenter l'adhésion aux projets d'infrastructures électriques, à l'heure où la société civile est de plus en plus sensible à leurs impacts environnementaux et paysagers,
- Maintenir un dialogue de qualité avec les acteurs des territoires où sont implantées ces infrastructures,
- Réduire les risques juridiques et les contentieux, ainsi que les délais d'octroi de permis,
- Augmenter la résilience aux aléas climatiques (sécheresse, incendies, inondations, vents violents...), pour les infrastructures électriques comme pour les territoires,
- Développer l'économie circulaire pour réduire à la fois les risques d'approvisionnement et les pressions sur la biodiversité,
- Contribuer de manière plus globale à la décarbonation, en préservant nos puits de carbone, ainsi qu'aux objectifs de restauration de la biodiversité définis par les pouvoirs publics et nécessitant de mobiliser tous les acteurs.

L'association Think Smartgrids a souhaité se pencher sur les données à mobiliser pour y parvenir, et sur les outils numériques offrant des perspectives intéressantes pour réduire les impacts sur la biodiversité tout en gagnant en efficacité opérationnelle.

1. OFB, [Les menaces sur la biodiversité](#).

2. La Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) alerte sur un taux d'extinction « au moins des dizaines voire des centaines de fois plus élevé que le taux de base (taux naturel) et... susceptible d'augmenter rapidement » avec des impacts sur le développement, l'économie, la sécurité, la société et l'éthique – cf [Le dangereux déclin de la nature : Un taux d'extinction des espèces « sans précédent » et qui s'accélère | IPBES secretariat](#).

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

La prise en compte de la biodiversité et des paysages est depuis longtemps une préoccupation centrale des gestionnaires de réseaux électriques, dans le cadre de leurs missions de service public et de la prise en compte des attentes des territoires traversés par leurs infrastructures.

Afin d'atteindre nos objectifs de décarbonation et de sortie des énergies fossiles, des programmes industriels sans précédent doivent aujourd'hui être déployés, en France et à travers toute l'Europe, pour renforcer, renouveler et développer les réseaux électriques. Ces projets industriels pourraient se traduire par des pressions accrues sur la biodiversité, aussi bien en phase amont (extraction minière, consommation d'eau, pollutions...) que lors des phases de construction, de maintenance et de démantèlement des réseaux³.

Pour contenir au mieux ces impacts, de nombreuses actions d'évitement et de réduction doivent être mises en œuvre : tracés de ligne évitant les zones naturelles sensibles, installation de balises avifaune sur les câbles pour les rendre visibles aux oiseaux, sécurisation des nids de cigognes et balbuzards pêcheurs sur les pylônes, mise en souterrain des lignes aériennes dans le cadre des réhabilitations ou constructions de nouvelles lignes, construction des postes électriques sur des zones déjà artificialisées, végétalisation et passage en « zéro phyto » des postes, arrêt des travaux de végétation type gyrobroyage en période de nidification, travaux de R&D pour mieux comprendre et réduire les impacts, écoconception et économie circulaire pour réduire les impacts amont et aval, etc.

Des efforts financiers et opérationnels importants seront nécessaires pour appliquer l'ensemble de ces mesures, en allant au-delà du simple respect de la réglementation. Cependant, les bénéfices pour la collectivité excèdent largement les investissements à réaliser⁴, en préservant les services apportés par les écosystèmes (protection contre l'érosion, les inondations, la pollution de l'eau, la sécheresse et les îlots de chaleur, stockage carbone, pollinisation...), en cohérence avec les missions de service public exercées par les gestionnaires de réseaux. Il convient de donner un mandat clair à ces derniers pour appuyer leur contribution aux objectifs de restauration définis par les politiques publiques.

Par ailleurs, les actions possibles sont contraintes par le fait que les gestionnaires de réseaux ne sont pas propriétaires des terrains sous les lignes : des conventions avec chaque propriétaire et gestionnaire des terrains sont nécessaires pour appliquer des mesures spécifiques (pâturage, plantations, etc.).

Enfin, la réduction des impacts sur la biodiversité n'a rien d'évident : elle nécessite une compréhension fine des différentes pressions qui s'exercent sur un écosystème donné et un suivi au long cours des nouvelles mesures appliquées. De nombreux travaux de recherche restent nécessaires pour mieux comprendre les interactions entre réseaux électriques et biodiversité et renforcer le degré de certitude sur les gains écologiques attendus des différentes pratiques.

Accélérer le déploiement de certains outils numériques permettrait d'apporter un appui précieux face à la difficulté pour les gestionnaires d'infrastructures d'obtenir des inventaires faune-flore exhaustifs et réitérés dans le temps pour le suivi des impacts :

- **Les systèmes d'information géographique, l'imagerie satellite et la télédétection** peuvent permettre de cartographier les habitats et les corridors écologiques, d'identifier les zones à enjeux pour la biodiversité, de superposer les différentes pressions, de suivre l'évolution d'un paysage ou de détecter un changement d'occupation des sols.
- **Différentes bases de données peuvent être croisées** pour mieux identifier les enjeux et les pressions (inventaires d'espèces, identification des biotopes, présence des lignes électriques et autres données d'occupation des sols...).

3. Cf. par exemple [le projet de SDDR 2025](#), fiche 14.

4. Cf. Commission européenne, [Restoring nature - Publications Office of the EU \(europa.eu\)](#), juin 2022, p.12.

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

- **Des capteurs** peuvent mesurer la qualité de l'air, de l'eau, du sol ou la santé de la végétation.
- **L'IA et le big data** permettent de traiter, par le biais d'algorithmes, de grands volumes de données hétérogènes issus de multiples sources, de simuler des scénarios prédictifs ou encore d'apporter une aide à la décision.
- **Des outils participatifs** comme des applications mobiles permettent d'enrichir la collecte de données, qui sont nécessaires en grande quantité pour analyser les impacts sur la biodiversité.

Sur les emprises de lignes où un entretien de la végétation est nécessaire, certains gestionnaires de réseaux explorent ainsi le potentiel de modes de gestion écologiques de la végétation, avec l'aide d'outils numériques, pour préserver la biodiversité voire contribuer à la restauration de « continuités écologiques »⁵ : les réseaux électriques maillent en effet l'ensemble du territoire national et occasionnent très peu d'artificialisation⁶, ce qui peut en faire de bons candidats pour accueillir des réservoirs de biodiversité ou recréer des corridors écologiques permettant la circulation des espèces, contribuant ainsi aux objectifs de la Trame Verte et Bleue nationale⁷.

Les outils numériques peuvent permettre dans ce cadre des gains opérationnels et économiques importants : Lidar, imagerie satellite, données météo, logiciels SIG et algorithmes de *machine learning* commencent à être utilisés de manière combinée pour gagner fortement en efficacité opérationnelle tout en libérant du temps pour les équipes afin de mieux prendre en compte les objectifs de préservation de la biodiversité des territoires⁸.

Ces outils sont aussi étudiés pour anticiper les risques naturels, notamment le risque incendie, enjeu clé à la fois pour la biodiversité et pour la sécurité du réseau.

Afin de faciliter un passage à l'échelle, une alternative aux relevés terrain et à la modélisation des pressions sur chaque parcelle est de réussir à traduire des pratiques en gains écologiques théoriques, sur la base d'un consensus d'experts, afin de déterminer quelles sont les pratiques a priori favorables à la biodiversité. La recherche doit se poursuivre pour évaluer l'ensemble des pratiques des gestionnaires de réseaux, compatibles avec la sécurité des lignes électriques, et estimer leurs impacts écologiques potentiels.

Enfin, toutes les potentialités des données et outils numériques doivent être explorées pour permettre :

- une meilleure compréhension des impacts et des interactions entre biodiversité et réseaux,
- un suivi des impacts et une évaluation de l'efficacité des mesures pour mieux piloter les actions,
- une maîtrise des coûts tout en agissant pour la biodiversité,
- une information claire, détaillée et vérifiable, afin de rendre compte aux parties prenantes, d'améliorer les indicateurs extra-financiers de l'entreprise, de répondre au renforcement des exigences réglementaires, ou encore de démontrer une contribution aux objectifs de restauration des politiques publiques.

5. Les continuités écologiques sont constituées à la fois des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques qui permettent aux populations d'espèces de circuler entre ces réservoirs, favorisant ainsi le brassage génétique essentiel à leur résilience.

6. Pour le RPT, 4100 ha artificialisés pour 100 000 km de lignes (335 000 ha d'emprises) – cf. [le projet de SDDR 2025](#), p.144.

7. La Trame Verte et Bleue (TVB) doit permettre de créer une continuité territoriale entre les différents espaces protégés, reliés par des corridors eux aussi protégés. L'objectif est de maintenir ou de rétablir les flux d'espèces de faune et de flore sauvages entre des zones considérées comme ayant une haute valeur écologique. Son identification est obligatoire dans les documents d'aménagement du territoire, à tous les échelons territoriaux (cf. par exemple l'art. [L371-3](#) du Code de l'Environnement et l'art. [L101-2](#) du Code de l'Urbanisme).

8. Voir la plateforme SAMS développée par EON Suède, décrite en partie 4 de ce document.

1. SUIVRE, MESURER ET RÉDUIRE LES IMPACTS SUR LA BIODIVERSITÉ : UN ENJEU POUR MIEUX RÉPONDRE AUX ATTENTES DES PARTIES PRENANTES

La planification des projets de réseaux s'élabore en concertation avec les pouvoirs publics et les différentes parties prenantes des territoires (collectivités locales, société civile, chambres d'agriculture, secteur forestier, gestionnaires d'espaces naturels, etc.).

La réduction des impacts sur la biodiversité et les paysages doit être intégrée pleinement à la conception des projets, s'agissant d'une des préoccupations majeures des parties prenantes locales⁹.

Cette préoccupation perdure durant tout le cycle de vie des ouvrages. L'entretien de la végétation sous les lignes ou la maintenance des pylônes, susceptibles d'abriter des nids d'espèces protégées, sont un sujet de préoccupation croissant pour les gestionnaires de réseaux qui doivent à la fois assurer la sécurité du réseau, répondre aux attentes des parties prenantes et respecter de nouvelles contraintes réglementaires comme les obligations légales de débroussaillage pour la prévention des incendies.

Comprendre, mesurer, suivre et réduire les impacts des infrastructures électriques sur la biodiversité est ainsi essentiel pour mieux répondre aux attentes des différents acteurs.

Il s'agit aussi pour les gestionnaires de réseaux de pouvoir démontrer leur contribution potentielle aux objectifs locaux de préservation, voire de restauration de la biodiversité, alors qu'une mobilisation sans précédent est nécessaire pour atteindre les cibles des politiques publiques.

La stratégie nationale pour la biodiversité 2030 (SNB 2030), à travers son axe « Mobiliser tous les acteurs », met ainsi en lumière la nécessité de mobiliser les entreprises et de développer une approche collaborative et partenariale.

Le Plan national en faveur des pollinisateurs 2021-2026 incite les gestionnaires d'infrastructures linéaires (dont les réseaux d'énergie) à mettre en œuvre des plans de gestion de leurs dépendances vertes favorables aux pollinisateurs en établissant des collaborations au niveau local¹⁰.

Enfin, le règlement européen sur la restauration de la nature entré en vigueur courant 2024 fixe aux États membres des objectifs ambitieux pour restaurer la biodiversité (article 4), avec un premier jalon en 2030 pour restaurer au moins 20 % des habitats dégradés et au moins 30 % pour les écosystèmes prioritaires. Un plan national de restauration doit être finalisé d'ici septembre 2026, incitant toutes les parties prenantes à contribuer à l'atteinte des objectifs.

Les infrastructures linéaires, et notamment les réseaux électriques, pourraient par exemple contribuer aux indicateurs et objectifs suivants¹¹ :

- Restaurer les populations de pollinisateurs/indice des papillons de prairie (les milieux ouverts sous les lignes étant favorables aux insectes).
- Améliorer l'indice des oiseaux communs des milieux agricoles.
- Améliorer la connectivité des milieux ouverts et la connectivité entre les habitats.
- Restaurer les zones humides, les prairies, les landes et les tourbières.
- Protéger et restaurer les populations d'espèces menacées, avec des plans d'action ciblés.

9. Le Monde, (2025), [Réduire l'impact environnemental et paysager du réseau électrique français, un enjeu majeur](#) et

Le Monde, (2024), En Camargue, le tracé de la ligne à très haute tension vers Fos-sur-Mer unit contre lui élus, agriculteurs, écologistes et acteurs économiques

10. [Plan national en faveur des insectes pollinisateurs et de la pollinisation 2021-2026](#), P.47 et 53

11. Se référer à la partie 3 de ce document pour plus d'explications

Des collaborations entre gestionnaires de réseaux et gestionnaires d'espace naturels ont déjà permis la réalisation de projets contribuant à l'amélioration de ces indicateurs¹².

Il s'agit maintenant d'établir avec un niveau de confiance suffisant les pratiques des gestionnaires de réseaux favorables à la biodiversité, et de permettre leur déploiement à large échelle, en mettant en place les outils opérationnels nécessaires et en sécurisant le financement des actions.

Les co-bénéfices potentiels sont nombreux, pour la collectivité comme pour les gestionnaires de réseaux, en renforçant la résilience des territoires et des infrastructures, et en préservant les « services écosystémiques » apportés par la biodiversité (protection contre les risques naturels, épuration des polluants, séquestration carbone, pollinisation...) ¹³. Une revue de littérature effectuée par la direction générale de l'Environnement de la Commission européenne montre aussi que les bénéfices apportés par les actions de restauration sont très largement supérieurs aux coûts d'investissement initiaux, pour tous les écosystèmes, et également supérieurs au « coût de l'inaction » ¹⁴.

Par leur vaste emprise territoriale maillant l'ensemble du territoire et les actions directes qu'ils exercent sur les milieux naturels, les gestionnaires de réseaux publics d'électricité ont une responsabilité directe à exercer pour préserver la biodiversité. Leurs capacités opérationnelles et techniques, en agissant au plus proche du terrain et en développant de nombreux partenariats, en fait également des acteurs clés pour initier, voire coordonner des actions. Le réseau physique peut enfin fournir de nombreuses données environnementales locales, via des capteurs et autres systèmes d'acquisition de données, qui pourront nourrir des bases de données publiques.

DONNER AUX GESTIONNAIRES D'ESPACE NATUREL UN ACCÈS EN TEMPS RÉEL AUX DONNÉES DES GESTIONNAIRES DE RÉSEAUX POUR PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ.

Les gestionnaires de réseaux développent des partenariats avec les collectivités territoriales et les gestionnaires d'espaces naturels pour mieux préserver la biodiversité et les paysages lors des travaux de maintenance ou dans le cadre des projets de développement et de réhabilitation du réseau.

En février 2025, la Région-Sud Paca, Enedis et l'association Réseau des Parcs naturels régionaux (PNR) de Provence Alpes Côte d'Azur ont signé une convention de partenariat¹⁵ qui s'inscrit dans le Plan Climat 'Une COP d'avance' de la région et intègre les objectifs des Chartes des PNR, contrats qui définissent pour 15 ans un projet de territoire et les actions nécessaires pour préserver, développer et mettre en valeur ses patrimoines naturels, culturels et paysagers.

Il s'agit de mieux coordonner et concerter en amont les interventions pour protéger les habitats sensibles, notamment les zones Natura 2000, de réaliser un accompagnement et une sensibilisation des équipes et des prestataires, et enfin, **de donner aux Parcs un accès aux outils numériques d'Enedis** afin de visualiser les travaux, coupures et données cartographiques du réseau d'Enedis.

Les données du Portail Collectivités d'Enedis permettront par exemple aux Parcs de vérifier les capacités disponibles du réseau de distribution et d'identifier ainsi les zones les plus propices pour accueillir des projets (énergie renouvelables, mobilité électrique...) et de mieux maîtriser leur consommation d'énergie en accédant aux données de leurs compteurs.

Ces données numériques, pour beaucoup issues des fonctionnalités du compteur Linky, pourront également alimenter des stratégies de réduction de la pollution lumineuse en lien avec l'éclairage public.

Cette collaboration fait suite à une série d'engagements pris par Enedis depuis 2019 avec les Parcs et la Région Sud. En octobre 2024, une convention cadre de partenariat entre la Région Sud et Enedis avait été adoptée, pour concilier les enjeux de décarbonation et préservation de la biodiversité dans le cadre de la planification écologique.

12. Voir par exemple ONF-RTE, « [Concilier sécurité, biodiversité et paysage sous les lignes électriques](#) ».

13. De nombreux travaux tentent d'évaluer les « valeurs » des services rendus par les écosystèmes, comme ceux de l'[évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques \(EFSE\)](#), plateforme scientifique et collaborative initiée par le ministère de l'Environnement. Ces valeurs utilitaires, patrimoniales et écologiques ne sont pour l'essentiel pas traduisibles en termes monétaires, comme le souligne la note de synthèse de France Stratégie « [Mettre en valeur\(s\) la biodiversité : état des lieux et perspectives](#) » (dec. 2024).

14. "Several detailed economic analyses have demonstrated that the monetary value of the benefits derived from restoration are on average 8–10 times greater than the initial investment costs, and this is consistent across all types of ecosystems. In the case of the biodiversity-rich habitats protected under the Habitats Directive, restoring them to a good condition over 10% of the total EU territory, is estimated to cost in total 1.54 billion. By comparison the projected benefits are expected to reach 1.860 billion € – a cost benefit ratio of 1:12 in favour of benefits. The cost of inaction is also much higher than the restoration costs, estimated at 1,700 billion €. Another important consideration is that, typically, the cost of nature-based solutions is significantly lower than the cost of man-made solutions..." - Commission européenne, [Restoring nature - Publications Office of the EU \(europa.eu\)](#), juin 2022, p.12.

15. L'Écho du mardi, Enedis poursuit ses engagements auprès des parcs naturels régionaux, 14 février 2025

2. DES DONNÉES À MOBILISER POUR RÉDUIRE LES IMPACTS AMONT

Les impacts amont de la chaîne de valeur des réseaux électriques, en particulier ceux liés à l'extraction minière pour construire pylônes, lignes et postes (acier, aluminium, cuivre...), constituent une part importante (bien que délicate à quantifier) de « l'empreinte biodiversité globale » des réseaux électriques, en plus des impacts plus locaux comme ceux sur l'avifaune¹⁶.

Les gestionnaires de réseaux (GR) déploient notamment des plans d'économie circulaire et d'optimisation de leur empreinte matière¹⁷ pour limiter l'ensemble des impacts amont (climat, biodiversité, ressources, déchets, eau).

L'écoconception des matériels via des partenariats d'innovation entre GR et fournisseurs est un des leviers pour réduire les impacts sur la biodiversité, les consommations de matières premières et les émissions de GES.

Pouvoir comparer « l'empreinte matière en cycle de vie » de deux références de câbles, transformateurs, etc. présentant les mêmes caractéristiques techniques en est un autre, afin d'inciter les fournisseurs à mieux tenir compte de cette dimension et d'orienter les décisions d'achats des GR.

Disposer de données spécifiques, fiables, et complètes, et mettre en place une acquisition automatisée de ces données sont deux prérequis essentiels pour permettre une comparaison efficace et robuste et ne pas occasionner une surcharge de travail excessive pour effectuer cette comparaison.

Le passeport numérique européen des produits (DPP) introduit par le règlement européen écoconception¹⁸ pour renforcer l'économie circulaire permettra de généraliser la production et l'assurance qualité de données depuis la conception jusqu'à la fin de vie des produits, en indiquant notamment le pays d'origine, les conditions de fabrication, la quantité et la proportion des différents métaux utilisés, le pourcentage de contenu recyclé et les possibilités de recyclage.

Cependant, il reste des défis techniques et opérationnels majeurs : la standardisation des informations et formats de données doit être pensée dès l'origine grâce à une collaboration entre fournisseurs, acheteurs, certificateurs et pouvoirs publics, des systèmes de vérification de l'authenticité et de la fiabilité de ces données doivent aussi être déployés¹⁹. Un autre enjeu est la coopération entre gestionnaires de réseaux et fournisseurs pour concevoir des bases de données partagées afin de mutualiser les coûts, mais aussi d'éviter aux fournisseurs de devoir remplir de multiples bases de données. Le secteur des réseaux électriques pourrait bénéficier dans ce domaine de l'avance d'autres secteurs industriels, qui, tel celui de l'industrie automobile, ont déjà mis en place ce type de solutions de gestion de données depuis des années, en réponse à des contraintes réglementaires.

Au-delà des données, le développement des filières de recyclage et de réemploi adaptées est un prérequis essentiel.

16. L'extraction minière est considérée comme une menace pour 4642 (7,8%) des 59 803 espèces de vertébrés existantes évaluées par l'UICN (Lamb et al., 2024). D'ici l'horizon 2040, l'empreinte carbone du réseau de transport d'électricité pourrait doubler par rapport à 2025, notamment à cause des phases d'extraction des ressources minérales et de fabrication des équipements (80 % de la hausse) – cf. projet de SDDR 2035, p.149.

17. Cf. par exemple les travaux en cours de RTE pour le recyclage et le réemploi de l'aluminium des câbles - [RTE :recycler l'aluminium des câbles à haute et très haute tension | Groupe Caisse des Dépôts](#).

18. Règlement 2024/1781/UE établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception pour des produits durables

19. Voir aussi [BPI France, Passeport numérique des produits \(DPP\) : quel\(s\) impact\(s\) pour les entreprises ?](#), oct 2025

3. EXPLORER LE POTENTIEL DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES POUR PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ

Les infrastructures du réseau électrique (lignes aériennes et souterraines, postes électriques...) traversent des zones agricoles, forestières ou naturelles – incluant désormais le milieu marin. Elles peuvent avoir des impacts directs sur la biodiversité, de la phase amont jusqu'au démantèlement. En phase d'exploitation, il y a également des travaux de maintenance (peintures, réparations...) et de gestion de la végétation. Les lignes aériennes présentent des risques de collision et d'électrocution pour l'avifaune.

De nombreuses études sont menées par les gestionnaires de réseaux pour évaluer les impacts de leurs infrastructures sur la biodiversité et étudier les solutions pour réduire au maximum ces impacts et rendre leurs infrastructures plus accueillantes pour la biodiversité.

Pour garantir la fiabilité et la crédibilité des études réalisées, des partenariats scientifiques et techniques sont nécessaires entre gestionnaires de réseaux et acteurs reconnus de la recherche et du monde naturaliste (Muséum d'histoire naturelle, CNRS, Fondation pour la recherche sur la biodiversité, ligue pour la protection des oiseaux, laboratoires de recherche universitaires, IFREMER, France Énergies Marines, Réserves Naturelles de France...).

L'enjeu est de réussir à mieux documenter les impacts des réseaux sur la biodiversité, mais aussi de démontrer et quantifier les gains écologiques attendus des changements de pratiques pour limiter la fragmentation des habitats naturels, réduire l'artificialisation, mieux protéger les espèces, etc.

Le programme de recherche ITTECOP du Ministère de la Transition écologique a ainsi financé plus d'une centaine de projets de recherche depuis 2008 pour étudier les impacts des infrastructures linéaires de transport sur les écosystèmes et les paysages, ainsi que les effets des modifications de pratiques de gestion pour favoriser la biodiversité.

Certains projets ont par exemple pu démontrer le rôle des dépendances des infrastructures linéaires de transport (ILT) dans la préservation des pollinisateurs sauvages, y compris les sites gyrobroyés qui peuvent offrir plus d'opportunités de nidification aux abeilles (sol nu, bois mort, tiges creuses) que les sites de référence²⁰. Les « tranchées forestières » peuvent ainsi contribuer au maintien des populations de pollinisateurs²¹.

Afin de définir des méthodes et critères harmonisés pour quantifier les bénéfices pour la biodiversité et les populations²², l'association Renewable Grid Initiative (RGI), qui regroupe de nombreux gestionnaires de réseaux européens, a lancé en 2025 des travaux avec l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). La « Global Initiative for Nature, Grids and Renewables » (GINGR) développera des indicateurs communs, des métriques, outils et méthodes standardisés permettant l'agrégation des données, ainsi qu'un cadre harmoniser pour mesurer et rapporter les impacts des réseaux électriques.

La reconnaissance de ces gains écologiques par les différentes parties prenantes (pouvoirs publics, auditeurs, partenaires, acteurs locaux...), nécessite en effet d'identifier des indicateurs pertinents et robustes, de valider des protocoles de collecte et de traitement des données et de trouver des leviers pour combler les lacunes sur les suivis écologiques, dont la fiabilité requière une grande quantité et une grande diversité de données²³.

Face à la difficulté intrinsèque de quantifier et d'attribuer les impacts des pressions humaines sur la base de relevés écologiques²⁴, la recherche tente de caractériser les liens entre pressions humaines et impacts²⁵, un enjeu essentiel pour définir des recommandations claires à destination des acteurs ainsi que des politiques publiques efficaces pour préserver la biodiversité.

20. ITTECOP, projet Pollinéraire, (2014), <https://ittecop.fr/tous-les-projets/recherches-2014/projets-de-recherche-2014/item/130-pollinaire>

21. Entretien INRAE et Université Gustave Eiffel

22. Approche « nature & people positive » pour définir des indicateurs clés mesurant les impacts positifs pour la biodiversité et les communautés locales (services écosystémiques, bénéfices socio-économiques...)

23. Pour garantir la qualité d'un suivi, de nombreuses dimensions sont à prendre en compte : fréquence temporelle, répartition spatiale, pertinence des métriques et indicateurs, exhaustivité des types de pressions et de biodiversité analysés...

24. De multiples pressions se combinent et interagissent (artificialisation des sols, agriculture, pollutions, etc.) ; il est donc difficile d'isoler l'effet direct d'une activité humaine.

25. Voir par exemples les appels à projets de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité - [\[Appel à projets FRB-MTE-QFB 2023\] Pressions anthropiques et impacts sur la biodiversité terrestre](#)

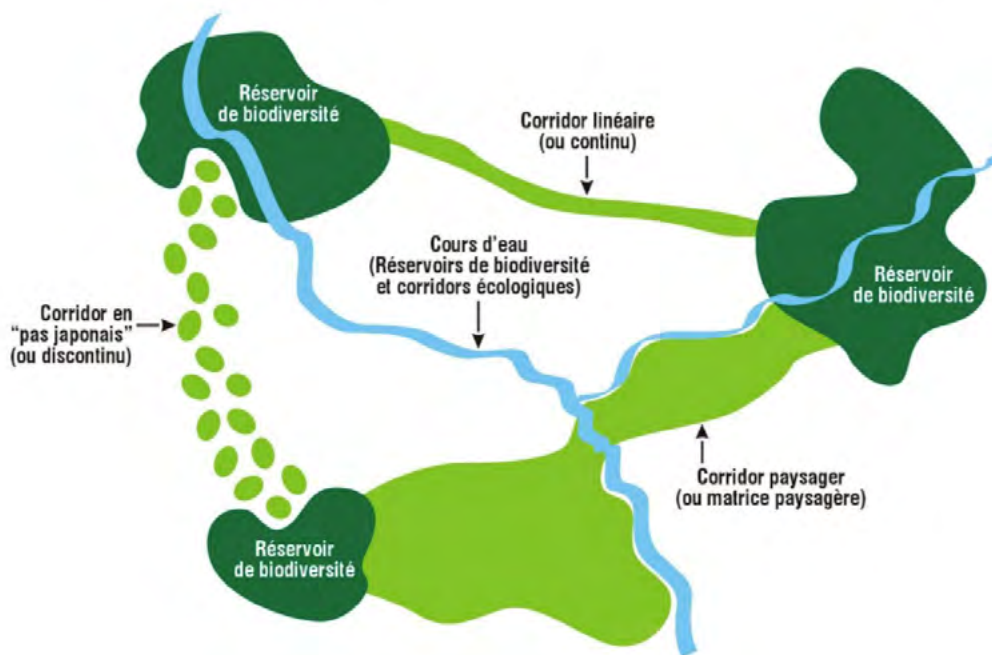
L'enjeu est aussi de réussir à qualifier les pratiques favorables à la biodiversité, afin d'orienter et de prioriser les décisions des acteurs. La Fondation pour la Recherche sur la biodiversité, le MNHN et Carbone 4 travaillent ainsi à établir une taxonomie des pratiques pour chaque socio-écosystème, en associant à ces pratiques des gains écologiques théoriques²⁶. Cette nomenclature des pratiques concerne pour l'instant l'agriculture et la forêt exploitée : il serait intéressant de développer une taxonomie adaptée aux réseaux électriques, incluant une nécessaire compatibilité avec la sécurité des lignes. Cela permettrait de réaliser un inventaire des pratiques des gestionnaires de réseaux a priori favorables à la biodiversité et d'estimer leur contribution écologique théorique.

Une tranchée forestière bien gérée peut par exemple constituer un « écotone », zone de transition entre deux écosystèmes²⁷ : cet « effet lisière » a un rôle bien connu pour stimuler la biodiversité par rapport à un milieu homogène.

En reliant différents habitats²⁸, les emprises des lignes peuvent aussi jouer un rôle de corridor renforçant la connectivité entre habitats, un enjeu crucial pour permettre le brassage génétique et le potentiel évolutif des espèces. La gestion de la végétation peut ainsi être adaptée dans les couloirs de lignes aériennes pour répondre à ces enjeux de connectivité.

En zone agricole également, bien que le gestionnaire de réseaux n'entretienne pas la végétation sous la ligne, les pieds de pylônes peuvent participer à la création de corridors discontinus dits en « pas japonais ». Implantés au cœur de grandes surfaces cultivées en monoculture, ils peuvent être une ressource précieuse pour soutenir la biodiversité floristique, la petite faune et les insectes, qui apporteront des services de pollinisation aux cultures. Dans le Loiret, une étude menée sur 153 pylônes de lignes 400kV a montré qu'en plaine agricole (Beauce), l'installation de plantes pérennes spontanées (arbustes, prairie, jachère permanente) en pied de pylône présente un réel intérêt pour la biodiversité²⁹. Une étude de G. Schmitt publiée en 2014³⁰ a modélisé l'impact qu'aurait la réalisation de ces corridors en pas japonais dans le Nord-Pas-de-Calais (Hauts-de-France), ancienne région de France caractérisée par une forte anthropisation. Les réseaux électriques deviennent alors une opportunité pour améliorer significativement la biodiversité à l'échelle d'un site.

Par ailleurs, les pylônes hébergent des nids de nombreuses espèces d'oiseaux protégés (balbuzards pêcheurs, cigognes...), représentant à la fois une opportunité pour la reproduction et un risque à mieux maîtriser pour les nichées (ex : travaux de maintenance des pylônes).



26. Restaurer la biodiversité : quels rôles pour le secteur financier ? Les enjeux d'une finance durable - Fondation pour la recherche sur la biodiversité

27. Entretien G. Schmitt, Université Polytechnique Hauts-de-France

28. Selon Nature France, « les habitats sont composés d'un milieu (le biotope) et d'êtres vivants qui interagissent entre eux et avec le milieu (la biocénose). Il peut s'agir par exemple de tourbières, prairies, forêts, landes, dunes, etc ».

29. R. Chevalier, Note de synthèse des travaux Irstea 2009-2013 sur la gestion de la biodiversité au pied des pylônes

30. Schmitt, G., Franchomme, M., & Hinnewinkel, C. (2014). Réseau électrique et réseau écologique : contraintes et opportunités dans un paysage fragmenté (Nord-Pas-de-Calais). Projets de paysage. Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace, (10).

SAFELINES4BIRDS – UN PROJET EUROPÉEN COLLABORATIF POUR RÉDUIRE LA MORTALITÉ DES OISEAUX CAUSÉE PAR LES LIGNES ÉLECTRIQUES

Cofinancé par l'Union européenne via le programme LIFE, ce projet de six ans (2023-2028) teste des solutions innovantes pour réduire la mortalité de 13 espèces d'oiseaux particulièrement vulnérables (Outarde canepetière, Gypaète barbu, Aigle de Bonelli...) en France, en Belgique et au Portugal, menacées par les **collisions avec les câbles, le risque d'électrocution ou les dérangements durant la reproduction dus aux travaux d'entretien des pylônes**.

Parmi les **solutions techniques** testées :

- **Installation de milliers de « balises Firefly »** (dispositif visuel anti-collision) sur les câbles électriques les plus à risque.
- **Système ACAS – Avian Collision Avoidance System** : éclaire les câbles avec de la lumière ultra-violette qui rend les câbles visibles la nuit pour les oiseaux, tout en restant quasiment invisibles pour l'œil humain.
- **Suivi par des caméras diurnes et thermiques**
- **Installation innovante par drone** (plutôt que par hélicoptère) – pour une installation rapide, économique et à faible empreinte carbone.
- **Modernisation et isolation des poteaux électriques à risque**, installation de dispositifs de dissuasion, et pose de **plateformes de nidification** sur les pylônes.
- **Adaptation des calendriers d'entretien et de surveillance** en fonction des périodes de reproduction des espèces cibles.
- **Priorité à l'usage de drones** au lieu de survols aériens, afin de minimiser les dérangements.
- **Plateforme numérique ouverte : base de données ouverte SafeLines4Birds** pour centraliser toutes les informations techniques, partager les résultats, et favoriser la **diffusion des innovations à travers l'Europe**.

Partenaires et coordination : Le projet est piloté par la LPO (Ligue pour la Protection des Oiseaux, France), en partenariat avec des gestionnaires de réseaux (Enedis, RTE en France ; Elia en Belgique ; E-REDES au Portugal), des ONG et associations (Natuurpunt, Natagora, SPEA, Renewable Grid Initiative), des entités scientifiques (CIBIO-BIOPOLIS).

Les gestionnaires de réseaux interagissent avec tous les acteurs du territoire, permettant d'identifier d'éventuelles **opportunités de restauration** : en concertation avec les collectivités territoriales, les gestionnaires d'espaces naturels et associations environnementales, des actions ciblées de préservation voire restauration de milieux naturels et continuités écologiques peuvent être identifiées, quand cela est pertinent (exemple : entretien de milieux ouverts pour favoriser les pollinisateurs, les habitats prairiaux, ou les continuités écologiques)³¹.

31. Entretiens avec FNE, RNF, LPO et RTE

4. DES OUTILS NUMÉRIQUES POUR OPTIMISER LA GESTION DE LA VÉGÉTATION³²

Télédétection, capteurs, logiciels SIG, intelligence artificielle et données en open data ouvrent aujourd'hui de nouvelles perspectives pour mettre en œuvre une gestion optimisée de la végétation et contenir la hausse des coûts d'entretien, tout en adaptant localement cette gestion aux enjeux écologiques du site concerné.

4.1 OPTIMISER L'ÉQUILIBRE OFFRE DEMANDE

Pour entretenir la végétation aux abords des lignes, on distingue trois niveaux de gestion :

- **Gestion curative** : l'intervention survient en réaction, lorsque la végétation est sur le point de devenir une menace pour la ligne, ou qu'elle a déjà déclenché un défaut.
- **Gestion préventive** : l'intervention sur la végétation est planifiée à intervalles réguliers (tous les 5 ou 8 ans par exemple), en prévention du risque et non plus en réaction.
- **Gestion prédictive** : grâce aux données récoltées et à leur actualisation, la croissance de la végétation peut être modélisée, et donc prédite. Plutôt que de planifier des coupes préventives systématiques, les outils numériques permettent d'anticiper et d'optimiser les opérations de coupe et débroussaillage au plus juste. Un premier enjeu pour les gestionnaires de réseaux est donc de passer d'une logique de maintenance préventive à celle d'une maintenance prédictive, optimisant par la même occasion la fréquence et les surfaces des coupes de végétation, et donc les coûts et certains impacts sur la biodiversité. Certaines solutions d'IA sont déjà déployées à des stades plus ou moins avancés.

Un premier enjeu pour les gestionnaires de réseaux est donc de passer d'une logique de maintenance préventive à celle d'une maintenance prédictive, optimisant par la même occasion la fréquence et les surfaces des coupes de végétation, et donc les coûts et certains impacts sur la biodiversité. Certaines solutions d'IA sont déjà déployées à des stades plus ou moins avancés.

Une série de scans LIDAR haute résolution peut ainsi être couplée à un algorithme de prédiction de croissance de la végétation, construit à partir de données de température et de précipitations³³. Un tel outil peut prédire avec précision la croissance de la végétation sur chaque m² du couloir de ligne³⁴. Il devient ainsi possible d'obtenir des informations sur la densité et la hauteur de la végétation, ses perspectives de croissance, ainsi que sur la taille des parcelles concernées, afin de définir précisément le planning de coupes et le mode de gestion à appliquer (manuel vs mécanisé, coupe sélective, fauche...).

C'est sur cette base que les gestionnaires de réseaux, comme RTE et Enedis, déploient aujourd'hui des modèles d'IA pour identifier les points critiques (ex : risque de chute d'arbres), automatiser la planification des entretiens selon le biotope et valider la conformité des travaux réalisés par les prestataires. Cette approche permet d'ajuster l'entretien à la sensibilité écologique des sols, tout en garantissant la sécurité et la performance du réseau.

Plusieurs axes de recherche sont menés pour améliorer la précision de ces outils :

- Une correction des erreurs et biais algorithmiques permet d'améliorer progressivement les résultats des algorithmes de machine learning.
- L'analyse des images satellites couplée à des données terrain pourrait également permettre d'analyser la fragmentation des habitats et les enjeux écologiques à l'échelle du paysage et d'ajuster en fonction les techniques d'entretien.
- Ces données satellites peuvent aussi permettre d'effectuer un premier niveau d'identification de la hauteur de la végétation. Ce cas d'usage est en cours de test côté RTE.

³². Les éléments de cette partie proviennent notamment des entretiens avec E.On Suède et RTE.

³³. À noter : Construire un modèle prédictif à partir du LIDAR nécessite d'avoir un nombre suffisant de scans LIDAR et assez espacés temporellement pour suivre l'évolution de la végétation à proximité du réseau et pouvoir extrapoler cette évolution dans le temps avec une modélisation réaliste. Selon les cas, d'autres types de données peuvent aider le modèle, comme le type d'essence de végétation (cela permet d'aider à une calibration avec des modèles de croissance).

³⁴. Entretien avec E.On Suède.

Au niveau opérationnel, automatiser l'inspection de la végétation et le contrôle des coupes est un enjeu fort pour libérer du temps aux équipes.

Actuellement, les inspections du réseau de lignes aériennes afin de contrôler la distance avec la végétation se font généralement soit depuis un hélicoptère soit depuis le sol, souvent par contrôle visuel humain. Le contrôle des travaux de végétation effectués par les prestataires implique également des contrôles sur site, avec un temps passé conséquent pour les équipes. L'inspection par hélicoptère peut intégrer une technologie LIDAR embarquée couplée à une acquisition automatique de données photos avec une précision élevée. Mais celle-ci est effectuée au mieux une fois par an, et souvent tous les 2 ou 3 ans pour la plupart des gestionnaires de réseaux, ce qui est insuffisant pour le suivi de la croissance de la végétation³⁵.

Les gestionnaires de réseaux explorent donc l'opportunité d'une automatisation de l'inspection des liaisons aériennes, via des capteurs, des images satellites et données spatiales en open data, couplées à des algorithmes avancés d'interprétation et de comparaison. Le potentiel est important : avec une résolution centimétrique et un spectre allant de l'ultraviolet à l'infrarouge et au laser, les capteurs peuvent alimenter massivement le système d'information en données structurées de qualité, ce qui lui fait aujourd'hui défaut. Cela suppose cependant de disposer d'une capacité suffisante de traitement et de stockage de ces données, ce qui fait défaut à de nombreux gestionnaires de réseaux.

Par ailleurs, la validation des travaux de végétation effectués par les prestataires peut être automatisée via imagerie satellite. La R&D de RTE travaille au développement de ce cas d'usage.

Plusieurs obstacles doivent être levés pour envisager une utilisation industrielle :

- **Développer des systèmes intégrés qui d'une part couplent données issues des capteurs et du LIDAR, algorithmes et système d'information**, et d'autre part intègrent directement les résultats aux outils numériques de gestion de la végétation utilisés par les équipes agissant sur le terrain. Autrement, les données produites risquent de ne pas être utilisées pour répondre aux besoins opérationnels des gestionnaires de réseaux.
- **Garantir une large plage de fonctionnement** des capteurs et drones suivant les conditions météorologiques et l'environnement. Par exemple, le LIDAR ne fonctionne actuellement pas sous la pluie car ses rayons sont diffractés³⁶.

- **Obtenir une disponibilité et une résolution suffisantes des images satellites open data** pour suivre l'évolution de la végétation.
- **Pallier la marge d'erreur trop importante du LiDAR sur le calcul de la hauteur**. Des algorithmes peuvent permettre de corriger les erreurs, ainsi que de compenser l'absence d'information fournie sur l'essence présente, actuellement utilisée par certains gestionnaires de réseaux pour prédire la vitesse de croissance³⁷.
- **La certification des drones grande élancement : s'il n'est pas possible à date, un suivi par drone sur de longues distances permettrait aussi une forte réduction des coûts et du bilan carbone**, ainsi que des passages plus fréquents. En effet, les capteurs et LIDAR sont actuellement embarqués sur des hélicoptères³⁸. L'inspection automatique de liaisons aériennes de plusieurs dizaines de kilomètres suppose l'usage de drones dits « de longue élancement ». Afin de faire voler des aéronefs sans pilote sur de longues distances, avec les risques que cela représente (collisions, chutes), la réglementation impose des exigences très strictes sur le matériel, qu'aucun fabricant ne satisfait actuellement pour obtenir une certification³⁹. RTE a une expertise aéronautique avec son Service des Travaux Hélicoptés et a participé aux travaux d'homologation conduits par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) ; il y a un enjeu à fédérer les opérateurs de réseaux pour travailler avec les acteurs de la filière industrielle du drone civil et la DGAC afin d'accélérer le développement de drones grande élancement répondant à leurs besoins.

Par ailleurs, automatiser l'acquisition et le traitement des données directement dans l'outil de gestion de la végétation permet aussi un gain de temps majeur. Pour planifier leurs coupes, certains gestionnaires de réseaux se basent sur des relevés terrain permettant d'identifier les zones où un risque imminent pour la ligne électrique se pose et de reporter manuellement dans l'outil de gestion de la végétation les hauteurs de cimes. Des tableaux de croissance théorique, définis selon les essences, peuvent aider à établir la date de la prochaine intervention.

Bien que ces logiciels d'information géographique permettent ensuite d'identifier finement les zones forestières traversées ou les arbres isolés pouvant mettre en péril le réseau, ils reposent sur la qualité et la récurrence des données saisies manuellement par les agents, une activité chronophage et comportant des risques d'erreurs.

35. Entretiens avec FNE, RNF, LPO et RTE

36. Source : <https://www.mdpi.com/2419382>

37. Entretiens avec RTE.

38. RTE-Feuille route RD 2021-2024.pdf

39. En 2025, la France a transposé des directives européennes intégrant de nouvelles classifications CE, des exigences plus strictes sur la confidentialité et la sécurité, et de nouvelles possibilités d'utilisation. Pour les drones volant hors vue directe dans des zones éloignées, des systèmes de communication robustes et des dispositifs de sécurité avancés (détection, évitement, géolocalisation...) sont nécessaires ; des autorisations pour chaque mission sont aussi exigées.

4.2 PRÉ-IDENTIFICATION DES ENJEUX ÉCOLOGIQUES DU SITE GRÂCE AUX OUTILS NUMÉRIQUES

Un autre enjeu est de mieux identifier et qualifier les biotopes présents sur chaque site pour adapter la gestion aux enjeux écologiques du site.

Le « potentiel écologique » du site peut être déterminé sur la base de cartographies et données open data fournies par les pouvoirs publics : E.On Suède utilise un logiciel SIG qui agrège les données de différentes cartes sur la couverture des sols (géologie, paysages, pentes, structures, zones inventoriées) ainsi que des données européennes ouvertes d'observations d'espèces, avec une analyse à l'échelle du paysage pour tenir compte des corridors écologiques ; un algorithme de machine learning relie ensuite chaque espèce à des biotopes (ou signale leur absence sur certaines biotopes) puis un score sur l'état de santé de l'écosystème est attribué⁴⁰.

L'exploitation de ces outils pourrait ainsi aider à cartographier les biotopes, suivre et analyser leur évolution et adopter des plans de gestion écologique de la végétation, favorables à la biodiversité.

En France, le projet « planification écologique pour la préservation de la biodiversité d'Occitanie par l'usage de l'intelligence artificielle » (PEP-BIOccIA) vise à produire une cartographie régionale des habitats naturels et semi-naturels terrestres à un maille beaucoup plus fine que les cartographies existantes, soit une résolution de 1/5000^e (celle des plans locaux d'urbanisme intercommunaux - PLUi). Cette échelle est pertinente pour identifier la Trame Verte et Bleue, mieux mettre en œuvre la Stratégie Régionale biodiversité, mieux intégrer les milieux naturels et les continuités écologiques aux documents de planification territoriale ou encore à l'évaluation environnementale des projets. Les objectifs du projet : régler les problèmes d'hétérogénéité des données sur la TVB et les « zones blanches », développer un outil opérationnel pour les acteurs qui mènent des projets de restauration/conservation de la biodiversité, obtenir un gain de temps considérable sur les mises à jour des cartographies grâce à la captation et au traitement automatiques des données, ou encore améliorer le suivi des mesures mises en place.

De telles cartographies en open data pourraient être utilisées par les gestionnaires de réseaux pour croiser leurs emprises avec l'identification des milieux naturels et préidentifier les zones d'intérêt pour adapter le mode de gestion de la végétation.

Le programme de Cartographie nationale des Habitats (CarHab), porté par le Ministère de la transition écologique, ne fournit pas des données à une échelle suffisamment grande pour une cartographie opérationnelle à l'échelle d'une parcelle (1/25000^e) mais il a mis en œuvre les premiers jalons

pour une cartographie nationale des habitats naturels et semi-naturels terrestres. La définition des habitats repose sur le croisement des biotopes (sol, climat local...) avec les physionomies de végétation (densité, développement). Ces informations font appel à des méthodes de modélisation probabilistes : les habitats CarHab décrits sont au départ des potentialités d'habitats, non des présences réelles.

Des données d'apprentissage sont utilisées par des algorithmes de Machine Learning pour ajuster le modèle. En l'occurrence, CarHab mobilise le Random Forest, un algorithme reposant sur des techniques d'arbres décisionnels qui se nourrit de données de végétation existantes, des techniques d'analyses d'images et de la prospection terrain pour vérifier les résultats.

Les cartographies issues de cet outil sont prédictives : des données sont extrapolées à partir du modèle dans les zones non visitées par les experts. Ce caractère prédictif du modèle génère un certain nombre d'incertitudes concernant les biotopes, les physionomies de végétation et, par conséquent, les habitats résultant de leur croisement, rendant la correspondance vis-à-vis de la nomenclature EUNIS (European Nature Information System⁴¹) plus complexe ; cette correspondance est l'un des objectifs du programme CarHab.

Les potentialités de ces différentes solutions apportent simultanément des réponses à de nombreux enjeux pour les gestionnaires de réseaux :

- enjeu de sécurité pour les biens et les personnes (ex : meilleure identification des risques de chute d'arbre en analysant l'état de santé de la végétation sur la base des scans LIDAR),
- enjeux de relations aux parties prenantes en préservant les paysages et en réduisant les « coupes rases »,
- réduction de l'empreinte environnementale et biodiversité du réseau,
- enjeu de ressources humaines (le secteur forestier subit une pénurie de main d'œuvre),
- enjeu financier important – la gestion de la végétation est un poste majeur de dépense de maintenance récurrente pour les lignes aériennes, avec une très forte augmentation en 20 ans notamment due à l'augmentation des exigences des tiers (prise en compte de la biodiversité, des paysages et du risque incendie) et des exigences de sécurité renforcés.

40. Entretien avec Mattias Andolfsson, E.On Suède.

41. Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, 2023, Réponses aux questions posées lors du webinaire « Présentation des données CarHab et lancement d'un AMI ».

5. MODES DE COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES TERRAIN POUR QUALIFIER LA « VALEUR ÉCOLOGIQUE » DES EMPRISES DU RÉSEAU

Un des enjeux pour les gestionnaires de réseaux est de réussir à démontrer de manière robuste et crédible les gains écologiques des mesures mises en œuvre (accroissement de la biodiversité floristique et du nombre de pollinisateurs, nombre d'espèces remarquables, etc.).

Cependant, la mesure et le suivi dans le temps des gains écologiques se heurte à un frein majeur : l'impossibilité de faire réaliser par des écologues des relevés écologiques sur l'ensemble des emprises du réseau aérien, au vu des surfaces très importantes et très morcelées au niveau du foncier (avec une multitude de propriétaires et gestionnaires à contacter).

Il y a donc un enjeu à trouver des alternatives pour systématiser et massifier la collecte de ces données : des gestionnaires de réseaux travaillent d'une part à l'élaboration d'indicateurs simplifiés utilisables par des « non experts » pour effectuer ces relevés, et d'autre part au développement d'outils (application smartphone et traitement automatisé des données) pour collecter et analyser massivement et simplement ces données.

Dans ce cadre, plusieurs gestionnaires de réseaux (RTE, E.ON Suède...) ont entamé des recherches pour concevoir des indicateurs de biodiversité simplifiés pouvant être pris en main par des non experts, avec l'objectif de pouvoir confier ces relevés à leurs équipes de maintenance ou à leurs prestataires pour suivre l'évolution de la biodiversité selon les pratiques de gestion (indicateur « Etat-Pression-Réponse »).

En France, RTE travaille par exemple au développement d'un indicateur simplifié de biodiversité floristique, qui permettrait de qualifier l'état de la biodiversité sur la parcelle concernée en renseignant certaines informations simples à renseigner (ex : nombre d'espèces végétales présentes, diamètre des arbres, nombre de strates de végétation, présence d'espèces exotiques envahissantes, etc.).

Dans le cas d'E.ON Suède, ces remontées terrain peuvent être effectuées via une application mobile et les données ainsi collectées via les questionnaires peuvent ensuite être couplées avec la plateforme de gestion de la végétation du GRD.

Les objectifs sont multiples :

- pouvoir mieux qualifier le « potentiel écologique » des emprises pour prioriser les actions de conservation de la biodiversité,
- donner des recommandations de gestion écologique plus précises et plus pertinentes au prestataire,
- effectuer un suivi des actions pour mesurer les gains écologiques et in fine servir au reporting extrafinancier.

La plateforme Survey and Monitoring System (SAMS) de E.ON Suède est un parfait exemple de ce que de tels outils peuvent apporter aux gestionnaires de réseaux⁴². Grâce à l'imagerie satellitaire, aux données open-source centralisées au sein de la « Swedish Biodiversity Data Infrastructure », et aux remontées de terrain effectuées par l'outil Survey123, SAMS est capable d'évaluer la valeur écologique des biotopes traversés. L'évaluation écologique repose sur trois critères : impact (pression humaine, fragmentation, abandon de gestion), structure (diversité végétale, présence de bois mort, etc.), et espèces (présence d'espèces indicatrices ou invasives). Les sites sont notés de 1 (valeur forte) à 3 (valeur faible). L'outil contribue ainsi à objectiver les décisions de gestion, à assurer un suivi temporel, et à visualiser les priorités sur une interface cartographique, tout en permettant l'application de mesures cohérentes avec la nature des habitats traversés et les priorités définies par les pouvoirs publics. L'outil facilite par ailleurs les échanges d'informations entre le GRD et ses prestataires en leur donnant des recommandations précises de gestion. Il permet enfin d'exporter des données qui serviront au reporting extra-financier de l'entreprise pour valoriser les actions positives pour la biodiversité.

La plateforme SAMS est par ailleurs un outil numérique tout-en-un pour faciliter la gestion des GR : identification des risques (distance de sécurité, chute...), optimisation du planning des interventions, gestion des appels d'offres avec l'émission automatisée de cahiers de charge différenciés en fonction de la végétation et des biotopes⁴³, recommandations pour la « gestion écologique » de la végétation, validation automatisée des coupes réalisées via imagerie satellite, centralisation des informations remontées via les questionnaires remplis par les prestataires sur l'état écologique des sites.

⁴². Entretien avec Mattias Andolfsson, qui a aussi réalisé plusieurs présentations de l'outil au sein de l'association Renewable Grid Initiative.

⁴³. Exemple de précisions dans le cahier des charges : interdiction des machines thermiques dans les zones protégées, interdiction des machines lourdes dans les zones humides et tourbières (pour éviter de déteriorer ces écosystèmes fragiles)

Systématiser la collecte de données écologiques est un enjeu important pour démontrer les gains écologiques des mesures appliquées et la contribution des réseaux électriques aux objectifs nationaux de restauration. **De nombreux travaux de recherche sont par ailleurs en cours pour affiner la compréhension des impacts** et suivre leur évolution en fonction des modes de gestion de la végétation, notamment au sein du programme ITTECOP.

Harmoniser les données sur la biodiversité

Plusieurs initiatives visent à harmoniser les données sur la biodiversité à l'échelle européenne. EKLIPSE, par exemple, a recensé un premier ensemble d'indicateurs et de méthodes d'évaluation recommandés dans la littérature pour mesurer les impacts des Solutions fondées sur la Nature (SfN). De son côté, le Système d'Information Européen sur la Biodiversité (BISE) centralise les données et informations sur la biodiversité dans l'UE, facilitant leur accès pour les chercheurs et les décideurs.

Cependant, au cours des entretiens, ces outils n'ont pas été mentionnés comme des références utilisées par les gestionnaires ou les acteurs de terrain. Le manque de standardisation des protocoles de collectes biologiques entre pays explique en partie leur faible utilisation, ainsi qu'un déficit de communication et valorisation de ces outils.

6. AMÉLIORER LA PRÉVISION DES RISQUES NATURELS À PROXIMITÉ DES OUVRAGES ET DÉPLOYER DES SOLUTIONS D'ADAPTATION FONDÉES SUR LA NATURE POUR LA RÉSILIENCE DES INFRASTRUCTURES ET DU TERRITOIRE

En fonction du traitement des images satellites, on peut obtenir différentes informations (santé et vitalité de la végétation, humidité et profondeur du sol...) qui pourront servir à différents cas d'usage. Par exemple, l'identification de groupes d'arbres à risque de chuter ou de prendre feu en identifiant les essences, la structure du paysage, etc. combiné à la mesure du Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Une valeur seuil traduisant l'augmentation de ces risques peut être recherchée pour le NDVI. Les données nécessaires pour analyser l'état de la végétation peuvent aussi provenir de l'ajout de capteurs multispectraux lors des inspections par hélicoptère.

RTE travaille aussi à une méthode d'estimation de probabilités d'incendie selon la nature du sol et des données météorologiques agrégées appelées FWI (Fire Weather Index). La disponibilité de données spatiales précises (résolution de 100x100m pour la nature du sol) et de projections à court terme comme long terme permet de projeter finement ce risque à différentes échéances et points du territoire.

Le cas d'usage principal envisagé est une meilleure prise en compte de ces risques dans la conception des projets de développement de réseaux (anticiper les risques pour les décennies à venir) mais d'autres cas d'usage peuvent être imaginés, par exemple pour prioriser l'adaptation du réseau existant ou identifier les risques plus immédiats, jusqu'au très court terme, par exemple pour prioriser des coupes de végétation en cas de fort risque de départ de feu (la chaleur peut notamment dilater les câbles qui se rapprochent alors de la végétation, augmentant le risque incendie).

Cette modélisation croise de nombreuses bases de données open data sur la couverture des sols (CORINE LAND COVER), l'historique des incendies en France depuis années 70 (BDIFF) avec le code INSEE du site d'origine du départ de feu, et l'indice météo FWI issu des bases de données COPERNICUS qui fournissent des projections sur plusieurs décennies du risque incendie, etc.

Mieux anticiper les risques climatiques devient une préoccupation majeure pour les gestionnaires de réseaux, mais aussi pour les territoires traversés par ces lignes. Développer ce type de modélisations peut aussi initier une réflexion collective sur la contribution potentielle des gestionnaires de réseaux pour accroître la résilience climatique du territoire.

Ainsi, au Portugal, les gestionnaires de réseaux sont rémunérés pour l'entretien de couloirs pare-feux et accroître la résilience du territoire face aux incendies en supprimant des essences invasives inflammables (type eucalyptus) pour favoriser des espèces locales adaptées (oliviers, arbousiers...).⁴⁴ Ces actions sont considérées comme une mission de service public à part entière et toutes les actions contribuant à la résilience climatique sont classées en CapEx, y compris les actions de replantation.

En France, le plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-3) mentionne explicitement la nécessité d'adapter les réseaux électriques au changement climatique (mesure 31), qu'il s'agisse de l'augmentation des températures et des risques climatiques extrêmes ou de l'adaptation des postes électriques au risque inondation.

Les « solutions d'adaptation fondées sur la nature » (SaFN) sont mises en avant par le PNACC-3, du fait de leurs nombreux co-bénéfices pour la biodiversité, la santé, la qualité de l'eau, etc. Ainsi, pour adapter ses postes électriques au risque inondation, RTE commence par exemple à expérimenter la mise en place de noues végétalisées et plantations qui peuvent exercer un effet tampon efficace pour réguler le cycle de l'eau. Ces solutions sont plus efficaces appliquées à l'échelle d'un bassin versant, mais les premiers résultats de ces expérimentations pourront confirmer leur pertinence à l'échelle d'un site.

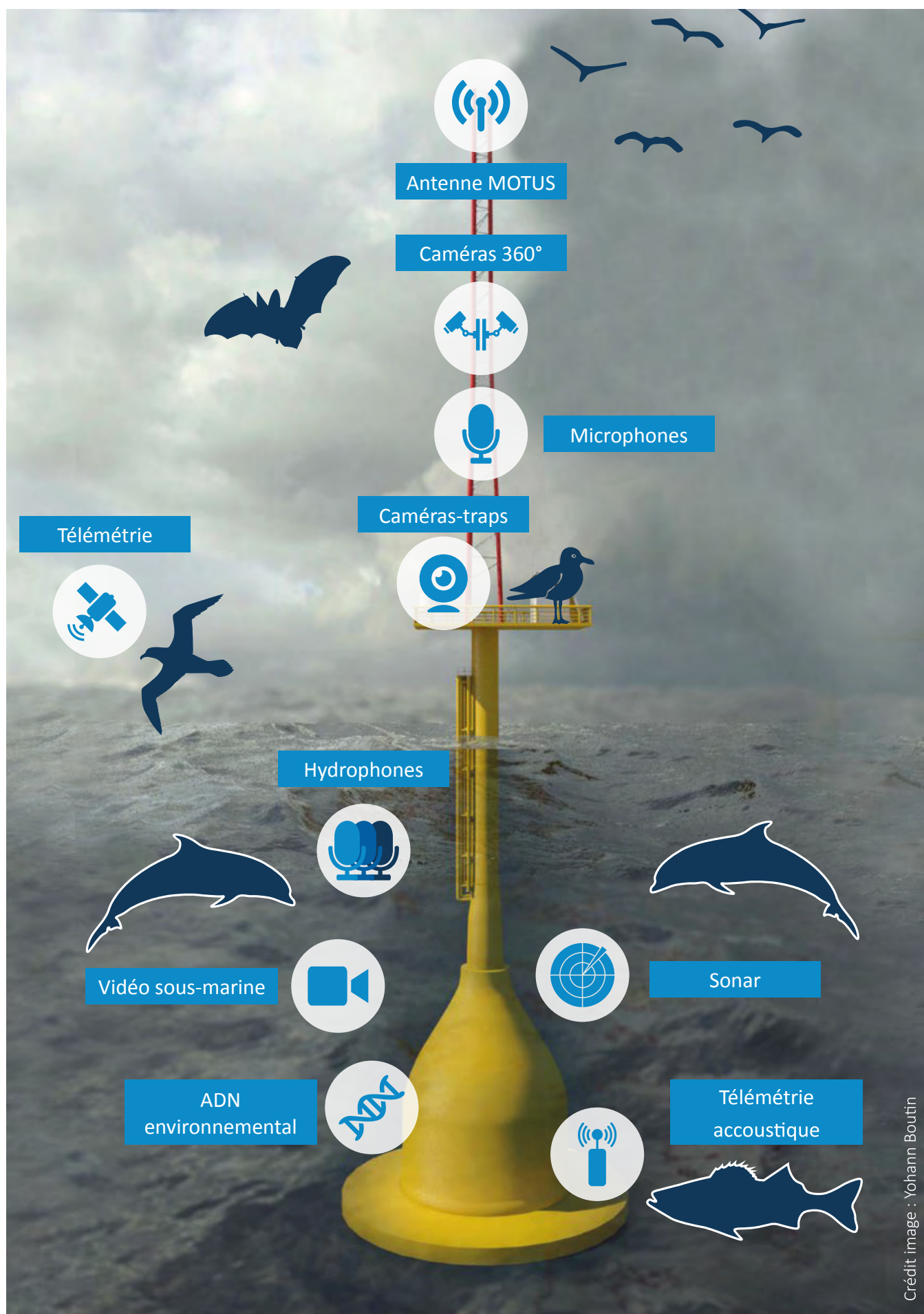
Les SaFN sont aussi source de gains importants pour la collectivité. De nombreuses études révèlent que leur coût est généralement bien plus faible que les solutions dites « grises » (les solutions classiques d'ingénierie) et que les bénéfices tirés des actions de restauration des milieux naturels sont largement supérieurs aux coûts d'investissement initiaux⁴⁵. Bien que l'évaluation de leurs co-bénéfices reste délicate, des méthodes se développent pour tenter d'intégrer à l'analyse coûts-bénéfices les nombreuses externalités positives des SaFN⁴⁶.

Il s'agit maintenant de passer à l'échelle ces solutions vertueuses à la fois pour la résilience du réseau électrique et pour celle des territoires et de la collectivité. En tant que porteurs de missions de service public et gestionnaires d'infrastructures maillant l'ensemble du territoire national, les gestionnaires de réseaux pourraient contribuer au déploiement à large échelle de ces solutions, qui contribuent aux objectifs du PNACC-3.

44. Entretien avec Mattias Andolfsson, qui a aussi réalisé plusieurs présentations de l'outil au sein de l'association Renewable Grid Initiative..

45. Commission européenne, *Restoring nature* - Publications Office of the EU (europa.eu), juin 2022, p.12

46. *Évaluation économique des Solutions d'adaptation fondées sur la Nature* | Office français de la biodiversité



7. EOLIEN OFF-SHORE : UNE ACTIVITÉ NOUVELLE DONT LES IMPACTS SUR LA BIODIVERSITÉ SONT ÉTUDIÉS DE PRÈS PAR LES GESTIONNAIRES DE RÉSEAUX

Il y a un fort enjeu à mieux comprendre, mesurer et réduire les impacts des infrastructures et raccordements en mer. En effet, il s'agit d'une activité nouvelle pour les gestionnaires de réseaux de transport d'électricité et le milieu marin est lui-même moins bien connu, avec une difficulté à évaluer l'impact à long terme de certaines modifications du milieu.

De nombreux projets de recherche dédiés aux interactions des infrastructures électriques avec le milieu marin sont en cours sur les effets du bruit, des champs électro-magnétiques, de la libération de contaminants due aux protections cathodiques, de l'effet récif et des effets des impacts cumulés.

France Énergies Marines a mené 64 projets de recherche depuis 2018, dont plusieurs en partenariat avec RTE. Parmi ceux-ci, **le projet DRACCAR MMERMAID**, débuté en 2023 avec 21 partenaires, étudie la possibilité d'installer sur les postes électriques en mer des **plateformes d'observation de la mégafaune marine**

(oiseaux, mammifères marins, poissons, chauves-souris), testant les différentes technologies d'observation existantes afin de déterminer le matériel qui serait le plus adéquat pour les postes électriques. Des méthodes de suivi innovantes sont mises en œuvre pour évaluer l'impact environnemental des plateformes en mer, en utilisant des technologies de pointe grâce à un mât de mesures au large de Fécamp, équipé de caméras à 360°, d'hydrophones, de sonars, et de matériel pour l'analyse de l'ADN environnemental (ADNe)⁴⁷.

Des rapports de synthèse ont été publiés, notamment ceux de l'Ifremer⁴⁸ et de RGI⁴⁹, afin de regrouper les informations et faire un état de l'art des connaissances et des manquements.

47. Projet disponible à l'adresse : <https://www.france-energies-marines.org/projets/draccar-mmmermaid/>.

48. Carlier, A., Vogel, C., Alemany, J. 2019. Synthèse des connaissances sur les impacts des câbles électriques sous-marins : phases de travaux et d'exploitation. Rapport IFREMER.

49. A REVIEW OF BIODIVERSITY DATA NEEDS AND MONITORING PROTOCOLS for the Offshore Wind Energy Sector in the Baltic Sea and North Sea

CONCLUSION

Concilier transition énergétique et préservation de la biodiversité et des paysages, en allant au-delà des simples exigences réglementaires, devient un enjeu majeur, alors que les attentes de la société civile et des pouvoirs publics se renforcent.

Une vision systémique des enjeux environnementaux sur tout le cycle de vie des ouvrages est nécessaire pour préserver la biodiversité aux abords des lignes électriques et concevoir des réseaux à plus faible empreinte biodiversité.

Par essence, le vivant est un objet complexe à appréhender : une espèce se déplace, interagit avec de nombreuses autres, un écosystème évolue au fil du temps et peut être affecté par de multiples pressions dont il est très difficile d'isoler les impacts.

Pour mieux comprendre et suivre les impacts des réseaux électriques, de nombreuses données hétérogènes et provenant de multiples sources doivent être collectées, avec une certaine récurrence, et analysées.

Les outils numériques peuvent apporter une aide précieuse pour la collecte et le traitement de ces données, ainsi que pour augmenter l'efficacité opérationnelle des gestionnaires de réseaux, un enjeu important pour envisager le passage à l'échelle des actions favorables à la biodiversité.

Démontrer et faire reconnaître les gains écologiques potentiels attribuables aux pratiques les plus vertueuses des gestionnaires de réseaux est aussi un levier essentiel dans cette optique. Pour atteindre les objectifs ambitieux de restauration fixés par les pouvoirs publics et nécessaires à la préservation des « services rendus par la nature », des directives claires doivent être données aux gestionnaires de réseaux publics d'électricité afin d'intégrer pleinement la biodiversité aux projets d'infrastructures électriques, en mobilisant tous les acteurs des territoires.

ANNEXE : LISTE DES PERSONNES INTERVIEWÉES

Associations et ONG environnementales	CDC Biodiversité	Yves Chesnot (chargé de projet pôle expertise) Clarisse Léon (chargé de projet outils de suivi de la biodiversité)
	FRB	Matthias Gaboriau (Chargé de mission « Indicateurs et Synthèses en appui à la décision »)
	LPO	Nicolas Gendre (Responsable de programmes) Ingrid Marchand (Coordinatrice du projet LIFE SafeLines4Birds)
	FNE	Antoine Le Manchec (Chargé de projets)
	RNF	Florent Taberlet (Responsable des programmes)
	Ecofirst	Jean-François Godeau (Research And Development Scientist) Pierrette Nyssen (Expert in nature conservation)
Monde académique et institutionnel	MNHN (Patrinat)	Philippe Gourdain (Responsable scientifique de la cellule « Partenariats biodiversité »)
	Université UPHF (LARSH)	Guillaume Schmitt (Enseignant-chercheur)
	Université Gustave Eiffel	Denis François (Directeur de Recherche)
	INRAE	Claire Etrillard (Ingénieure d'études)
	IGN	Sébastien Mustière (Enseignant-chercheur)

Gestionnaires de réseaux	Enedis	Thierry Bara (Chef de mission Environnement)
	RTE	Lisa Garnier (Pilote de Feuille de route Biodiversité, Programme R&D Environnement Société et Prospective)
	RTE	David Game (Directeur du Programme R&D Environnement Société et Prospective)
	RTE	Melinda Murail (Responsable d'études, Programme R&D Environnement, Société et Prospective)
	RTE	Marie Pulicani (référénte biodiversité, direction concertation et environnement)
	RTE	Claire Fourdan (Référénte avifaune, direction Concertation et Environnement)
	RTE	Olivier Despouys (Responsable d'études R&D développement du réseau)
	RTE	Thomas Brichet (Pilote national végétation, Centre national d'expertise réseaux)
	E.On Suède	Mattias Andolfsson, Chef de projet SAMS (outil IA pour la gestion écologique de la végétation)
Entreprise du numérique	Live EO	Gimena Escariz (Account Executive MENA & Southern Europe)
Associations de gestionnaires de réseaux	RGI	Manon Quetstroey (Manager - Energy & Nature)
	CILB	Jean-François Lesigne (Coordinateur du Club infrastructures linéaires et biodiversité (Cilb))

L'ASSOCIATION THINK SMARTGRIDS

L'association Think Smartgrids fédère un écosystème d'acteurs qui contribuent à la décarbonation des réseaux : les opérateurs de réseaux RTE et Enedis, les principaux industriels et équipementiers français du secteur de l'énergie, de grandes entreprises de services numériques, de nombreuses PME, ETI et startups françaises à la pointe des technologies de l'énergie et du numérique, sans oublier le monde universitaire et de la recherche.

MEMBRES ASSOCIÉS



MEMBRES OBSERVATEURS



MEMBRES PARTENAIRES



Écoles, centres de recherches et laboratoires

