HAL open science

Refuge écologique dans les emprises d'infrastructures linéaires de transport : estimation du potentiel de France métropolitaine

Denis Francois, Léa Medous, Claire Etrillard

▶ **To cite this version:**

Denis Francois, Léa Medous, Claire Etrillard. Refuge écologique dans les emprises d'infrastructures linéaires de transport : estimation du potentiel de France métropolitaine. RTS. Recherche, transports, sécurité, 2022, 2022, 16p. 10.25578/RTS_ISSN1951-6614_2022-03 . hal-03559708

HAL Id: hal-03559708

https://hal.science/hal-03559708v1

Submitted on 8 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Recherche Transports Sécurité

ARTICLE ORIGINAL / *ORIGINAL ARTICLE*

OPEN ACCESS

Refuge écologique dans les emprises d'infrastructures linéaires de transport : estimation du potentiel de France métropolitaine

Ecological shelter in linear transport infrastructure rights-of-way : metropolitan France potential estimate

Denis François, Léa Medous, Claire Etrillard

© Univ Gustave Eiffel 2022

Résumé Depuis quelques années, certaines parties d'emprises des divers types d'infrastructures linéaires de transport (ILT) sont reconnues comme de potentiels abris écologiques pour la flore et l'entomofaune locales. Pour développer une politique éclairée de mise à profit de cette opportunité pour la conservation des espèces et le rétablissement de connectivités écologiques au sein des paysages, il est essentiel de connaître le patrimoine de refuge écologique potentiel (REP) offert par ces emprises à l'échelle nationale. Prenant en compte les principales contraintes d'exploitation des ILT, leurs caractéristiques géométriques et leur environnement, un calcul a été conduit sous système d'information géographique (SIG) pour estimer le développement linéaire et la surfacique de REP en France métropolitaine. Le réseau de REP s'étend sur 88 094 km (39 % associés au réseau de transport d'électricité, 34 % au réseau ferroviaire, 18 % au réseau routier, 9 % au réseau navigable). Sa surface minimale totale est estimée à 2 025 km^2. L'État est dépositaire d'une part très importante du linéaire de REP (46,2 %), en particulier à travers son domaine public ferroviaire (32,0 % du total). La part des collectivités territoriales et sociétés concessionnaires (53,8 %) est associée principalement aux réseaux routier et de transport d'électricité (respectivement 12,0 % et 39,1 % du total) et ouvre les perspectives de mise à profit des REP à l'implication des propriétaires fonciers privés et communaux.

Mots-clefs biodiversité, conservation, système d'information géographique, habitat, gestion, réseau

Abstract For a number of years, parts of the right-of-way (ROW) of several types of linear transport infrastructure (LTI) have been regarded as possible shelter for local flora and entomofauna. For developing a wise general policy to take advantage of this opportunity for the conservation of species and the restoration of ecological connectivity within landscapes, it is fundamental to know the ecological shelter potential (ESP) available within these ROW on a national scale. By considering the primary operating constraints of LTIs, their geometric characteristics and their environment, a calculation was carried out using a geographic information system (GIS) in order to approximate the linear extent and surface area of ESP at the scale of Metropolitan France. The ESP network spans over 88 094 km (39 % associated with power transmission network, 34 % with rail network, 18 % with the road network and 9 % with waterways). Its total minimum surface area amounts to 2 025 km^2. The State holds a very large share of the ESP linear extent (46.2 %), particularly through its public rail domain (32.0 % of the total). The share of local authorities and concession companies (53.8 %) is mainly associated with road and power transmission networks (12.0 % and 39.1 % of the total, respectively) and opens up prospects for the involvement of private and communal landowners for making beneficial use of ESP.

Keywords biodiversity, conservation, geographic information system, habitat, management, network

Denis François (Correspondant principal) (✉)
AME-EASE, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR,
CS 4, 44344 Bouguenais cedex, France.
Courriel : denis.francois@univ-eiffel.fr

Léa Medous (✉)
AME-EASE, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR,
CS 4, 44344 Bouguenais cedex, France.
Courriel : lea.medous@gmail.com

Claire Etrillard (✉)
INRAE – UMR 1302 SMART-LERECO, CS 61103,
35011 Rennes cedex, France
Courriel : claire.etrillard@inrae.fr

Mis en ligne le 08/02/2022
https://doi.org/10.25578/RTS_ISSN1951-6614_2022-03
Cet article est distribué suivant les termes et les conditions de la licence CC-BY-NC-ND 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr

Université Gustave Eiffel

1. Introduction

1.1. Les emprises d'ILT et la sauvegarde de la biodiversité

Depuis quelques années, les emprises des infrastructures linéaires de transport (ILT) telles que routes, voies ferrées, voies navigables et lignes électriques à haute et très haute tension, sont considérées comme de possibles zones de refuge pour la biodiversité, en particulier dans les paysages marqués par des aménagements, des infrastructures et activités humaines ayant conduit à la destruction d'habitats naturels et de corridors écologiques [1, 2, 3]. Offrant la possibilité de rétablir des connexions entre des réservoirs de biodiversité distants (milieux ouverts, zones humides, milieux boisés) et des fragments de corridors écologiques (haies, ripisylves), les emprises d'ILT auraient la capacité d'améliorer le fonctionnement écologique de ces paysages en contribuant à retisser leurs trames vertes et bleues [4, 5].

De façon analogue aux corridors écologiques naturels, les corridors artificiels que constituent les emprises des ILT peuvent présenter cinq fonctions pour les espèces : habitat, conduit, source, barrière et puits [6, 7]. Le rôle joué par un corridor, qu'il soit naturel ou non, est fonction des caractéristiques biologiques des espèces qui l'utilisent, mais aussi de sa structure plus ou moins interconnectée et de sa place dans le paysage [6].

L'intérêt des emprises d'ILT en tant qu'habitat potentiel est particulièrement important pour la flore et l'entomofaune indigènes. Les enjeux sont nombreux, notamment en ce qui concerne la conservation des espèces menacées, la connectivité au sein des paysages (le long des emprises et avec les trames vertes avoisinantes) et la fourniture de services écosystémiques [2, 8, 9, 10, 11, 12].

On peut donc anticiper que mettre en œuvre une gestion appropriée au sein de ces emprises pour développer leurs fonctions d'habitat, de conduit et éventuellement de source dans le but de recoloniser des paysages avoisinants dégradés [6], puisse produire des effets à l'échelle locale immédiate mais aussi à grande échelle. Ceci contribuerait directement à la lutte contre le déclin général d'espèces de la biodiversité dite ordinaire, parmi lesquelles des adventices et des insectes volants [13, 14], mais aussi en aval, d'espèces bénéficiaires parmi les oiseaux [15]. En France, agir de la sorte pourrait s'inscrire notamment dans le cadre de plans nationaux d'actions (PNA) tels que pour la préservation des plantes messicoles et des insectes [16, 17, 18].

1.2. Estimation du patrimoine national de REP

Afin de conduire des actions pertinentes et cohérentes au sein des emprises, et au-delà, développer une politique générale de gestion en faveur de la biodiversité à travers les emprises des différentes ILT, il est essentiel de connaître l'étendue de ces réseaux et les superficies qui peuvent effectivement être mises à profit pour les taxons ciblés, c'est-à-dire de façon réaliste par rapport aux diverses contraintes d'exploitation. Y parvenir nécessite de tenir compte de la structure des emprises et de leur environnement. En effet, la restauration et/ou le développement des fonctionnalités de corridor grâce aux emprises ne peut pas être un objectif pour tous les territoires traversés par des ILT. C'est notamment le cas dans les zones urbaines et industrielles où, en plus de plusieurs perturbations locales, les emprises sont généralement étroites et très fragmentées, voire totalement dépourvues d'espaces verts. Par conséquent, pour constituer un support pour développer une véritable stratégie à l'échelle d'un grand territoire (pays, région), l'estimation du potentiel d'emprises réellement mobilisable ne peut pas être réalisée par une simple extrapolation à partir des longueurs totales d'ILT [19, 20].

Certains opérateurs d'ILT fournissent des chiffres sur la surface totale de leurs emprises [5]. Les estimations toutefois, reposent sur des principes de calcul qui varient d'un opérateur à l'autre et ne sont pas totalement explicites dans la plupart des cas. Certaines estimations comprennent tous les espaces verts, y compris ceux servant à des activités humaines (ex. aires de repos et de services des autoroutes) et d'autres pas. Pour leurs estimations, certains opérateurs appliquent une largeur d'emprise fixe ou variable autour de leurs infrastructures, tandis que d'autres réalisent des compilations à partir de relevés cadastraux. Enfin, tous les opérateurs ne disposent pas d'estimations de leurs surfaces d'emprises et ils ne sont pas tous en mesure d'en réaliser à court terme. De cette situation, il résulte qu'il n'est pas possible de dresser une représentation complète, homogène et claire du patrimoine disponible à l›échelle nationale, mais aussi régionale ou locale.

Une analyse des bases de données cartographiques disponibles sur les réseaux d'ILT et les environnements traversés, combinée à la prise en compte des caractéristiques géométriques des sections transversales des ILT et des règles d'entretien des divers types d'emprises, peut être un moyen d'accès à cette connaissance. Cette approche peut fournir une méthode d'estimation transparente, utilisant des critères homogènes et contrôlables sur l'ensemble du territoire considéré. Elle peut être reproductible à toutes les échelles territoriales, et peut être facilement adoptable et adaptable par les opérateurs d'ILT et les gestionnaires territoriaux dotés d'outils cartographiques.

Suivant cette approche, une méthode a été développée sous système d'information géographique (SIG) pour estimer à l›échelle nationale, la longueur et la superficie des parties d'emprises de diverses ILT qui pourraient être consacrées à la préservation de la flore et à l'entomofaune locales : un espace dénommé ci-après refuge écologique potentiel (REP). Des chiffres fournis par certains opérateurs ont été utilisés comme références pour évaluer

le processus d'estimation par la méthode développée. Ils sont précisés au long du document.

Les bordures extérieures des emprises peuvent présenter des tracés complexes (ex. limites des propriétés voisines, discontinuités topographiques, limites des zones d'écoulement des eaux des voies navigables naturelles). Leur détail n'est pas accessible à travers les bases de données utilisables pour une estimation des surfaces en jeu à l'échelle de la France métropolitaine. La présente étude n'avait donc pas pour ambition d'approcher la valeur du patrimoine total de REP car son estimation trop imprécise, serait sans intérêt tant pour clarifier la situation et aider à la décision, que pour montrer l'apport de la méthode. Dans une perspective plus réaliste et d'utilité plus directe, l'objectif a été de produire une estimation a minima du patrimoine de REP disponible à l'échelle nationale (développement linéaire et surfacique). Cette valeur plancher plus certaine puisque calculée à partir des largeurs minimales d'emprises mobilisables pour constituer des zones de refuge écologique, constitue une base plus fiable pour l'élaboration de politiques et d'actions. Cette approche laisse toute latitude d'affiner ensuite les données à des niveaux inférieurs, en fonction des objectifs et des moyens des acteurs locaux.

La méthode d'estimation est présentée ci-dessous à travers ses principes et outils. Les estimations en résultant sont ensuite détaillées et discutées pour tous les types d'ILT, entre autres à la lumière des quelques chiffres publiés et des acteurs directement concernés par la mise à profit des emprises en tant que REP.

2. Outils et méthode

2.1. Outils cartographiques utilisés

L'outil SIG utilisé pour cette étude est le logiciel QGIS 3.4.

La base de données cartographiques utilisée pour les réseaux d'ILT est BD TOPO®[1] [21]. Pour les réseaux routiers, ferrés et de lignes électriques, les données ont été extraites des fichiers « Réseau routier », « Voies ferrées » et « Transport d'énergie » (version 2.2, janvier 2019), et pour ceux des voies navigables, du fichier « Hydrographie » (version 3.0, avril 2019) qui a permis de vérifier la navigabilité effective des segments. La consultation de la base de données de Voies Navigables de France (VNF) a permis de connaître exactement l'étendue du domaine public fluvial. Des chiffres d'inventaires récents des longueurs totales de réseaux de transport [5, 19, 20] ont servi à s'assurer de la fiabilité de la méthode d'identification cartographique en vue des calculs ultérieurs (éviter les doubles comptes et les omissions de segments).

La base de données BD Forêt® version 2[2] [22] a été utilisée pour identifier les massifs forestiers[3]. La base de données Corine Land Cover, dénommée ci-après CLC 2012[4] [23], a servi à identifier les zones urbaines et industrielles.

2.2. Délimitation des zones urbaines et industrielles

Dans la base CLC 2012, les objets « Réseau routier et ferroviaire et espaces associés » et « Rivières et voies navigables » traversent généralement le tissu urbain et industriel sans être inclus dans les polygones des zones urbaines et industrielles. Pour définir les limites des zones urbaines et industrielles et en extraire les réseaux de transport les traversant, les objets de la base de données « Tissu urbain continu », « Tissu urbain discontinu », « Zones industrielles ou commerciales et installations publiques » et « Zones portuaires » ont été assemblés, puis une bande périphérique de 200 m de large a été appliquée autour des polygones en résultant. Cette bande de terrain permet d'inclure les réseaux dans les zones urbaines et industrielles traversées. Sa taille a été ajustée à la largeur minimale couvrant les emprises des différents types d'ILT dans de grandes agglomérations (à partir de tests effectués sur les zones de Paris, Bordeaux et Nantes).

2.3. Largeurs d'emprises des différentes ILT

2.3.1 Largeurs d'emprises du réseau de transport d'électricité

Deux types de lignes de transport d'électricité sont considérés dans le calcul, les lignes à haute tension (63 à 90 kV – nommées lignes HT) et les lignes à très haute tension (225 à 400 kV – nommées lignes THT). Lorsque les lignes de transport d'électricité traversent des milieux ouverts, naturels ou cultivés, hormis la surface des pieds de pylônes, rien ne modifie l'occupation ou l'usage du sol. Lorsque ces lignes traversent des milieux boisés, sous les câbles la végétation doit être maintenue basse : une tranchée forestière est créée. L'emprise des lignes de transport d'électricité ne prend une dimension physique que lorsque les lignes traversent des zones boisées (Figure 1). Pour l'estimation du potentiel de refuge écologique, le réseau de transport d'électricité est pris en compte là où il traverse des forêts, et la largeur potentiellement disponible comme REP est la largeur totale de l'emprise.

1. Pourvoyeur : Institut Géographique National ; échelle de conception : 1/25 000.
2. Pourvoyeur : IGN ; échelle de conception : 1/25 000 ; version de novembre 2018.
3. Elle décrit les formations végétales à partir de la densité de couvert et de ses espèces dominantes pour les éléments de plus de 0,5 hectare et d'au moins 20 m de large.
4. Pourvoyeur : Agence Européenne de l'Environnement ; échelle de conception : 1/100 000 ; version exploitée : 2012.

En raison des nécessités techniques et de sécurité, la largeur type des emprises de lignes HT lorsqu'elles traversent une zone boisée est de 24 m, alors que pour les lignes THT elle est portée à 50 m [5, 24, 25]. Ces dimensions ont été vérifiées sur des photos aériennes dans la base de données Géoportail[5] et de Google Earth[6] dans diverses forêts des Ardennes, du Limousin et des Landes.

Figure 1. Ligne électrique THT en tranchée forestière, aménagée en verger pour la faune sauvage (49.8787 N, 4.6800 E).

2.3.2 Largeurs d'emprises du réseau navigable

Deux types de voies navigables ont été pris en compte dans l'estimation : les canaux de navigation (voies navigables artificielles) et les rivières navigables (voies navigables naturelles). Les règles pour fixer la limite extérieure des emprises des voies navigables sont établies par le Droit [26] : selon la géomorphologie locale, elles peuvent s'établir plus ou moins loin des berges observées en conditions courantes d'écoulement (zone de débordement établie selon la règle ancienne du *plenissimum flumen*). Pour l'objectif de l'estimation, une étude des limites d'emprises de l'ensemble des voies navigables de France n'était pas nécessaire (cf. § 1.2). Afin d'estimer la valeur minimale de REP, ont été prises en compte les deux bandes de terrain réservées de part et d'autres des voies navigables à des fins techniques et de sécurité. La plus large (9,75 m) répond à la servitude de halage (Figure 2), la seconde (3,25 m) à la servitude de passage dite « servitude de marchepied » (autrefois désignée sous le nom de servitude de « contre-halage »). Pour les voies navigables, la largeur minimale légale d'emprise de 13 m a été adoptée pour le calcul.

Figure 2. Canal de navigation : limite d'emprise et chemin de halage au premier plan (50.9400 N, 2.2622 E).

2.3.3 Largeurs d'emprises du réseau ferroviaire

Types d'infrastructures ferroviaires considérés

Quatre types de voies ferrées ont été pris en compte dans l'estimation : les lignes à grande vitesse (LGV), les lignes principales, les voies de service, et les voies non exploitées.

Dans la base de données BD TOPO®, les LGV sont définies comme réservées aux trains à grande vitesse. Les lignes principales sont toutes les autres lignes en exploitation assurant un service régulier ou saisonnier pour le transport de voyageurs ou de marchandises. La base de données ne répertorie que les voies de service de plus de 200 m de long et la définition exclue les voies s'inscrivant dans un faisceau de voies de plus de 25 m de large (correspondant à des aires de triage) et les voies souterraines. Concernant les voies non exploitées (c'est-à-dire déclassifiées et fermées à tout type de trafic), la base de données ne considère que celles de plus de 200 m de long et elle exclut les parties souterraines.

Toutes les voies ferrées exploitées sont bordées de « bandes de proximité » dans lesquelles, pour des raisons techniques et de sécurité, un contrôle strict du développement végétal est opéré tout au long de l'année, par tonte voire même désherbage chimique [5]. Ces bandes de terrain sont de 4 m de large de chaque côté des voies des LGV, et de 3 m le long des voies du réseau principal et des voies de service.

Afin de faciliter le maintien de la grande vitesse, le profil longitudinal des LGV doit être le plus plat possible : le relief naturel peut donc être fortement modifié par des travaux de terrassement. Par rapport aux lignes du réseau principal ceci conduit à de plus hauts remblais et de plus profonds déblais pour traverser le paysage. Ainsi, tout au long des LGV, la largeur des emprises varie en suivant les modifications du relief naturel : maximale en haut des déblais et en bas des remblais, minimale à l'intersection avec la topographie naturelle.

5. www.geoportail.gouv.fr
6. www.google.fr/earth

Estimations des largeurs moyennes des emprises ferroviaires - Influence de la topographie

En France, le profil en long des LGV coïncide rarement avec le relief naturel. Pour les besoins de l'estimation, une largeur de référence moyenne pour l'emprise des LGV a été recherchée. Afin d›estimer une valeur réaliste, des études antérieures sur la géométrie et les pentes des terrassements ferroviaires [27, 28] ont été combinées à l'observation de photos aériennes d'emprises de LGV (Géoportail et Google Earth), dans des paysages légèrement vallonnés. Il résulte qu'en zone plate, la largeur latérale[7] minimale pour les LGV peut être considérée de 17 m. Pour les zones légèrement vallonnées, la largeur latérale moyenne est de 41 m[8]. Les lignes principales et les voies de service (et a fortiori les anciennes lignes non exploitées) ne nécessitent pas de tels terrassements. À partir des mêmes références techniques [27, 28] et l'observation de photos aériennes (Géoportail et Google Earth), leur largeur latérale moyenne a été estimée à 15 m.

Par conséquent, pour les LGV (Figure 3), selon la topographie, la largeur moyenne d'emprise potentiellement disponible comme abri écologique est de 9 m au minimum, en zone plate[9], et de 33 m pour un paysage légèrement vallonné[10]. Pour les lignes principales et les voies de service, la valeur est de 9 m[11]. Elle reste de 15 m pour les voies non exploitées.

Figure 3. Emprise de LGV : passage en remblai dans un paysage de collines (47.3370 N, 6.0075 E).

2.3.4 Largeurs d'emprises des infrastructures routières

Types d'infrastructures routières considérés

Trois types d'infrastructures routières de la base de données BD TOPO®, ont été pris en compte dans l'évaluation en vertu de leurs caractéristiques géométriques[12] : le réseau autoroutier, le réseau de « quasi-autoroutes » et le réseau de routes à deux chaussées.

Les autoroutes y sont définies comme des routes sans croisement, accessibles seulement en des points aménagés à cet effet et réservées aux véhicules à propulsion mécanique. Les quasi-autoroutes sont des routes à chaussées séparées par un terre-plein central et qui ne possèdent pas de croisement à niveau avec le reste du réseau routier[13]. Dans les routes à deux chaussées, ces dernières sont séparées par un obstacle physique, éventuellement ouvert aux carrefours : elles possèdent donc des croisements à niveau.

Comme les voies ferrées, pour des raisons techniques et de sécurité, les routes sont bordées d'une bande de terrain dans laquelle la végétation est maintenue basse tout au long de l'année [5]. La largeur de cette bande de proximité (Figure 4) peut varier d'un gestionnaire à l'autre mais pour le réseau routier principal (autoroutes, quasi-autoroutes et routes à deux chaussées), elle est au minimum est de 4 m [29].

Figure 4. Route à deux chaussées : bande de proximité récemment tondue (46.1915 N, 3.8897 E).

Comme les LGV, pour maintenir la haute vitesse, le profil en long des autoroutes nécessite des modifications de la topographie naturelle. Les autoroutes supportent cependant des pentes plus raides que les LGV (6 % contre 3,5 % [27]). Ceci induit des remblais et déblais relativement moins importants, donc des emprises plus étroites dans les paysages vallonnés.

7. Toutes les valeurs de largeurs latérales indiquées ci-après, pour les infrastructures ferroviaires et routières, concernent l'étendue de terrain située entre le bord des plates-formes de circulation des véhicules et les limites extérieures des emprises. Elles sont données pour l'ensemble des deux côtés. Les éventuels terre-pleins centraux en sont exclus.
8. Largeur latérale de 41 m résultant de : variations verticales du profil en long : z = ±6 m ; pente transversale des terrassements (y/z) : 2/1 ; + largeur (y) des 17 m précédents.
9. Largeur latérale de 17 m, moins 8 m de bandes de proximité.
10. Largeur latérale de 41 m, moins 8 m de bandes de proximité.
11. Largeur latérale de 15 m, moins 6 m de bandes de proximité.
12. Typologie indépendante de celle du Code général de la propriété des personnes publiques (art. L2111-14) pour le domaine public routier (DPR).
13. Elles présentent les mêmes caractéristiques techniques et géométriques que les autoroutes mais ne sont pas classées comme telles sur le plan juridique, le classement comme autoroutes étant prononcé par décret du Conseil d'État.

Estimations des largeurs moyennes des emprises routières - Influence de la topographie

Afin d'estimer une largeur d'emprise moyenne réaliste pour les autoroutes et quasi-autoroutes en France, des études sur la géométrie de ces infrastructures [27, 28] ont été combinées à des mesures sur photos aériennes dans des paysages légèrement vallonnés (Géoportail et Google Earth). Il en résulte une largeur d'emprise minimale de 8 m lorsque le profil en long coïncide avec le terrain naturel, et une largeur moyenne de 24 m en paysage légèrement vallonné[14].

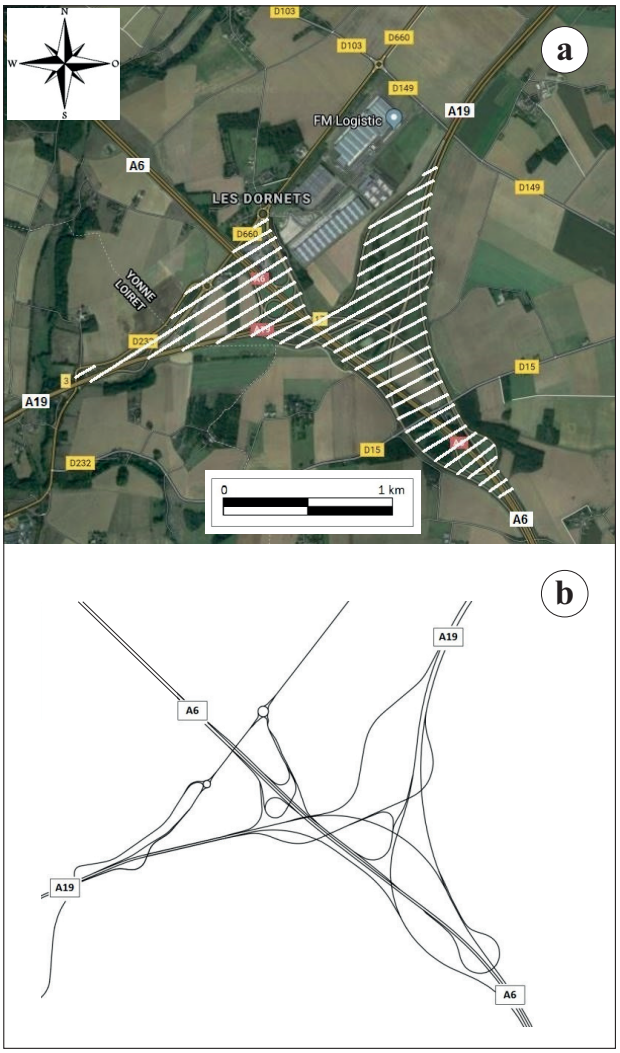
Pour estimer une largeur moyenne d'emprise pour les routes à deux chaussées, des mesures sur photos aériennes ont aussi été utilisées (Géoportail et Google Earth) sur 44 sections routières de ce type (routes nationales et départementales) distribuées à travers la France[15]. Ceci conduit à une largeur minimum moyenne de 10 m. Considérant les variations de largeur de ces sections (souvent de plus de 20 m et pouvant atteindre 25 m) et la largeur moyenne pour les infrastructures observées (de 9 à 19 m), une valeur de 16 m a été retenue comme largeur latérale moyenne pour les routes à deux chaussées.

Il apparaît donc finalement que pour les (quasi-) autoroutes, la largeur moyenne d'emprise potentiellement disponible en tant que refuge écologique (REP) est nulle dans le cas théorique de topographie plate (les 8 m sont ceux de la bande de proximité), et de 16 m dans le cas du relief courant légèrement vallonné[16]. Pour les routes à deux chaussées, les largeurs de REP correspondantes sont respectivement de 2 m[17] et 8 m[18].

Terre-pleins centraux et échangeurs

Créer à l'endroit des terre-pleins centraux un habitat ou une zone de ressource alimentaire pour les insectes volants tels que les abeilles, papillons, libellules serait une initiative contre-productive du fait de la mortalité accrue par le besoin de traverser la chaussée [29, 30]. C'est pourquoi ces parties d'emprises ne sont pas prises en compte comme refuge écologique potentiel. À cause de ce même risque d'accroissement de collisions, les surfaces de dépendances vertes situées à l'intérieur des bretelles d'échangeurs routiers ne sont pas prises en compte dans l'estimation du patrimoine de REP. Pour les calculs, le développement kilométrique important des échangeurs a été discriminé de la longueur totale des sections courantes des infrastructures routières grâce à l'entité « Bretelle » de la base de données BD TOPO®. La figure 5 illustre l'importance du linéaire de bretelles d'un échangeur autoroutier et des surfaces de dépendances vertes incluses.

Figure 5. Échangeur autoroutier A6-A19 (48.0557 N, 3.0994 E) : a) Surface couverte par le système d'échangeur (zone hachurée) ; b) Développement kilométrique de bretelles (modèle QGIS du système).



La figure 6 présente de façon schématique la localisation et l'extension des parties d'emprises considérées dans l'estimation des surfaces de REP pour chaque type d'ILT. Pour les infrastructures routières, les largeurs latérales font partie des « dépendances vertes », définies comme les surfaces végétalisées adjacentes aux routes [31] et plus particulièrement de la « zone lointaine » au sein de ces dépendances [29]. Enfin, la figure 7 résume de façon synthétique l'ensemble des étapes de calcul des différentes surfaces de REP prises en compte.

14. Largeur latérale de 24 m résultant de : variations verticales du profil en long : z = ±4 m ; pente transversale des terrassements (y/z) : 2/1 ; + largeur (y) des 8 m précédents.
15. Mesures effectuées sur sept infrastructures : N4 aux environs de Vitry-le-François (Marne), N12 aux environs de Dreux (Eure-et-Loir), N42 aux environs de Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais), N154 aux environs d'Évreux (Eure), CD83 aux environs de Colmar (Haut-Rhin), CD775 aux environs de Segré (Maine-et-Loire), CD824 aux environs de Dax (Landes).
16. Largeur moyenne de 24 m, moins les bandes de proximité (2 x 4 m).
17. Largeur minimum moyenne de 10 m, moins les bandes de proximité (2 x 4 m).
18. Largeur moyenne de 16 m, moins les bandes de proximité (2 x 4 m).

Figure 6. Sections transversales des emprises de : a) Lignes de transport d'électricité ; b) Voies navigables (cas des canaux de navigation) ; c) Infrastructures ferroviaires et routières. Tirets : limite latérale de l'emprise ; Ligne marron : surface du sol ; Flèches vertes : extension (y) des parties d'emprises considérées dans l'estimation des surfaces de REP ; P : pylône ; B : boisement ; CN : canal de navigation ; S1 et S2 : servitudes de marchepied et de halage des voies navigables ; PF : plate-forme ferroviaire ou routière ; BP : bande de proximité ; ZL : zone lointaine.

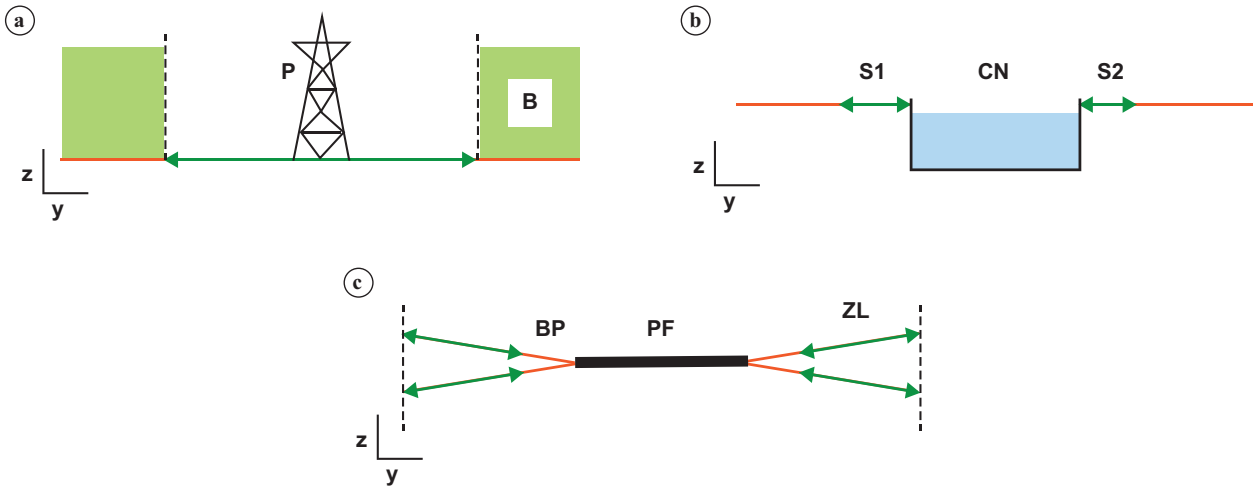
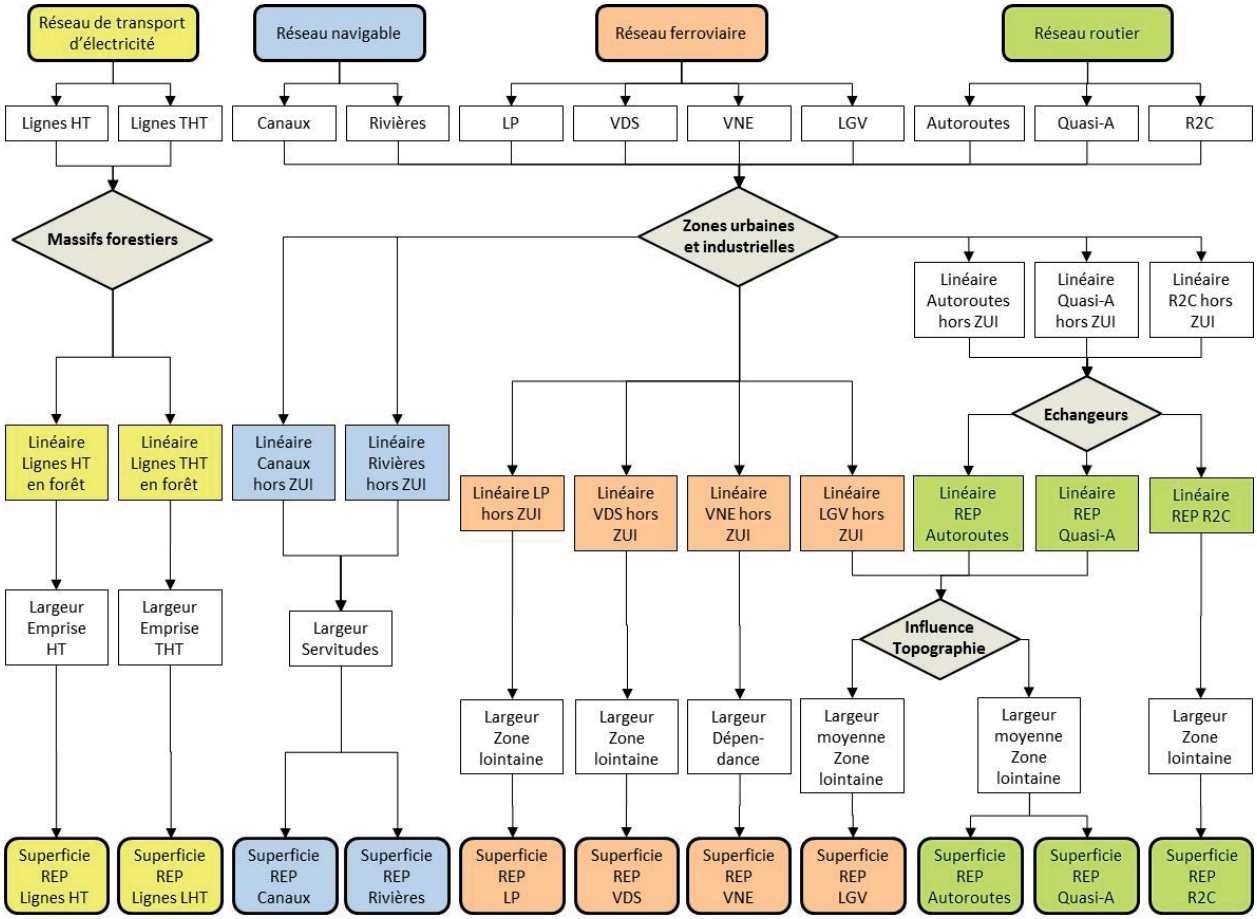


Figure 7. Logigramme de calculs des différentes surfaces de REP prises en compte. LP : lignes principales ; VDS : voies de service ; VNE : voies non exploitées ; Quasi-A : quasi-autoroutes ; R2C : routes à deux chaussées. Massifs forestiers : sélection des lignes HT et LHT traversant des forêts. Zones urbaines et industrielles (ZUI) : sélection des réseaux hors ZUI. Échangeurs : extraction des linéaires d'échangeurs routiers. Influence Topographie : estimation de largeurs latérales moyennes dues aux terrassements.



3. Résultats et discussion

3.1. Extension du linéaire de refuge écologique potentiel

L'extension linéaire de la trame de refuge écologique potentiel, calculée pour les différents types d'ILT est détaillée dans le tableau 1. Le total s'élève à 88 094 km de REP.

3.1.1 Linéaire de REP associé au réseau de transport d'électricité

Avec un total de 33 999 km, la plus grande longueur de REP se développe le long du réseau de transport d'électricité. Ceci représente le tiers de la longueur totale du réseau de transport d'électricité à haute et très-haute tension[19]. La part plus importante des lignes THT (20 652 km) par rapport aux lignes HT (13 347 km) tient au fait que les secondes sont d'une façon générale plus proches des zones de distribution, plus anthropisées et donc moins propices à la présence de vastes zones boisées. La longueur totale de lignes THT étant de 52 000 km, on peut d'ailleurs constater que 40 % sont situés en forêt, alors que pour les 53 500 km de lignes HT, seuls 25 % le sont.

Tableau 1. Caractéristiques du potentiel de refuge écologique des divers types d'ILT en France métropolitaine.

Type d'ILT	Sous-type	Linéaire (km)	Part du linéaire de REP (%)	Partie d'emprise concernée [a]	Largeur (m)	Superficie (km^2)
Lignes électriques	Haute-tension	13 347	15,2	Largeur entière	24	320
	Très haute tension	20 652	23,4	Largeur entière	50	1 033
Voies navigables	Canaux	3 603	4,1	S1 + S2	13	47
	Rivières	3 991	4,5	S1 + S2	13	52
Voies ferrées	LGV	1 839	2,1	ZL	33	61
	Lignes principales	24 035	27,3	ZL	9	216
	Voies de service	1 430	1,6	ZL	9	13
	Voies non exploitées	2 868	3,3	BP + ZL	15	43
Routes	Autoroutes	10 276	11,7	ZL	16	164
	Quasi-autoroutes	3 481	4,0	ZL	16	56
	Routes à deux chaussées	2 572	2,9	ZL	8	21

[a] cf. Figure 6.

3.1.2 Linéaire de REP associé au réseau navigable

Le développement linéaire total de REP le long des voies navigables est de 7 594 km, presque également réparti entre les canaux de navigation (47 %) et les rivières navigables (53 %). Pour les canaux, l'essentiel de la longueur (3 175 km) fait partie du réseau géré par l'opérateur public (l'établissement public VNF), notamment pour le transport de fret, le reste (428 km) étant géré par diverses collectivités territoriales ou leurs groupements et utilisé principalement pour la navigation de plaisance. Concernant les rivières navigables, la répartition entre l'opérateur public et les opérateurs locaux est plus équilibrée : 2 087 km et 1 904 km respectivement. Il ressort que plus de 80 % (5 262 km) du réseau géré par VNF[20] offre du linéaire de REP. Concernant les voies de navigation non gérées par l'État, sur les 2 707 km de réseau total qu'elles constituent[21], plus de 85 % (2 332 km) présente du linéaire de REP.

3.1.3 Linéaire de REP associé au réseau ferroviaire

Le réseau ferroviaire fournit la deuxième plus grande extension linéaire de REP (30 172 km au total). Les LGV ne représentent que 6 % du total, la majeure partie (79 %) étant associée au réseau ferroviaire principal[22].

19. 105 500 km selon les calculs réalisés à partir de BD TOPO® V2.2 (52 000 km pour les lignes à très haute tension, 53 500 km pour les lignes à haute tension), peu différent (5,5 %) du chiffre de 100 000 km indiqué en 2015 *in* [5].
20. Afin de contrôler la fiabilité de la méthode de reconnaissance des tronçons, la longueur totale du réseau navigable confié à l'établissement public a été estimée avec BD TOPO® : le résultat (6 480 km) ne diffère que de 3 % avec le chiffre de 6 700 km indiqué par VNF en 2015 *in* [5].
21. Calculé en consultant BD TOPO® et des cartes spécifiques de ces réseaux.
22. Comparé au chiffre fourni par l'opérateur national (SNCF) en 2015 pour toutes ses lignes en service (29 273 km *in* [5]), l'estimation réalisée à partir de BD TOPO® pour l'ensemble LGV + lignes principales (30 814 km, incluant les zones urbaines et industrielles) ne diffère que de 5 %. De fait, sur la période 2015-2019 le réseau LGV s'est accru d'un peu plus de 2 000 km (2 141 km selon les calculs effectués à partir de BD TOPO® ; 2 024 km *in* [5]) et par ailleurs des tronçons de lignes principales peuvent avoir été fermés.

Les voies non exploitées représentent près de 10 % du total et les voies de service moins de 5 %. Les LGV ayant pour vocation de relier des conurbations éloignées, il est logique que plus de 85 % du linéaire de ce réseau (1 839 km) offre du linéaire de REP. Le ratio est similaire pour le réseau très ramifié des lignes principales (24 035 km). Les voies de service sont principalement situées à proximité des centres d'activité, dans les zones urbaines et industrielles : par conséquent, seul 18 % de leur linéaire total[23] présente du linéaire de REP.

Une part importante (59 %) du réseau total de voies non exploitées[24] présente du linéaire de REP. Cette fraction du réseau non exploité correspond typiquement à des sections situées en zone rurale. Les voies ferrées hors service permettent le développement de haies larges, servant d'habitat et de corridor pour la flore et la faune locales [32]. Comme le reste du réseau ferré, tant qu'elles ne sont pas déclassées[25], les voies non exploitées restent sous la responsabilité de l'opérateur national (l'établissement public SNCF[26]).

3.1.4 Linéaire de REP associé au réseau routier

Concernant le réseau routier, le linéaire total de REP (16 329 km) est principalement fourni par les autoroutes (63 %). Pour ces dernières, l'essentiel du linéaire concerné (78 %) est géré par des sociétés concessionnaires (8 088 km), les 22 % restant (2 188 km) étant gérés par l'État. Les quasi-autoroutes peuvent être gérées par diverses autorités publiques, État et collectivités locales. Indépendamment de la question du classement (autoroute ou quasi-autoroute) et du statut des gestionnaires (privés ou publics), le linéaire total déployé par les infrastructures de type autoroutier atteint 13 757 km, soit 84 % du potentiel total de refuge écologique le long du réseau routier. Les routes à deux chaussées (16 % du linéaire total) sont gérées par des opérateurs publics (État ou collectivités territoriales).

Le réseau autoroutier étant en particulier destiné aux échanges interurbains à longue distance, il est logique que 90 % de son linéaire total[27] présente un potentiel de refuge écologique dans les vastes zones interurbaines traversées. Ce ratio est élevé également pour les quasi-autoroutes (plus de 75 %), mais il montre néanmoins que pour ce type de route[28] une fraction plus importante est située dans des agglomérations. Pour les routes à deux chaussées, la fraction du linéaire total[29] offrant un potentiel de refuge écologique est de 46 % : cela reflète qu'une fraction encore plus importante de ce type de route est située dans des agglomérations.

3.2. Superficie de refuge écologique potentiel

3.2.1 Superficie de REP associée au réseau de transport d'électricité

La superficie des emprises sous les lignes électriques HT en milieu forestier est de 320 km^2 (Tableau 1). La superficie pour les emprises de lignes THT, plus larges et plus étendues, est beaucoup plus importante : 1 033 km^2. L'ensemble représente le tiers des 4 000 km^2 [5] de surfaces totales d'emprises gérées par l'opérateur national (le concessionnaire RTE). Les emprises des lignes électriques appartiennent aux propriétaires fonciers (forêts domaniales, communales ou privées) et en règle générale, l'opérateur se substitue à ces derniers pour l'entretien de la végétation. Il détermine les techniques d'entretien et les coupes nécessaires pour assurer la sécurité des lignes, mais la végétation coupée reste la propriété du propriétaire foncier [33].

Le gyrobroyage est la pratique la plus répandue aujourd'hui, avec un passage tous les 3 à 5 ans, qui bénéficie généralement à la colonisation par les fougères, au détriment de la diversité floristique [24]. D'autres techniques d'entretien sont possibles, orientées par exemple vers le pâturage, la prairie de fauche, les vergers conservatoires ou la restauration d'habitat naturel, et sont généralement mises en œuvre dans le cadre de partenariats locaux avec l'opérateur [34, 35]. Des études conduites dans des emprises forestières de lignes électriques aux États-Unis, en Suède et en France, ont révélé leur potentiel pour abriter des communautés diversifiées d'abeilles sauvages et de papillons (y compris des espèces rares, voire réputées disparues dans la région) et pour maintenir la connectivité au sein du paysage pour ces insectes [10, 24, 36, 37, 38].

3.2.2 Superficie de REP associée au réseau navigable

Les superficies de REP associées aux servitudes des canaux et rivières navigables sont respectivement de 47 km^2 et 52 km^2. Ces surfaces sont toutes deux partagées entre le domaine public fluvial sous la responsabilité de l'État et le domaine transféré à des collectivités territoriales et leurs groupements. Les 68 km^2 sous la responsabilité de l'État se répartissent entre 41 km^2 au bord des canaux de navigation et 27 km^2 au bord des rivières navigables. Concernant le domaine transféré, 25 km^2 de REP sont associés aux rivières navigables et seulement 6 km^2 aux canaux de navigation.

23. Longueur totale de 8 095 km calculée à partir de BD TOPO®.
24. Longueur totale de 4 857 km calculée à partir de BD TOPO®.
25. Le déclassement est une procédure rare et longue qui se fait généralement en cas de demande d'un acquéreur potentiel pour un projet précis et lorsqu'il est absolument certain que la voie concernée n'aura plus de vocation de transport ferroviaire ou autre (ex. vélo-route, voie verte).
26. Devenu une société anonyme le 1er janvier 2020.
27. Longueur totale de 11 432 km calculée à partir de BD TOPO®.
28. Longueur totale de 4 597 km calculée à partir de BD TOPO®.
29. Longueur totale de 5 561 km calculée à partir de BD TOPO®.

La technique d'entretien de la végétation la plus répandue dans les servitudes et dans les bordures extérieures est le gyrobroyage, au moins une fois par an[30]. L'usage courant est de laisser l'herbe coupée se décomposer sur place. Par endroits toutefois, du pâturage (ovin, bovin) est pratiqué grâce à des partenariats avec des bergers et fermiers [35]. Au bord des canaux de navigation, les berges peuvent être aménagées pour créer de l'habitat aquatique [39].

La surface de 99 km^2 est la valeur minimale du potentiel de refuge écologique le long du réseau navigable. Pour les rivières navigables, selon l'endroit, une bande de terrain plus ou moins large peut s'étendre entre le chemin de halage et la rive. Cet espace dont la largeur varie au cours de l'année avec le niveau de la rivière, peut être utilisée pour le pâturage du bétail [35]. Pour les canaux de navigation aussi la largeur de l'emprise peut s'étendre vers les côtés à plus ou moins grande distance du chemin de halage. L'opérateur national indique que la totalité du patrimoine qui lui est confié par l'État s'élève à environ 400 km^2 [5], ce qui comprend non seulement les surfaces totales des servitudes[31] et les largeurs d'emprise supplémentaires susmentionnées, mais aussi des zones annexes telles que les nombreuses anciennes zones de dépôt de sédiments de dragage, dont certaines ont été reconquises par la nature [39].

3.2.3 Superficie de REP associée au réseau ferroviaire

En considérant la section transversale moyenne des LGV à travers les paysages légèrement vallonnés, la superficie de REP atteint 61 km^2. Pour les lignes principales, en raison de la grande ramification du réseau à travers les zones interurbaines, la superficie de REP s'élève à 216 km^2. Avec la même largeur de section transversale, le réseau des voies de service offre 13 km^2 de REP. Les voies non exploitées et leurs emprises ne sont plus soumises à entretien : elles offrent 43 km^2 de REP.

La surface totale de REP associée au réseau ferroviaire (333 km^2) est très inférieure à la superficie indiquée par l'opérateur national (SNCF) en 2020 pour l'ensemble de ses dépendances vertes (600 km^2 *in* [40]). L'addition des bandes de proximité de l'ensemble des lignes interurbaines prises en compte dans la présente estimation (6 m ou 8 m selon le type de ligne) fait augmenter la superficie des emprises à 500 km^2. L'écart entre ce chiffre et les 600 km^2 peut être comblé par les emprises situées en agglomérations[32] ainsi que par les emprises beaucoup plus larges que la moyenne minimale considérée dans la présente estimation, lorsque les LGV traversent des paysages de collines avec de grands déblais et remblais.

Dans les emprises ferroviaires, le mode d'entretien de la « zone lointaine » des dépendances vertes permet la présence d'une végétation mixte, herbacée et ligneuse. Cependant, pour des raisons de sécurité (risques de chute de bois et de feuilles sur les voies, de déstabilisation des talus par les arbres) une attention particulière est portée au contrôle de la végétation arbustive et arborée [40]. La végétation ligneuse est généralement entretenue par débroussaillage mécanique tous les 3 à 5 ans. Le contrôle exercé est plus strict le long des LGV et conduit à des dépendances vertes plus herbageuses que sur le reste du réseau ferroviaire. Comme pour les autres ILT, des expériences de pâturage ovin sont aujourd'hui menées dans des emprises ferroviaires.

En général, les voies non exploitées sont laissées à la recolonisation progressive par la végétation spontanée : ceci permet la réapparition de haies dans le paysage. Avec le temps, les dépendances vertes originelles sont occupées par des arbres tandis que la zone centrale des voies, dont le ballast offre un substrat plus difficile (rocheux, macroporeux, sec) est occupé par des arbustes et arbrisseaux. Ces haies larges peuvent constituer un abri et une ressource pour la flore et la faune locales [32].

3.2.4 Superficie de REP associée au réseau routier

Compte tenu de la section transversale moyenne des autoroutes et quasi-autoroutes à travers les paysages légèrement vallonnés, leurs superficies de REP atteignent respectivement 164 km^2 et 56 km^2. Pour les autoroutes, près de 80 % de cette superficie (129 km^2) se trouvent sous la responsabilité de sociétés concessionnaires, la partie la plus faible (35 km^2) étant géré par des services de l'État. Les quasi-autoroutes prises en compte dans l'évaluation, situées hors des agglomérations, sont administrées soit par des services de l'État soit par des services départementaux. En 1998, la surface des dépendances vertes des autoroutes françaises avait été estimée à 160 km^2 [4]. Cette estimation ne détaillait pas le mode de calcul mais sachant qu'en 1997 le réseau autoroutier français s'étendait sur 8 864 km [20], la largeur moyenne des dépendances vertes autoroutières correspondantes s'établirait à 18 m. En complétant notre estimation par la largeur des bandes de proximité (8 m) appliquée aux 10 276 km de réseau interurbain (Tableau 1) et au réseau autoroutier urbain[33], la surface totale de dépendances vertes s'élève à 256 km^2. Pour l'ensemble du réseau autoroutier (11 432 km), cela signifie une largeur théorique moyenne de dépendances vertes d'environ 22 m, soit une différence de seulement 4 m avec la valeur moyenne adoptée par l'étude de 1998 [4]. Enfin, pour les routes à deux chaussées, compte tenu de la section transversale moyenne, la surface de REP s'établit à 21 km^2. Ce type d'infrastructure routière est principalement administré par des collectivités territoriales.

30. La fréquence est supérieure dans les zones les plus anthropisées.
31. Estimées à 83 km^2 lorsque les zones urbaines et industrielles sont prises en compte (calcul à partir de BD TOPO®).
32. Longueur totale de 13 594 km calculée à partir de BD TOPO®.
33. Longueur totale de 1 156 km calculée à partir de BD TOPO®.

La technique la plus répandue pour l'entretien de la végétation herbacée des dépendances vertes routières est le gyrobroyage, réalisé généralement une fois par an en ce qui concerne la zone lointaine. Le fauchage tardif tend à se développer chez les opérateurs afin de respecter le cycle biologique des espèces végétales et de la faune qui en dépend. Cependant, l'herbe coupée qui est en règle générale laissée à se décomposer sur place, constitue un obstacle à l'émergence d'une flore diversifiée et, par conséquent, à l'accueil de nombreux insectes [29]. Depuis plusieurs années pourtant, il a été montré que les dépendances vertes routières avaient le potentiel d'être aussi intéressantes sur le plan écologique que des prairies de fauche [2], un type d'habitat utile aux insectes pollinisateurs en régression en France et en Europe [41]. Le contrôle exercé sur la végétation ligneuse est plus strict dans les emprises des routes à grande vitesse ((quasi-)autoroutes) et les arbres et arbustes y sont maintenus plus éloignés de la bande de proximité que dans les dépendances vertes des routes à deux chaussées.

3.3. Perspectives ouvertes par l'évaluation du patrimoine de REP

3.3.1 Importance du patrimoine de REP à l'échelle nationale

Le linéaire total de REP le long des réseaux d'ILT à l'échelle de la France métropolitaine est de 88 094 km. Les lignes de transport d'électricité représentent la part la plus importante de ce réseau (39 %), devant le réseau ferroviaire (34 %) dont le seul réseau des lignes principales constitue la majeure partie (27 % du total). Les sections de lignes électriques répondant aux critères de REP sont plus particulièrement localisées dans certaines régions boisées, par nature éloignées des zones anthropisées. Par contre le linéaire de REP associé au réseau ferroviaire principal, très ramifié, touche quant à lui presque toutes les parties du territoire national. Au troisième rang se classe le réseau routier (18 % du réseau total), dont les (quasi-)autoroutes représentent l'essentiel (16 %). Enfin, le linéaire de REP associé au réseau des voies navigables, qui est plus particulièrement représenté dans le quart Nord-Est de la France, représente 9 % du total. Jusqu'à présent, c'est dans le domaine routier que les études relatives au rôle des emprises d'ILT pour les insectes dans les régions tempérées ont été les plus nombreuses [12].

La superficie totale de REP le long des réseaux d'ILT est de 2 025 km^2. La surface des emprises des lignes de transport d'électricité située en tranchées forestières constitue 66,8 % de ce total. Les dépendances vertes du réseau ferroviaire en représentent 16,4 % (dont 10,7% sont situés au bord des lignes principales) et celles du réseau routier 11,9 % (dont 10,9 % sont situés au bord des (quasi-)autoroutes). Les surfaces des servitudes le long des voies navigables représentent 4,9 % de la surface totale[34]. À l'échelle nationale, la somme des surfaces indiquées par plusieurs opérateurs importants (transport d'électricité, autoroutes concédées, voies ferrées, canaux) pour l'ensemble de leur patrimoine de dépendances vertes[35] atteint environ 5 900 km^2 [5]. A ce chiffre, il faudrait ajouter en particulier les surfaces de dépendances vertes associées au réseau routier national, réputées de plusieurs milliers de kilomètres carrés mais estimées de façon encore insuffisamment précise à ce jour [42][36]. Il résulte que la valeur minimale de la surface de REP représenterait un peu moins du quart des surfaces totales de dépendances vertes d'ILT.

3.3.2 Principales caractéristiques des REP selon les ILT

En règle générale les tranchées forestières empruntées par les lignes de transport d'électricité résultent de coupes pratiquées dans les massifs forestiers préexistants. Mais dans des endroits où la forêt s'étend naturellement du fait de la déprise agricole et de la disparition du pastoralisme, il peut aussi arriver qu'il s'agisse de reliquats de milieux ouverts initiaux, telles que des pelouses sèches [24], particulièrement favorables à la diversité floristique et aux insectes pollinisateurs [8, 43, 44]. D'une façon générale, ces larges emprises en tranchée forestière, éloignées de nombreuses sources de perturbations anthropiques, peuvent offrir des conditions propices à du pâturage ovin ou bovin, permettant de maintenir continuellement le milieu ouvert sans intervention mécanique [34]. Les berges des voies navigables dans les zones prises en compte dans l'estimation du potentiel de refuge écologique, peuvent offrir des conditions de quiétude similaires, propices à l'entretien par pâturage [35].

Le réseau ferroviaire commercial (LGV et lignes principales) et le réseau routier, hébergent sensiblement la même surface de REP (277 km^2 et 241 km^2, respectivement), localisée dans les « zones lointaines » de leurs dépendances vertes. Les dépendances vertes (et les REP) de ces ILT se caractérisent par le fait qu'elles sont réparties de part et d'autre de sections d'infrastructures parcourues par des véhicules circulant à vitesse élevée. Il en résulte que concernant la connectivité écologique, l'objectif de gestion concernant l'entomofaune ne doit pas stimuler le besoin de traverser la plate-forme centrale, car cela conduirait à favoriser la mortalité par collision [45, 46].

34. La prise en compte de l'intégralité des largeurs des berges du domaine public fluvial et en particulier de celles, très irrégulières, des rivières navigables (cf. § 2.3.2), conduirait à un pourcentage supérieur.
35. Comprenant les surfaces exclues de l'estimation des REP, notamment les dépendances vertes étroites, les bandes de proximité, les surfaces des terre-pleins centraux et celles prises entre des bretelles d'échangeurs, y compris en milieux urbains et industriels.
36. Indication d'une surface de dépendances vertes routières et autoroutières de 3 400 km^2 en 2009 (source utilisée : Union Routière de France, 2007). Cette valeur inclue les quelques 390 km^2 de dépendances vertes autoroutières concédées indiqués *in* [5].

En revanche, le rôle particulier qui peut être assigné aux dépendances vertes des infrastructures ferroviaires et routières repose sur leur potentiel pour (re-)connecter des segments de la trame paysagère avoisinante. Lorsque l'infrastructure a été construite, elle a sectionné et déconnecté des éléments de la trame verte préexistante, habitats et corridors. Les éléments restant en bordure d'emprise (ex. haies perpendiculaires, boisements, zones humides, prairies permanentes, etc.) se trouvent au contact d'une dépendance verte dont l'entretien courant maintient généralement un milieu uniforme (dominé par quelques espèces de graminées) peu accueillant pour la biodiversité. Créer au sein des dépendances vertes des conditions d'habitat accueillantes afin de reconnecter des fragments de la trame verte locale est de nature à améliorer la circulation des individus et des gènes dans le paysage avoisinant : la dépendance verte peut servir d'abri puis comme source de déploiement des populations dans les environs [29].

Les dépendances vertes peuvent également servir de couloir de circulation pour les insectes volants pour leurs déplacements quotidiens. Dans leur recherche de nourriture, les bourdons et les abeilles suivent préférentiellement des chemins libres d'obstacles transversaux [47, 48] et l'usage de dépendances vertes routières comme couloir de circulation préférentiel a été observé pour des bourdons [49]. Une ressource floristique de qualité favorise la circulation des insectes pollinisateurs au sein des dépendances vertes routières plutôt qu'en travers des routes [50].

3.3.3 Une implication nouvelle pour les opérateurs d'ILT et les parties prenantes locales

Comme suggéré il y a près de vingt ans [51], ayant la capacité d'entreprendre des actions ponctuelles ou générales à l'intérieur des emprises, les opérateurs d'ILT peuvent devenir des acteurs directs de la conservation écologique, de même que de la restauration de la connectivité au sein des paysages traversés. Aujourd'hui, en Suède [52], à travers le concept de « *responsibility species* », il est proposé de faire contribuer des surfaces de dépendances vertes routières et ferroviaires à la sauvegarde d'espèces en danger d'extinction[37]. En France, dès les années 1990, l'attention avait été attirée en particulier sur le potentiel écologique des dépendances vertes autoroutières et la façon de le mettre en valeur [1, 53]. La prise de conscience des enjeux de biodiversité liés aux dépendances vertes se généralise parmi les opérateurs d'ILT [5]. Cependant, du fait de leur mission essentielle de maintien du niveau de service des infrastructures, la plupart des opérateurs restent avant tout des acteurs techniques qui ne disposent généralement pas en propre des compétences nécessaires pour la mise en œuvre d'une gestion écologique optimale des emprises. Une manière pragmatique et efficace de faire face à cette situation, permettant également de répondre de façon adaptée et relativement rapide[38] à la diversité des cas de figures et opportunités pouvant se présenter le long des réseaux d'ILT, est pour eux de s'adjoindre les compétences d'acteurs locaux familiers de la gestion et de l'entretien de milieux naturels ou semi-naturels des territoires traversés [35]. Ces derniers peuvent être par exemple des associations de diverses natures, des particuliers (notamment du domaine de l'agro-écologie), des syndicats mixtes (tels que les parcs naturels régionaux) voire des collectivités. Les partenariats de gestion des dépendances vertes dont il s'agit, associent également les propriétaires fonciers des emprises, qu'ils soient de statut privé ou public. Quelques initiatives de ce type ont été, ou sont, entreprises à travers la France et apportent des enseignements pour renforcer l'efficacité et la durabilité des collaborations [35].

Mettre à profit les dépendances vertes des infrastructures routières est préconisé par la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques en tant que levier d'action immédiatement disponible pour améliorer les conditions actuelles des pollinisateurs et maintenir le service de pollinisation [54]. Établir des partenariats de gestion avec des acteurs locaux compétents pour agir en faveur des insectes pollinisateurs seraient une manière simple pour les opérateurs routiers de contribuer à cet objectif et à la lutte contre le déclin général des populations d'insectes volants observé en Europe [14, 55]. Le même objectif et la même formule de réalisation pourraient bien sûr s'appliquer à l'entretien au sein des emprises de tous les types d'ILT.

L'entretien des dépendances vertes du réseau ferroviaire en service (LGV, lignes principales, voies de service) relève de la responsabilité de l'opérateur national (SNCF) et s'effectue intégralement sur le domaine public de l'État (domaine public ferroviaire). Concernant le réseau routier, en plus des 2 188 km de REP situés le long des autoroutes publiques (cf. § 3.1.4), 2 306 km de quasi-autoroutes et 1 613 km de routes à deux chaussées appartiennent également au domaine public de l'État. Les parts complémentaires (respectivement 8 088 km, 1 175 km et 959 km) se trouvent sous la responsabilité de sociétés concessionnaires ou appartiennent à diverses collectivités territoriales (départements, communes et leurs groupements). Pour les voies navigables, le réseau de REP s'étend sur 5 262 km du domaine public fluvial de l'État, entretenu par l'opérateur national (l'établissement public VNF). L'autre part (2 332 km) est sous la responsabilité de diverses collectivités (régions, départements, syndicats) auxquelles la propriété du

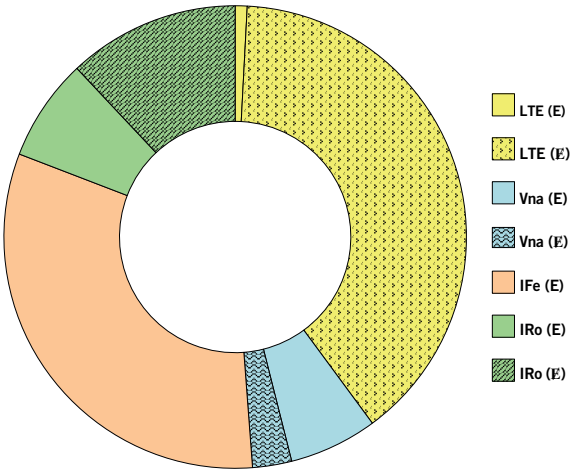
37. Il s'agit d'espèces classées en liste rouge dont une part importante de l'aire de répartition ou de la population se trouve dans la zone d'action d'une entité administrative, dont notamment l'administration nationale des transports de Suède à travers ses réseaux routier et ferroviaire. L'identification d'une *responsibility species* dans ou à proximité des emprises détermine les actions de gestion qui y seront menées [52].
38. Il s'agit d'une approche alternative et complémentaire à l'éventuelle acquisition des compétences nécessaires par les opérateurs d'ILT, grâce à la formation et/ou au recrutement, qui elle ne permet pas d'envisager une opérationnalité à brève échéance.

domaine public fluvial a été transférée. Le réseau de REP associé au transport d'électricité ne s'étend quant à lui que sur 711 km à travers des forêts domaniales (340 km et 371 km dans des emprises de lignes HT et THT respectivement). La quasi-totalité de ce réseau de REP (98 %) se situe dans des forêts privées ou communales : 13 007 km d'emprises de ligne HT et 20 281 km d'emprises de ligne THT.

Pour la France métropolitaine, le réseau de REP s'étend donc sur un total de 85 226 km le long des LTI en service[39]. L'État, à travers son domaine public, détient 46,2 % de ce patrimoine, situé principalement dans le domaine public ferroviaire (32,0 % du total), mais aussi dans des emprises routières (7,2 %) et celles du domaine public fluvial (6,2 %) mais très peu dans des forêts domaniales (0,8 %) pour ce qui concerne les lignes de transport d'électricité. Cette répartition est illustrée par la figure 8. Dans les emprises du domaine public de l'État, de simples accords bipartites seraient nécessaires entre l'opérateur et son partenaire local chargé de la gestion écologique des surfaces de REP pour mettre en œuvre des actions cohérentes avec les objectifs de politique publique pour la biodiversité. Le patrimoine de REP répond à la définition des espaces de continuités écologiques introduits par l'article 85 de la loi 2016-1087 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages [56], comme des « formations végétales linéaires ou ponctuelles permettant de relier des espaces (…) naturels importants pour la biodiversité » (Art L. 371-1 du code de l'environnement).

Pour les refuges écologiques potentiels situés dans les emprises d'ILT sous la responsabilité des autres types d'acteurs (53,8 % du patrimoine de REP) les mêmes objectifs de politique publique pour la biodiversité devraient bien sûr être visés. Ce patrimoine s'étend principalement (39,1 % du total) dans des emprises du réseau de transport d'électricité, mais aussi dans des dépendances vertes de voies navigables (2,7 %) et dans celles du réseau routier (12,0 %). Ce dernier se partage entre les dépendances vertes des autoroutes concédées (9,5 %) et celles des routes à deux chaussées et des sections de quasi-autoroutes administrées par des collectivités territoriales (2,5 %). Dans un cas comme dans l'autre, la mise en œuvre de partenariats de gestion nécessiterait de simples accords bipartites entre le partenaire chargé de la gestion écologique et la société concessionnaire d'autoroutes, ou la collectivité territoriale gestionnaire. Il en serait de même pour les voies navigables transférées aux collectivités territoriales. Par contre, les partenariats de gestion dans les emprises des lignes électriques traversant des forêts communales et privées nécessiteraient des accords tripartites intégrant les propriétaires fonciers [35].

Figure 8. Répartition du potentiel de refuge écologique entre les emprises du domaine public de l'État (E) et celles sous la responsabilité d'autres acteurs (Ɛ). LTE : Lignes de transport d'électricité ; VNa : Voies navigables ; IFe : Infrastructures ferroviaires ; IRo : Infrastructures routières.



4. Conclusion

Grâce à plusieurs résultats de recherche, la reconnaissance de l'intérêt écologique des dépendances vertes d'ILT pour la biodiversité a progressé ces dernières années. Dans les endroits où le paysage a été dégradé par la fragmentation et la destruction de ses habitats naturels, que cela soit imputable aux ILT ou à d'autres causes, à travers leurs fonction d'habitat et de conduit écologiques, une partie des dépendances vertes d'ILT est en mesure de constituer un refuge pour la flore et l'entomofaune locales. Ces zones constituent un refuge rapidement mobilisable pour sauvegarder des espèces en déclin et peuvent contribuer au retissage des trames vertes et bleues environnantes.

La France métropolitaine est fortement touchée par le rognage et la fragmentation des espaces naturels et le déclin des espèces sauvages. Elle est aussi notablement sillonnée d'infrastructures de transport, routières, ferroviaires, navigables et électrique en particulier. Certains opérateurs de réseaux d'ILT ont pris conscience des enjeux écologiques des dépendances vertes mais tous n'en ont pas encore connaissance. La gestion des dépendances vertes s'en ressent et la connaissance même du patrimoine de dépendances vertes mobilisables est de fait lacunaire.

Connaître le développement linéaire et surfacique des espaces de dépendances vertes susceptibles de jouer le rôle de refuge écologique est indispensable au développement de l'action, pour toutes les parties prenantes, à quelque échelon qu'elles se situent. L'estimation de ce potentiel à l'échelle nationale ne peut pas se faire par l'addition de données locales, qui sont trop hétérogènes et lacunaires. Une estimation simplement dérivée de la longueur totale

39. Les voies ferrées non exploitées ne font pas l'objet d'un entretien courant et ces emprises sont laissées à la libre recolonisation par la flore permettant le développement de haies larges qui offrent des habitats et des supports de connectivité à la faune. Ces 2 868 km de REP viennent en supplément de ceux du réseau d'ILT en service.

des réseaux conduirait quant à elle à trop d'incertitudes et probablement à la surestimation ; divers contextes d'ILT et configurations de dépendances vertes n'étant pas appropriés à la fonction de refuge écologique.

Lorsque comme en France, des bases de données cartographiques sont disponibles sur les réseaux de transport et l'occupation du sol, le traitement des données à l'aide de systèmes d'informations géographiques, associé à la connaissance des caractéristiques géométriques et de maintenance des différents types d'ILT, peut fournir un moyen rationnel d'estimation de ce potentiel et bien sûr de localisation des sections concernées. Suivant cette approche, une méthode d'estimation utilisant ces ressources a été développée pour estimer la valeur minimale (linéaires et surfaces développés) du patrimoine de refuge écologique potentiel (REP) à l'échelle de la France métropolitaine.

Le linéaire total de REP associé aux ILT en France métropolitaine s'établi à 88 094 km (85 226 km le long d'infrastructures en service, plus 2 868 km de voies ferrées non exploitées). La part la plus importante est nettement associée aux réseaux de transport d'électricité et ferroviaire (39 % et 34 % respectivement) par rapport aux réseaux routier et navigable (18 % et 9 % respectivement). Les réseaux ferroviaire et routier et leur potentiel de refuge écologique sont plus uniformément distribués sur l'ensemble du territoire que celui des deux autres infrastructures (quart nord-est de la France et grands massifs forestiers).

L'objectif de ce travail a été de fournir une estimation a minima de la surface de REP disponible en France métropolitaine (valeur plancher) afin d'apporter une clarification sur l'état du patrimoine existant, sa nature et les moyens de le mettre à profit pour la biodiversité. La surface totale minimale associée à ce réseau de REP est de 2 091 km^2 (dont 43 km^2 pour les voies ferrées non exploitées). Elle est constituée à 68,5 % d'emprises de transport d'électricité, 16 % de dépendance verte du réseau ferroviaire, 11,5 % de dépendance verte routière et 4 % de servitudes de voies navigables.

Entretenir certaines sections de dépendances vertes en tant que refuge écologique constitue une perspective nouvelle pour les opérateurs d'ILT, publics et privés, ainsi que pour les propriétaires des emprises, impliquant de nouveaux engagements et ouvrant de nouvelles opportunités. L'État, en tant que propriétaire d'emprises apparaît comme le premier dépositaire de ce patrimoine, dans le domaine public ferroviaire (de façon exclusive), routier et navigable. Pour autant, les autres responsables d'emprises (collectivités, entreprises concessionnaires, particuliers) ne sont pas moins dépositaires de plus de la moitié du patrimoine de REP (53,8 %). Ils sont majoritaires dans le domaine routier (concessionnaires et collectivités) et quasi-exclusifs dans le domaine du transport d'électricité (forêt communales et privées).

Le cœur de métier des opérateurs de réseaux reste aujourd'hui essentiellement technique, voué prioritairement au maintien du niveau de service et de la sécurité des infrastructures. Leur possibilité de mettre eux-mêmes à profit le potentiel écologique des emprises de leurs infrastructures se heurte à cette réalité. Dans les territoires traversés par les ILT, divers types d'acteurs sont investis dans la gestion et l'entretien des milieux naturels et semi-naturels. À partir de leur connaissance des écosystèmes locaux et de leur vulnérabilité, certains de ces acteurs sont en mesure d'indiquer aux opérateurs les actions et choix les plus adéquats à mettre en œuvre au sein des emprises pour en tirer le meilleur bénéfice pour les biocénoses locales. Par ailleurs, certains acteurs locaux disposent des savoir-faire et moyens nécessaires pour réaliser ces actions. Pour mettre à profit le potentiel écologique de leurs emprises, les opérateurs de réseaux ont la possibilité de s'associer les compétences de ces acteurs locaux dans le cadre de partenariats de gestion à travers lesquels ils peuvent leur confier la conduite des mesures particulières à développer dans les zones de refuge écologique.

Remerciements

Les auteurs remercient M. Paulay (MTES), M. Le Lay (SNCF Réseau) ainsi que B. Gigot et G. Burtin (VNF) pour leurs explications sur certaines données et pratiques. Ils remercient également O. Bonin (Université Gustave Eiffel) pour la mise à disposition des bases de données cartographiques BD TOPO® et BD Forêt®.

Références

1. Baudry J, Roulleau J-N, Burel F (1995) Les dépendances vertes des autoroutes : du verdissement à l'intégration dans le fonctionnement écologique des paysages. Natures Sciences Sociétés, Hors-série : 77-83
2. de Redon de Colombier L (2008) Intérêts écologiques des bords de route en milieu agricole intensif. Thèse, Muséum national d'histoire naturelle, 179 p
3. Gardiner MM, Riley CB, Bommarco R, Öckinger E (2018) Rights-of-way : a potential conservation resource. Front Ecol Environ 16(3) : 149-158
4. Meunier F, Gauriat C, Verheyden C, Jouventin P (1998) Végétation des dépendances vertes autoroutières : influences d'un mode de gestion extensif et du milieu traversé. Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie) 53 : 97-121
5. Michel C, Russier-Decoster E, Clap F, Moncorps S (2015) Corridors d'infrastructures, corridors écologiques ? - État des lieux et recommandations. UICN France & CILB, Paris, 37 p
6. Burel F, Baudry J (1999) Ecologie du paysage - Concepts, méthodes et applications. Tec & Doc, Paris, 359 p
7. Forman RTT, Sperling D, Bissonette JA et al (2003) Road Ecology Science and Solutions. Island Press, Covelo, 481 p
8. Smallidge PJ, Leopold DJ (1997) Vegetation management for the maintenance and conservation of butterfly habitats in temperate human-dominated landscapes. Landsc Urban Plan 38 : 259-280

9. Hopwood JL (2008) The contribution of roadside grassland restorations to native bee conservation. Biol Conserv 141 : 2632-2640
10. Wagner DL, Ascher JS, Bricker NK (2014) A transmission right-of-way as habitat for wild bees (Hymenoptera : Apoidea : Anthophila) in Connecticut. Ann Entomol Soc Am 107 : 1110-1119
11. O'Sullivan O, Holt AR, Warren PH, Evans KL (2017) Optimising UK urban road verge contribution to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management. J Environ Manage 191 : 162-171
12. Villemey A, Jeusset A, Vargac M, et al (2018) Can linear transportation infrastructure verges constitute a habitat and/or corridor for insects in temperate landscapes ? A systematic review. Environ Evid 7, 5
13. Richner N, Holderegger R, Peter et al (2017) Dramatic decline in the Swiss arable flora since the 1920s. Agr Ecosyst Environ 241 : 179-192
14. Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E et al (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. Plos ONE 12(10) : e0185809
15. Stanton RL, Morrissey CA, Clark RG (2018) Analysis of trends and agricultural drivers of farmland bird declines in North America : A review. Agr Ecosyst Environ 254 : 244- 254
16. Dupont P coordination (2010) Plan national d'actions en faveur des Odonates. OPIE/SFO & MEEDM, Paris-La Défense, 170 p
17. Cambecèdes J, Largier G, Lombard A (2012) Plan national d'actions en faveur des plantes messicoles. CBN des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, FCBN & MEDE, Paris-La Défense, 242 p
18. Gadoum S, Roux-Fouillet J-M (2016) Plan national d'actions "France Terre de pollinisateurs" pour la préservation des abeilles et des insectes pollinisateurs sauvages. OPIE et MEDDE, Paris-La Défense, 137 p
19. European Commission (2015) EU Transport in figures. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 148 p
20. Commissariat Général du Développement Durable (2019) Chiffres clés du transport. CGDD - Service de la donnée et des études statistiques, Paris-La Défense 88 p
21. Institut Géographique National (2019) BD TOPO® Suivi des évolutions de la V1.0 à la V3.0 - Les bases vectorielles. IGN, Saint-Mandé, 49 p
22. Institut Géographique National (2018) BD Forêt® version 2.0, Descriptif de contenu - Les bases vectorielles. IGN, Saint-Mandé, 51 p
23. Commissariat Général du Développement Durable (2016) Atlas régional de l'occupation des sols en France. CGDD - Service de la donnée et des études statistiques, Paris-La Défense 168 p
24. François D, Le Féon V, Vaissière B et al (2018) Usefulness of power line right-of-way for wild bees and butterflies in agroforestry landscapes. In : van der Grift E (ed.) IENE 2018 International Conference on Ecology and Transportation – Abstract book. Eindhoven, p 104
25. Réseau de Transport d'Electricité (RTE), Enedis, Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA) et al (2018) Modalités de gestion de la végétation sous et aux abords des lignes électriques. RTE & Enedis, Paris, 63 p
26. Etrillard C (2019) Berges de cours d'eau français : quelles marges de manœuvre juridiques pour y mener des actions écologiques ? Droit de la voirie et du domaine public 206 : 12-19
27. Ginot A, Jullien A, François D (2010) Rail et route, impacts environnementaux - État de l'art. Rapport du Laboratoire central des Ponts et chaussées, Bouguenais, 112 p
28. Fargier A (2013) Méthodologie d'évaluation environnementale locale et globale pour l'insertion d'ouvrages ferroviaires dans les territoires. Thèse, Université Nantes-Angers-Le Mans, 390 p
29. François D, Le Féon V (2017) Abeilles sauvages et dépendances vertes routières. Ifsttar, Marne-la-Vallée, 120 p
30. Keilsohn W, Narango DL, Tallamy DW (2018) Roadside habitat impacts insect traffic mortality. J Insect Conserv 22(2) : 183-188
31. van der Ree R, Smith DJ, Grilo C (2016) Handbook of road ecology. Wiley Blackwell, Chichester, 522 p
32. Carlier J, Moran J (2019) Hedgerow typology and condition analysis to inform greenway design in rural landscapes. J Environ Manage 247 : 790-803
33. Etrillard C (2020) Favoriser la biodiversité sous les lignes électriques. Energie-Environnement-Infrastructures, Revue mensuelle du Jurisclasseur 1 : 30-35
34. Godeau J-F (2018) The achievements of the LIFE Elia-RTE project (2011-2017). In : van der Grift E (ed.) IENE 2018 International Conference on Ecology and Transportation – Abstract book. Eindhoven, p 105
35. Etrillard C, François D, Gastineau P, Pech M (2019) Gestion partenariale des dépendances vertes : étude de faisabilité. Rapport final du projet GEDEV, Programme Ittecop, 49 p
36. Russell KN, Ikerd H, Droege S (2005) The potential conservation value of unmowed powerline strips for native bees. Biol Conserv 124 : 133-148
37. Berg Å, Bergman K-O, Wissman J et *al*. (2016) Power-line corridors as source habitat for butterflies in forest landscapes. Biol Conserv 201 : 320-326
38. Öckinger E, Dániel-Ferreira J (2021) Both roads and power line corridors contribute to landscape scale biodiversity of plants and insects. In : Mira A, Oliveira A, Craveiro J et *al.* (eds) IENE 2020 International Conference "LIFE LINES – Linear Infrastructure Networks with Ecological Solutions" – Abstract book. Évora, p 178
39. Voies Navigables de France (2015) Réseau navigable, réseau vivant. VNF, Béthune, 28 p
40. SNCF Réseau (2020) Le réseau ferré national et la maîtrise de la végétation - Pratiques actuelles et perspectives. SNCF Réseau, Paris, 27 p
41. Peyraud JL, Peeters A, De Vliegher A (2012) Place et atouts des prairies permanentes en France et en Europe. Fourrages 211 : 195-204
42. Nord Nature Chico Mendès (2009) La gestion différenciée des linéaires – État des lieux. Rapport pour le projet Landscape and Nature For All - Mission Gestion différenciée Nord-Pas de Calais, Nord Nature Chico Mendès, Lille, 71 p
43. Krauss J, Alfert T, Steffan-Dewenter I (2009) Habitat area but not habitat age determines wild bee richness in limestone quarries. J Appl Ecol 46 : 194-202

44. Jauker B, Krauss J, Jauker F, Steffan-Dewenter I (2013) Linking life history traits to pollinator loss in fragmented calcareous grasslands. Landscape Ecol 28 : 107-120
45. Kasten K, Stenoien C, Caldwell W, Oberhauser KS (2016) Can roadside habitat lead monarchs on a route to recovery ? J Insect Conserv 20(6) : 1047-1057
46. Vinchesi A, Walsh D, Broadhead C (2018) Assessing transportation impacts to alkali bees (Hymenoptera : Halictidae) and Alfalfa seed production in southeastern Washington state. American Entomologist 64 : 52-58
47. Ohashi K, Thomson JD (2009) Trapline foraging by pollinators : its ontogeny, economics and possible consequences for plants. Ann Bot-London 103(9) : 1365- 1378
48. Buatois A, Lihoreau M (2016) Evidence of trapline foraging in honeybees. J Exp Biol 219 : 2426-2429
49. Hanley ME, Wilkins JP (2015) On the verge ? Preferential use of road-facing hedgerow margins by bumblebees in agro-ecosystems. J Insect Conserv 19(1) : 67-74
50. Dániel-Ferreira J, Wissman J, Berggren A, Öckinger E (2021) Moving on the verge : effects of traffic intensity and quality of the road verge on the movement of pollinating insects. In : Mira A, Oliveira A, Craveiro J et *al.* (eds) IENE 2020 International Conference "LIFE LINES – Linear Infrastructure Networks with Ecological Solutions" – Abstract book. Évora, p 177
51. Van Bohemen H (2002) Infrastructure, ecology and art. Landsc Urban Plan 59 : 187-201
52. Helldin JO, Wissman J, Lennartsson T (2015) Abundance of red-listed species in infrastructure habitats – "responsibility species" as a priority-setting tool for transportation agencies' conservation action. In : Seiler A, Helldin JO (eds) Proceedings of the IENE 2014 International Conference on Ecology and Transportation. Malmö. Nature Conservation 11 : 143-158
53. Autoroutes du Sud de le France (1998) Nature, paysage et autouroutes - La vie cachée des dépendances vertes. ASF, Paris, 43 p
54. Potts SG, Imperatriz-Fonseca VL, Ngo HT et *al.* (2016) Rapport d'évaluation de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques concernant les pollinisateurs, la pollinisation et la production alimentaire – Résumé à l'intention des décideurs. Secrétariat de l'IPBES, Bonn, 31 p
55. Cardoso P, Barton PS, Birkhofer K et *al.* (2020) Scientists' warning to humanity on insect extinctions. Biol Conserv 242 : 108426
56. Journal Officiel de la République Française (2016) Loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages. JORF n°0184 NOR : DEVL1400720L, Paris