
Pollution lumineuse et trame verte et bleue : vers une trame noire en France ?

*Light Pollution in French Green and Blue Infrastructure Policy: Towards a Dark
Ecological Network?*

Romain Sordello



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/tem/4381>

DOI : 10.4000/tem.4381

ISSN : 1950-5698

Éditeur

Université des Sciences et Technologies de Lille

Référence électronique

Romain Sordello, « Pollution lumineuse et trame verte et bleue : vers une trame noire en France ? », *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement* [En ligne], 35 | 2017, mis en ligne le 29 novembre 2017, consulté le 06 mars 2018. URL : <http://journals.openedition.org/tem/4381> ; DOI : 10.4000/tem.4381

Ce document a été généré automatiquement le 6 mars 2018.



Territoire en mouvement est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

Pollution lumineuse et trame verte et bleue : vers une trame noire en France ?

Light Pollution in French Green and Blue Infrastructure Policy: Towards a Dark Ecological Network?

Romain Sordello

Introduction : Quelle prise en compte de la pollution lumineuse dans la politique « Trame verte et bleue » en France ?

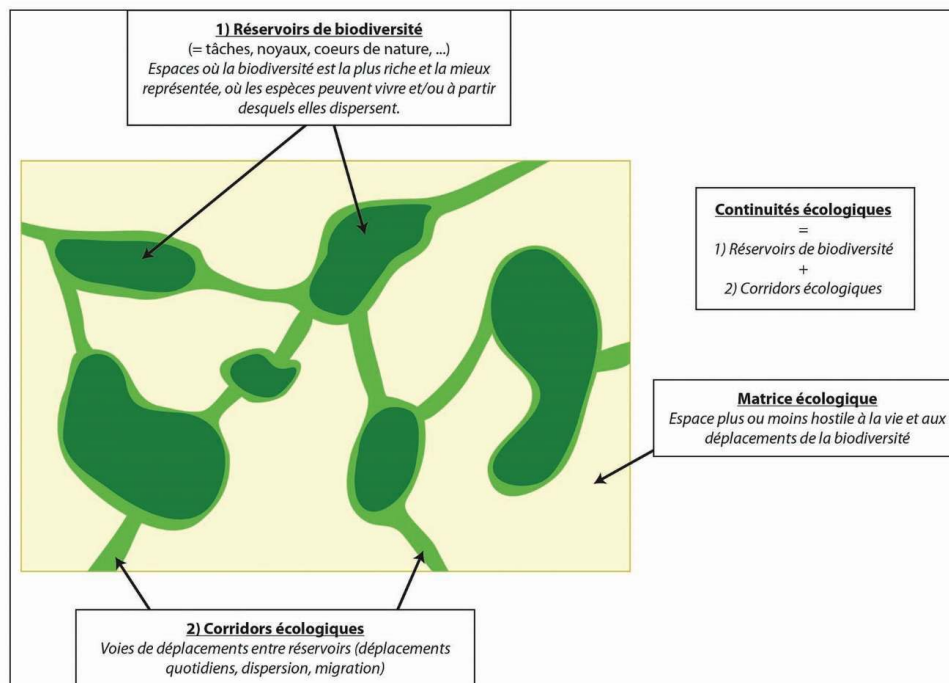
- 1 La rotation de la Terre sur elle-même entraîne à sa surface la succession invariable d'une période éclairée et d'une période obscure. Cette alternance naturelle du jour et de la nuit a constitué un paramètre structurant de l'Évolution du vivant (Gerrish *et al.*, 2009). Des caractéristiques morphologiques, biologiques ou comportementales permettent ainsi à diverses espèces de vivre, se repérer et communiquer dans un environnement (quasiment) noir. Notamment, certains animaux utilisent la lumière naturelle du ciel étoilé en maximisant la réception des photons en environnement faiblement éclairé (Veilleux et Cummings, 2012). Selon Holker *et al.* (2010), 28 % des vertébrés et 74 % des invertébrés sont en tout ou partie nocturne, c'est-à-dire qu'ils dépendent directement de la nuit au moins pour une phase de leur cycle de vie.
- 2 L'Homme, quant à lui, en tant qu'animal diurne, ne possède pas d'adaptation particulière pour vivre la nuit. Souhaitant prolonger son activité de jour sur la période de nuit il émet alors de la lumière artificielle. Ces dernières décennies, l'éclairage artificiel nocturne s'est même considérablement déployé à l'échelle planétaire (Falchi *et al.*, 2016), créant une

pollution lumineuse. Celle-ci engendre des conséquences néfastes dans de nombreux domaines :

- elle réduit la visibilité du ciel étoilé (Falchi *et al.*, (2016) estiment qu'un tiers de l'Humanité ne voit désormais plus la Voie lactée) ;
 - elle constitue une part importante des consommations d'énergie. En France, selon l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie¹, l'éclairage public représente 41 % des consommations d'électricité des collectivités territoriales,
 - elle a des effets sur l'Homme quant à la production des hormones et à son cycle biologique, avec probablement des impacts plus larges sur sa santé (Cho *et al.*, 2015),
 - elle est néfaste à la biodiversité (Rich et Longcore, 2006).
- 3 Sur ce dernier point, l'éclairage artificiel nocturne affecte en particulier les animaux dans leur mobilité en provoquant deux comportements contradictoires : l'attraction (Beaudouin, 1985) ou la répulsion (Zollner et Lima, 1999). L'éclairage artificiel nocturne modifie ainsi la fréquence (Baker et Richardson, 2006), la temporalité (Riley *et al.*, 2013) ou encore le but (Le Corre *et al.*, 2002) des déplacements de la faune. Il réduit les surfaces d'habitats favorables des espèces qui fuient la lumière la nuit (Beier, 1995). Son action négative est maintenant prouvée à l'échelle du paysage et non plus seulement des écosystèmes (Hale *et al.*, 2015 ; Picchi *et al.*, 2013). Il influence même la répartition de certaines espèces à l'échelle nationale (Azam *et al.*, 2016).
 - 4 Plusieurs études documentent aussi désormais un effet barrière net. Par exemple, R. H. A. Van Grunsven *et al.* (2017) prouvent que, pendant leur migration saisonnière, les crapauds ne parviennent pas à franchir les routes éclairées et ne peuvent donc pas transiter de leur zone d'hivernage vers leur zone de reproduction. Bliss-Ketchum *et al.* (2016) démontrent, quant à eux, que certains mammifères n'empruntent plus certaines voies parce qu'elles sont éclairées. La lumière artificielle est donc susceptible de créer une véritable coupure dans le paysage.
 - 5 En cascade, ces effets engendrent des déséquilibres écosystémiques. Les relations interspécifiques sont modifiées, comme les rapports entre proies et prédateurs (Minnaar *et al.*, 2015) ou la pollinisation (Knop *et al.*, 2017). Les services rendus par les écosystèmes peuvent être menacés (Lewanzik et Voigt, 2014). Certains auteurs considèrent même que la pollution lumineuse est devenue l'une des pressions de sélection les plus importantes qui s'exerce sur la biodiversité (Swaddle *et al.*, 2015 ; Urbanski *et al.*, 2012). Par exemple, F. Altermatt et D. Ebert (2016) observent d'ores et déjà une diminution des distances de dispersion parcourues par des papillons de nuit - qui deviennent ainsi plus sédentaires - soumis depuis quelques générations seulement à la pollution lumineuse.
 - 6 La disparition et la fragmentation des habitats naturels font partie des principales causes de l'érosion actuelle de la biodiversité (Torres *et al.*, 2016). En particulier, la fragmentation, en entravant les déplacements des individus, affecte la reproduction (Stephens *et al.*, 2003) et, à long terme, agit sur la génétique des populations (Vandergast *et al.*, 2007). Pour réduire ces phénomènes, le maintien et la préservation de réseaux écologiques, c'est-à-dire de milieux naturels de qualité et interconnectés, sont préconisés par la communauté scientifique (Opdam *et al.*, 2006). Les réseaux écologiques garantissent une perméabilité à l'échelle du paysage. Ils offrent aux espèces la possibilité de se déplacer pour l'accomplissement de leur cycle de vie et entretiennent de ce fait un brassage génétique indispensable à la pérennité des populations (Jehle *et al.*, 2005). Depuis plus d'une vingtaine d'années, des politiques de réseaux écologiques ont été mises en place dans de nombreux États du monde et, en particulier, en Europe (Jongman, 1995).

- 7 En France, c'est depuis le Grenelle de l'environnement de 2007, que le Ministère de l'environnement porte une politique publique destinée à lutter contre ce phénomène de fragmentation des habitats, la « Trame verte et bleue » (TVB). La TVB a précisément pour objectif de préserver et de restaurer un réseau écologique en France. Plus largement, elle vise une meilleure prise en compte de la biodiversité dans l'aménagement du territoire, à travers la notion de continuité écologique. Ces continuités écologiques, qui forment les trames vertes et bleues, sont elles-mêmes constituées de corridors et de réservoirs de biodiversité (figure 1). En ce sens, la TVB reprend les concepts scientifiques de l'écologie du paysage.
- 8 L'écologie du paysage est une science développée dans les années 1980 pour étudier la biodiversité - et en particulier les flux d'individus et de gènes - à une échelle supérieure à celle des écosystèmes, l'échelle du paysage (Burel et Baudry, 1999). Les éléments d'un réseau écologique peuvent être classés en deux grands types, les « nœuds » et les « liens » (Dale et Fortin, 2005) :
- les « nœuds » (appelés tâches, noyaux, réservoirs, zones cœurs, ...) sont composés des milieux les plus préservés et forment des espaces où la biodiversité est la plus riche. Ils constituent ainsi des populations sources (Gaston *et al.*, 2008),
 - les « liens » sont appelés des corridors écologiques. Ils assurent les différents déplacements (routiniers, dispersion, ...) entre les nœuds, nécessaires à la faune et la flore. L'efficacité des corridors pour faciliter cette mobilité a été démontrée, aussi bien pour la faune (Sekercioglu, 2009) que pour la flore (Damschen *et al.*, 2006).
- 9 Le « reste » du paysage, appelé la « matrice », est considéré comme un espace plus ou moins hostile à la biodiversité.

Figure 1 : La Trame verte et bleue est constituée de continuités écologiques elles-mêmes formées de réservoirs de biodiversité et de corridors écologiques

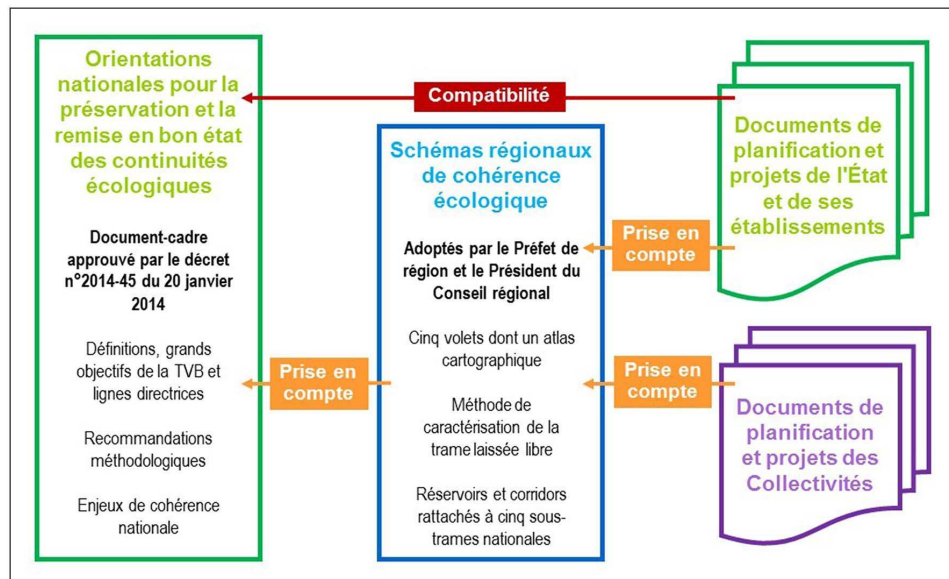


R. Sordello, 2017.

10 La TVB est mise en œuvre à trois échelles territoriales nationale, régionale et locale (figure 2) :

- à l'échelle nationale, un document-cadre intitulé « Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques » (ONTVB)², approuvé par le décret n° 2014-45 du 20 janvier 2014, fixe les grands objectifs et lignes directrices de la politique TVB,
- à l'échelle régionale, les Schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE) pilotés conjointement par l'Etat et la Région identifient les continuités écologiques régionales et prévoient des mesures pour les préserver et les restaurer,
- à l'échelle locale, les projets et les documents d'urbanisme (Schémas de cohérence territoriale, Plans locaux d'urbanisme, ...) intègrent les enjeux de continuités écologiques propres à leur territoire.
- Entre outre, chaque échelon territorial est lié à l'échelon supérieur par un rapport juridique d'opposabilité de niveau « prise en compte ». Ainsi, les SRCE doivent prendre en compte les ONTVB et les projets, plans et programmes locaux doivent prendre en compte les SRCE.

Figure 2 : Articulation territoriale de la Trame verte et bleue de l'échelle nationale à l'échelle locale



R. Sordello, 2017.

- 11 En tant que projet politique dont l'objectif est précisément de lutter contre toutes les formes de fragmentation anthropique des milieux naturels, c'est tout naturellement que la fragmentation et la disparition des habitats naturels dues à la lumière artificielle nocturne entrent dans le périmètre de la TVB. Néanmoins, lors de la définition du cadrage national de la politique TVB en 2007, la pollution lumineuse et son effet barrière n'étaient encore qu'une problématique émergente. Pour cette raison, la pollution lumineuse n'est citée qu'une seule fois dans les « Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques », parmi les « *problématiques connexes à l'urbanisation* » visées par l'objectif « *de maîtriser l'urbanisation et l'implantation des infrastructures et d'améliorer la perméabilité des infrastructures existantes* ».
- 12 Cependant, depuis 2007, cette thématique a continué à percoler dans les différentes sphères politiques, scientifiques et opérationnelles. Comme évoqué la recherche a

progressé sur la connaissance de l'effet barrière de la lumière artificielle. S. Challéat (2010) a posé les premiers jalons conceptuels d'une trame prenant en compte l'environnement nocturne. En 2014, le Museum National d'Histoire Naturelle a produit des pistes méthodologiques au titre du centre de ressources TVB pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques (Sordello *et al.*, 2014). Par ailleurs, les acteurs opérationnels (collectivités, gestionnaires d'espaces naturels, ...) se sont eux-mêmes emparés de cette problématique pour lancer des initiatives concrètes.

- 13 En outre, la politique TVB marque actuellement un tournant, avec la fin de ce qui pourrait être appelé « une première génération ». En effet, la phase d'adoption des Schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE) - schémas d'application de la politique TVB à l'échelle régionale - est désormais terminée. Vingt SRCE ont été adoptés et le SRCE de Picardie qui n'a pas été adopté ne le sera jamais, du fait des changements de dispositifs intervenus depuis par la loi NOTRe (Nouvelle organisation territoriale de la République).
- 14 Cette loi, adoptée en 2015, modifie effectivement en profondeur l'application de la politique TVB à l'échelle régionale en instaurant un nouveau schéma de planification intégrateur. Ces changements ont par ailleurs aussi des répercussions aux échelles nationales et locales.
- 15 Cette période actuelle de transition paraît donc opportune pour dresser un bilan de la prise en compte de la pollution lumineuse dans la TVB et imaginer les perspectives possibles dans le nouveau contexte législatif et réglementaire.
- 16 Dans ce but, cet article poursuit trois objectifs :
 - il dresse un état des lieux de la prise en compte de la pollution lumineuse dans les SRCE ;
 - il expose plusieurs initiatives qui ont émergé localement, portées par des collectivités, bureaux d'études ou gestionnaires d'espaces naturels ;
 - il formule, sur la base de ces éléments de diagnostic, des préconisations pour renforcer le cadrage national de la TVB sur cette thématique et mieux définir ce que pourrait être la trame noire.

1. Quelle prise en compte de la pollution lumineuse dans les Schémas régionaux de cohérence écologique ?

1.1. Éléments méthodologiques : sources et critères d'évaluation de la prise en compte de la pollution lumineuse dans les SRCE

- 17 Pour rappel, les Schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE) ont été élaborés conjointement par les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et les Conseils régionaux de 2010 à 2015. Aujourd'hui, la phase d'adoption de ces schémas est terminée. Une étude documentaire a alors été menée pour constater la prise en compte ou non de la pollution lumineuse dans ces documents.
- 18 D'après Sordello *et al.* (2014), la lumière artificielle peut être intégrée aux différentes étapes de l'élaboration d'un réseau écologique :
 - lors de la phase de diagnostic et d'identification des enjeux ;

- lors de l'identification des réservoirs de biodiversité et des corridors qui composent les trames ;
 - lors de l'identification de zones de conflits entre les trames et la pollution lumineuse ;
 - dans le plan d'actions pour la préservation/restauration du réseau écologique, à travers une gestion de la lumière artificielle nocturne dans les trames ;
 - dans le dispositif de suivi à mettre en place pendant l'application du plan d'action.
- 19 C'est cette grille de lecture qui a été utilisée pour évaluer la prise en compte de la pollution lumineuse à ces différentes étapes dans chaque SRCE.
- 20 Les vingt SRCE adoptés de France métropolitaine ont été considérés ainsi que le projet de SRCE de Picardie (non adopté). En Corse, c'est le Plan d'Aménagement et de Développement Durable, révisé en 2014, qui vaut SRCE et ce document a donc aussi été intégré à l'analyse. Enfin, les SRCE sont également soumis à l'Évaluation environnementale (décret ministériel du 2 mai 2012) c'est-à-dire qu'avant leur adoption leurs impacts et leurs effets notables éventuels sur l'ensemble des composantes de l'environnement ont été évalués. L'analyse menée a donc aussi concerné les rapports de ces évaluations environnementales des SRCE.
- 21 La figure 3 synthétise les résultats obtenus et la figure 4 les cartographie à l'échelle nationale. Pour plus d'information, le lecteur peut se référer au bilan préliminaire publié par le MNHN (Sordello, 2015).

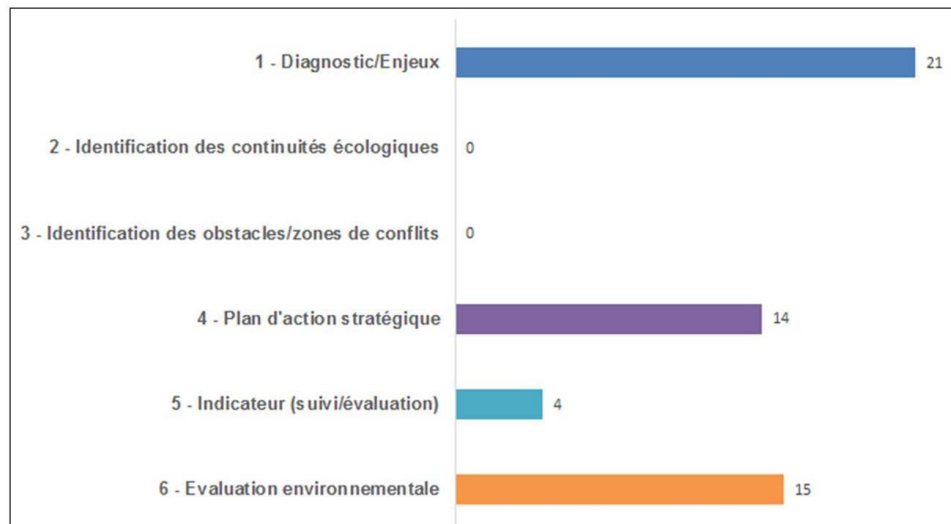
1.2. Résultats : évaluation de la prise en compte de la pollution lumineuse dans les SRCE

- 22 Les résultats de notre évaluation montrent, pour chacune des cinq étapes énoncées ci-dessus, que :
- 23 la pollution lumineuse est évoquée dans le volet diagnostic de 21 documents sur les 22 étudiés (seul le SRCE Basse-Normandie ne l'évoque pas). Cet enjeu est donc largement perçu dans les régions. La pollution lumineuse est identifiée comme une menace sur la biodiversité et plus particulièrement comme une source nouvelle de fragmentation. Le rôle du SRCE vis-à-vis de cette pression est aussi clairement reconnu, comme le souligne le SRCE Haute-Normandie en écrivant qu' « *il est indispensable de considérer la régression de la pollution lumineuse comme un enjeu fort du SRCE* » ;
- dans l'identification des continuités écologiques régionales, la pollution lumineuse n'a pas été intégrée. De manière très anecdotique, le SRCE Midi-Pyrénées la mentionne mais sans démarche concrète explicitée ;
 - en ce qui concerne l'identification des obstacles, c'est-à-dire des zones de conflits entre les continuités écologiques et les éléments fragmentants du territoire régional, trois SRCE (Corse, Île-de-France, Nord-Pas-de-Calais) ont cité la pollution lumineuse comme faisant partie des pressions à examiner. Cependant dans les faits, ces SRCE ne présentent pas de détails sur la manière dont la pollution lumineuse a effectivement été intégrée dans ce processus et il semble qu'elle ne l'ait pas été concrètement ;
 - la pollution lumineuse est présente dans le plan d'action stratégique de quatorze SRCE (soit 65 %). Les actions relevées dans les SRCE sont de trois types :
 - des actions de réduction de la pollution lumineuse (dix SRCE : Bourgogne, Bretagne, Champagne-Ardenne, Centre, Franche-Comté, Midi-Pyrénées, Nord-Pas-de-Calais, Poitou-Charentes, Picardie, Rhône-Alpes). Elles portent sur des mesures génériques de réduction

de pollution lumineuse (direction du flux, extinction nocturne, ..) à mettre en œuvre dans les continuités écologiques du SRCE pour restaurer des habitats nocturnes de qualité. Dans certaines régions, l'objectif est clairement de favoriser les déplacements des espèces (ex : « Limiter la pollution lumineuse en faveur des déplacements des espèces nocturnes » en Franche-Comté) ;

- des actions d'acquisition de connaissances (six SRCE : Bourgogne, Franche-Comté, Haute-Normandie, Île-de-France, Midi-Pyrénées, Provence-Alpes-Côte d'Azur). Elles portent sur des aspects fondamentaux comme une meilleure compréhension de l'effet fragmentant de la pollution lumineuse (ex : « Analyser l'impact de la pollution lumineuse sur la fonctionnalité des continuités » en Île-de-France). Elles visent également un approfondissement de la prise en compte de cette thématique dans la TVB avec comme objectif de définir une nouvelle trame (trame noire, trame nuit) (ex : « Piste d'action 16.6. Développement ou approfondissement de nouvelles recherches sur les différentes trames : Trame nuit, Trame son, magnétique, air » en PACA) ;
 - des actions de sensibilisation (trois SRCE : Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes, Rhône-Alpes). Elles ont pour ambition d'encourager, accompagner et récompenser les acteurs (aussi bien élus que citoyens) afin de poursuivre la prise de conscience.
 - Quatre SRCE (Franche-Comté, Midi-Pyrénées, Nord-Pas-de-Calais, Picardie) ont aussi mentionné le souhait de développer des indicateurs de suivi et d'évaluation du SRCE sur les aspects de pollution lumineuse. Il s'agit pour les quatre régions d'indicateurs de pression (ex : « Suivi de l'évolution de la pollution lumineuse » en Nord-Pas-de-Calais). En Picardie, un indicateur de réponse est aussi prévu (« Nombre d'inventaires ou d'études en lien avec le SRCE prenant en compte la pollution lumineuse » en Picardie).
- 24 Enfin, en ce qui concerne l'évaluation environnementale des SRCE, la pollution lumineuse y est abordée par quinze régions (Aquitaine, Champagne-Ardenne, Corse, Ile-de-France, Limousin, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur ne la mentionnent pas). L'évaluation environnementale a pour but d'identifier tout d'abord des enjeux environnementaux puis de voir quel est le rôle, positif ou négatif, direct ou indirect, à court/moyen/long terme, du SRCE vis-à-vis de ces enjeux. La plupart du temps, les régions ont identifié un enjeu concernant la pollution lumineuse. Dans la totalité des cas, le rôle du SRCE vis-à-vis de cet enjeu est vu comme positif, dans la mesure où le SRCE tend à réduire cette pollution, même faiblement.

Figure 3 : Nombre de régions ayant intégré la lumière artificielle pour chaque étape d'élaboration de leur SRCE



R. Sordello, 2017.

1.3. Principaux enseignements

- 25 Ce bilan de l'évaluation des SRCE montre que la pollution lumineuse soulève des enjeux vis-à-vis de la biodiversité qui sont nettement perçus au niveau régional par les acteurs de la TVB. Cette pollution est désormais considérée à juste titre comme une forte menace sur la biodiversité, y compris en tant qu'élément fragmentant. D'autre part, la TVB est bien vue comme une politique adaptée pour répondre à cette problématique, par son approche spécifique des réseaux écologiques. Dans les faits, la pollution lumineuse reste peu prise en compte dans les continuités écologiques régionales. Ce constat n'est donc pas dû à une ignorance des enjeux et peut plutôt s'expliquer par un manque de méthodologie sur ce sujet nouveau. De nombreuses actions ont justement été prévues par les SRCE pour aller plus loin en connaissance et en pratique, ce qui témoigne d'une dynamique enclenchée sur le long terme au niveau régional.

2. Quelle prise en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques à l'échelle locale ?

2.1. Éléments méthodologiques : sources et critères d'analyse mobilisés

- 26 Contrairement au bilan présenté précédemment à propos des SRCE et de l'échelle régionale, l'analyse suivante proposée pour l'échelle locale n'a pas pour but d'être exhaustive. L'objectif de cette partie est de montrer que des initiatives locales ont émergé sur la prise en compte de la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques. Ce recensement s'appuie sur un suivi effectué au titre du centre de ressources TVB ainsi que sur la participation directe à certains projets dont les porteurs ont sollicité le MNHN pour fournir une expertise écologique. Le MNHN a aussi été missionné dernièrement par

l'Agence française pour la biodiversité (AFB) pour l'aider à organiser une formation sur la « Trame noire » qui s'est déroulée en juillet 2017³, ce qui a contribué à la recherche et à la connaissance des initiatives en cours. Enfin, la plateforme NuitFrance sur la nuit, la biodiversité nocturne et la pollution lumineuse en France⁴, ouverte en 2014, est aussi une source d'information sur ce type d'initiatives. En résumé, les éléments décrits ci-après sont donc issus de la participation à des colloques, à des réunions ou à des comités de pilotage, d'échanges téléphoniques ou d'entretiens ainsi que de lecture de divers documents (communiqué de presse, résultats d'appels à projets, sites internet, ...).

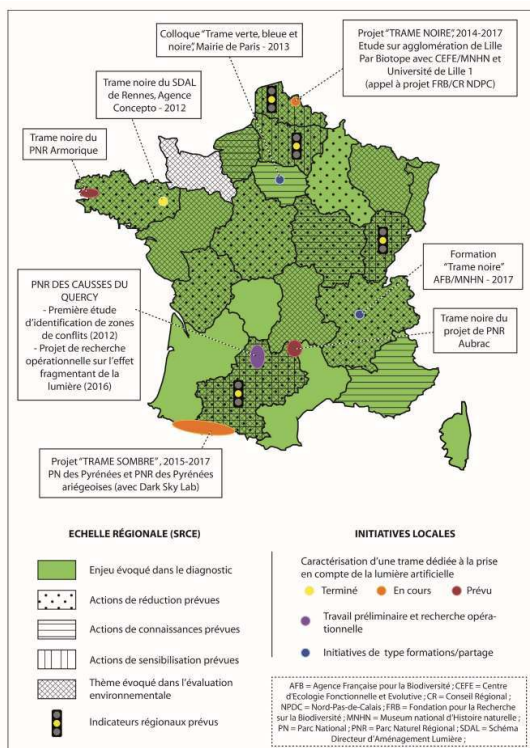
2.2. Résultats : des projets concrets et pionniers ont émergé à l'échelle locale pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques

- 27 Les initiatives développées ci-après ont été localisées à l'échelle nationale (figure 4).
- 28 Plusieurs initiatives se mettent en place à l'échelle des communes ou intercommunalités. Tout d'abord, et pour la première fois, un colloque intitulé « Trame verte, trame noire en zone urbaine dense »⁵ a été organisé par la Mairie de Paris en 2012, marquant le début d'une dynamique autour de l'ambition d'une trame noire en complément d'une trame verte et bleue.
- 29 En outre, depuis 2014, un projet intitulé « Trame noire » est piloté par le bureau d'étude Biotope à l'échelle de l'agglomération lilloise⁶. Ce projet comporte un volet écologique et un volet sociétal, développés en partenariat avec le MNHN, le Centre d'Écologie Fonctionnelle et Evolutive et le laboratoire « Territoires, Villes, Environnement & Société » de l'Université de Lille Sciences et Technologies. Ce projet est réalisé dans le cadre d'un appel à projets du Conseil régional Nord-Pas-de-Calais et de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité. Le premier volet cible les chiroptères avec comme objectif de modéliser une trame noire sur l'agglomération lilloise (Faure, 2017). La lumière artificielle a ici été intégrée comme un facteur diminuant la perméabilité du paysage urbain. Le volet sociétal s'attache à évaluer l'acceptabilité de la trame noire auprès des habitants et à construire avec eux un argumentaire (Hinnewinkel, 2017). Un lien personnel et parfois même affectif et psychologique peut en effet exister vis-à-vis de l'éclairage artificiel nocturne qui renvoie à la symbolique de la lumière (progrès, sécurité, ...) et de l'obscurité (ténèbres, peur, ...). Ces ressentis peuvent éventuellement constituer des freins à certaines mesures de gestion (baisse des intensités des éclairages, extinction en cœur de nuit, ...). Il paraît donc tout à fait pertinent de mener des études transversales écologie-société de ce type pour mieux comprendre les mécanismes puis pour favoriser l'acceptabilité des mesures à visées écologiques.
- 30 Enfin, on peut évoquer le Schéma directeur d'aménagement lumière (SDAL) de la ville de Rennes. Les SDAL sont des documents réalisés à l'initiative des collectivités dans le but de fixer les grandes orientations en matière d'éclairage urbain. Dans le SDAL de Rennes, approuvé en 2012, une trame noire a été identifiée. Cette trame vient en complément et en appui des trames verte et bleue de la ville afin d'assurer une continuité de circulation nocturne des espèces animales vers la ville ou la campagne (Agence Concepto, 2015). Elle consiste ainsi en une délimitation de zones d'obscurité (espaces naturels sensibles, parcs, les jardins et friches) partielle ou temporaire et de corridors obscurs assurant des liens entre elles et avec l'extérieur de la ville (allées rennaises, faisceaux ferroviaires, ...) (Ville

de Rennes, 2014). À l'intérieur de cette trame, l'éclairage nocturne est géré en vue de minimiser ses impacts sur la biodiversité (éclairages en contre-plongée proscrits pour diminuer le halo lumineux, tonalités de lumière orange ou ambre privilégiées pour minimiser les impacts sur les insectes, ...) (Ville de Rennes, 2014). Cette initiative de trame noire est intéressante car elle a été développée par un acteur du domaine de l'éclairage et non pas de la biodiversité, l'Agence de concepteurs-lumière Concepto. Ceci démontre l'intérêt croissant de cette profession pour les enjeux environnementaux. Dans le même temps, cela peut aussi expliquer qu'une « supériorité » semble avoir été accordée aux besoins d'éclairage, qui ont ainsi pu venir comme des facteurs limitants la trame noire (« les secteurs d'obscurité ont été délimités de manière à ne pas traverser ni se superposer aux lieux de résidences et d'activités nocturnes et des parcours ont été identifiés pour permettre la circulation nocturne en toute sécurité des personnes à travers ou en lisière des sites obscurs » (Ville de Rennes, 2014)).

- 31 Plusieurs démarches de trames prenant en compte la lumière artificielle nocturne ont aussi été réalisées ou sont en cours en France dans des espaces naturels ou protégés.
- 32 Une étude pilote et exploratoire a été menée par le Parc Naturel Régional (PNR) des Causses du Quercy en 2012 (Garnier, 2012). Des cartographies de pollution lumineuse ont été superposées aux différentes sous-trames de la TVB du parc afin d'identifier d'éventuelles zones de conflits avec la lumière artificielle. En 2016, le PNR a également initié un programme de recherche expérimentale pour évaluer l'effet fragmentant de la lumière artificielle sur les mammifères terrestres en vue de mieux comprendre le mécanisme et alimenter la caractérisation de futures trames noires (Douglazet, 2016). L'expertise du MNHN a ici été sollicitée par le PNR pour l'accompagner sur le montage du protocole scientifique.
- 33 Également, le Parc national des Pyrénées (PNP) et le PNR des Pyrénées ariégeoises (PA) mènent actuellement un projet destiné à caractériser leur trame sombre (Parc national des Pyrénées, 2016). Le travail est effectué par le bureau d'étude Dark Sky Lab (DSL) avec l'appui technique et scientifique du MNHN, du Conservatoire des Espaces naturels Midi-Pyrénées et de la Régie du Pic du Midi. Ici, une première partie du travail consiste à caractériser une trame sombre sur ces territoires. Cette dernière est identifiée à partir d'un croisement cartographique entre la TVB du PNP et du PNR PA et les cartographies de pollution lumineuse produite par DSL. La trame sombre résulte de l'exclusion des zones lumineuses au sein de la TVB, après détermination d'un seuil de sensibilité pour des espèces modèles (ici des chauves-souris). Une deuxième partie du travail consiste à faire intervenir la pollution lumineuse dans la qualification de fonctionnement écologique des réservoirs de biodiversité. Dans la mesure où la lumière artificielle nocturne dégrade la qualité des habitats, celle-ci est ici intégrée comme un facteur négatif faisant diminuer la « note » attribuée à chaque élément de trame.
- 34 Récemment, d'autres PNR ont également montré l'ambition de cartographier une trame noire sur leur territoire, comme le PNR Armorique⁷ ou le projet de PNR Aubrac⁸.

Figure 4 : Carte de France récapitulant la prise en compte de la pollution lumineuse dans les SRCE et localisant différentes initiatives locales pionnières en la matière



R. Sordello, 2017.

2.3. Principaux enseignements

- 35 Les cas d'études présentés ci-dessus montrent bien que, en dépit d'un cadrage national de la TVB relativement faible actuellement à propos des enjeux de pollution lumineuse, des projets concrets et pionniers ont été engagés par des acteurs locaux pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les trames écologiques. Parmi ces acteurs on retrouve aussi bien des collectivités, des bureaux d'études ou des gestionnaires d'espaces naturels, issus principalement du domaine de la biodiversité mais parfois aussi du secteur de l'éclairage. Ces initiatives sont tout aussi variées sur le fond puisqu'elles relèvent à la fois de l'organisation de formations/colloques, de l'élaboration de documents de planification ou encore de l'acquisition de connaissances. En outre, elles sont développées sur des types de territoires très divers (milieux urbains de grandes métropoles, milieux naturels et semi naturels d'un parc naturel régional, milieux naturels protégés d'un parc national, ...). Le tableau 1 synthétise cette diversité sur la base des projets menés à Lille, dans les Pyrénées, dans le Quercy et à Rennes.

Tableau 1 : Quatre cas d'études locales sur la trame noire/sombre

Intitulé du projet	Période	Structure porteuse	Partenaires principaux	Enjeux/ Objectifs	Territoire concerné	Remarques
--------------------	---------	--------------------	------------------------	-------------------	---------------------	-----------

Trame sombre	2015-2017	Parc national des Pyrénées	<p>Prestataire : -Dark Sky Lab</p> <p>Conseils : Museum national d'Histoire naturelle (MNHN), Conservatoire des -Espaces naturels Midi-Pyrénées, Régie du Pic du Midi</p>	<p>-Caractériser une trame sombre sur le territoire du parc</p> <p>-Qualifier la fonctionnalité des éléments de la trame au regard de leur niveau de pollution lumineuse</p>	<p>Parc national des Pyrénées => Espace protégé</p>	<p>-Enjeux écologiques au cœur du projet</p> <p>-Collaboration avec le secteur astronomique</p>
Trame noire	2014-2017	Bureau d'étude Biotope	<p>MNHN</p> <p>-Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Évolutive</p> <p>-Laboratoire « Territoires Villes Environnement et Société » de l'Université de Lille 1</p>	<p>-Élaboration d'une trame noire à partir des chauves-souris</p> <p>-Construction d'un argumentaire avec les habitants</p>	<p>Lille => Zone urbaine</p>	<p>-Initiative d'un bureau d'études sélectionné par appel à projet</p> <p>-Portage par un acteur de l'écologie</p> <p>-Volet sociétal en association avec le volet biodiversité</p>
Prendre en compte la pollution lumineuse dans l'identification des continuités écologiques	2012 et 2016	Parc naturel régional des Causses du Quercy	<p>MNHN</p> <p>-Inra Toulouse</p> <p>-ONCFS</p>	<p>-Identifier des zones de conflits entre trame écologique et pollution lumineuse</p> <p>-Accroître la connaissance scientifique opérationnelle</p>	<p>PNR des Causses du Quercy => Zone naturelle et semi-naturelle</p>	<p>-Projet précurseur, centré sur les enjeux écologiques, à visée très opérationnelle (conflits à résoudre).</p> <p>-Réflexion plus large incluant une acquisition de connaissances</p>

Trame noire du Schéma Directeur d'Aménagement Lumière	2012	Rennes Métropoles	Prestataire : Concepto - Agence de conception lumière	-Intégrer les enjeux de biodiversité dans le Schéma directeur d'aménagement de lumière de Rennes dans la limite d'une compatibilité avec les besoins humains	Rennes => Zone urbaine	-Réalisation par un acteur de l'éclairage et non pas du secteur de la biodiversité => + : Intérêt manifeste de la profession / - : Enjeux biodiversité moins prioritaires
---	------	-------------------	---	--	------------------------	--

R. Sordello, 2017

- 36 En conclusion, on assiste ces dernières années à une dynamique locale « buissonnante » autour de la prise en compte de la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques. Celle-ci vient alors légitimer, en complément de ce qui a été dit précédemment sur les SRCE, la nécessité d'un renforcement du cadrage national de la TVB. Une mise en phase entre le niveau national et local est en effet nécessaire. Cette reconnaissance par l'Etat national doit permettre - outre un accompagnement méthodologique - une meilleure normalisation et plus d'homogénéité dans ces démarches de « trame noire » en fixant un cadre et des objectifs clairs par rapport à la préservation de la biodiversité nocturne. Le fait que l'AFB organise en 2017 pour la première fois une formation « Trame noire » montre d'ailleurs déjà un début d'institutionnalisation.

3. Vers l'élaboration d'une politique de « trame noire » ?

3.1. Vers une nouvelle trame dédiée à l'obscurité

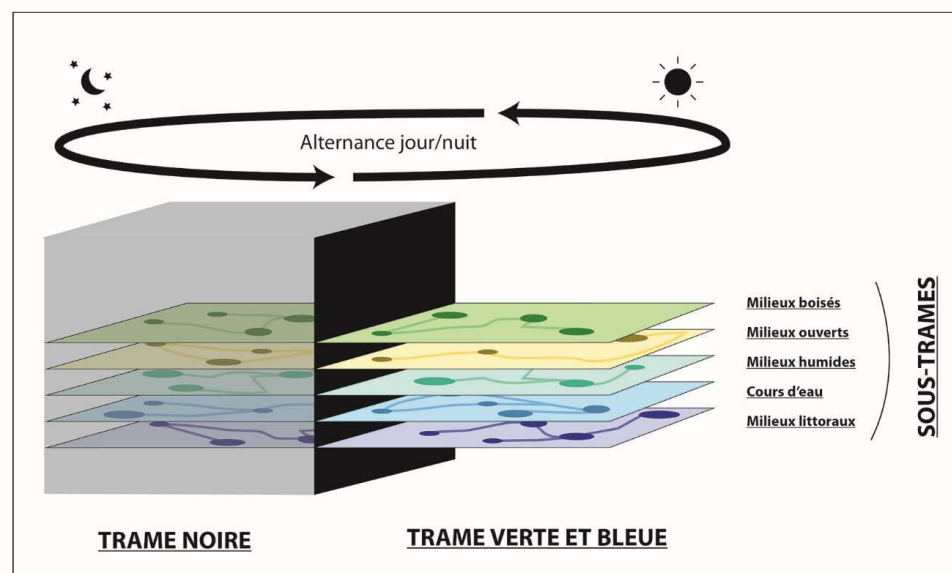
3.1.1. Une nouvelle trame déclinée en sous-trames

- 37 Nous avons vu que plusieurs démarches ont été développées pour prendre en compte la pollution lumineuse dans un réseau écologique. Par exemple, l'identification de zones de conflits entre la TVB et la lumière artificielle est déjà une manière de traiter le sujet sous l'angle opérationnel. En revanche, il paraît incontournable d'aller jusqu'à l'identification concrète d'une trame noire c'est-à-dire d'un réseau écologique formé de continuités écologiques fonctionnelles pour la biodiversité la nuit.
- 38 En outre, la pollution lumineuse possède des impacts sur les cortèges d'espèces de tous les milieux : par exemple les milieux aquatiques (Riley *et al.*, 2013), les milieux humides (Hall *et al.*, 2016), les milieux boisés (Threfall *et al.*, 2013), les milieux ouverts (Davies *et al.*, 2017) ou encore les milieux littoraux (Thums *et al.*, 2016). Il est donc nécessaire d'identifier des réservoirs et des corridors nocturnes pour tous ces milieux, représentés par la notion de sous-trames dans la politique TVB. Le Code de l'environnement (article R. 371-27) demande en effet à ce que la TVB se décline en plusieurs sous-trames, c'est-à-dire des sous-réseaux écologiques formés par des réservoirs et des corridors appartenant à

différents milieux. C'est une manière de garantir la fonctionnalité écologique pour les différentes exigences de la faune et de la flore.

- 39 Ici, il s'agit donc au final d'identifier une nouvelle trame « noire », composée de continuités nocturnes, pour ces différentes sous-trames afin de couvrir la palette des milieux impactés par la pollution lumineuse (figure 5).

Figure 5 : Schéma de déclinaison de la trame verte et bleue et donc de la trame noire en sous-trames



R. Sordello, 2017.

3.1.2. Terminologie : comment nommer cette nouvelle trame ?

- 40 La dénomination de cette nouvelle trame est un point important. En effet, c'est une première étape vers sa reconnaissance, sa diffusion et son application. Le nom d'un programme est son véhicule et il doit donc être choisi à la fois au regard du message que l'on souhaite porter (fond) mais aussi des réactions positives comme négatives que ce nom peut éventuellement entraîner. Par exemple, le choix du terme « trame » pour la TVB a été décidé pour éviter les crispations des acteurs de terrain (notamment la profession agricole) qu'aurait suscitées le terme de « réseau » du fait du passif avec le programme Natura 2000.
- 41 Sur le fond, la terminologie « trame noire » paraît très cohérente pour désigner une trame caractérisée précisément par l'obscurité. Dans le même temps, l'utilisation de l'adjectif « noir » présente aussi l'intérêt d'être dans la continuité des adjectifs de couleur, déjà choisis par le législateur dans l'appellation « trame verte et bleue » lors de la création de cette politique publique (désignant respectivement les composantes terrestres et aquatiques/humides de la trame). La « trame noire » apparaît donc ici comme une suite logique aux trames vertes et aux trames bleues. Néanmoins, il est vrai que l'adjectif « noire » peut renvoyer à une interprétation péjorative pour certains publics, du fait des projections potentiellement négatives que cette couleur - et l'obscurité à laquelle elle fait référence - peuvent susciter.

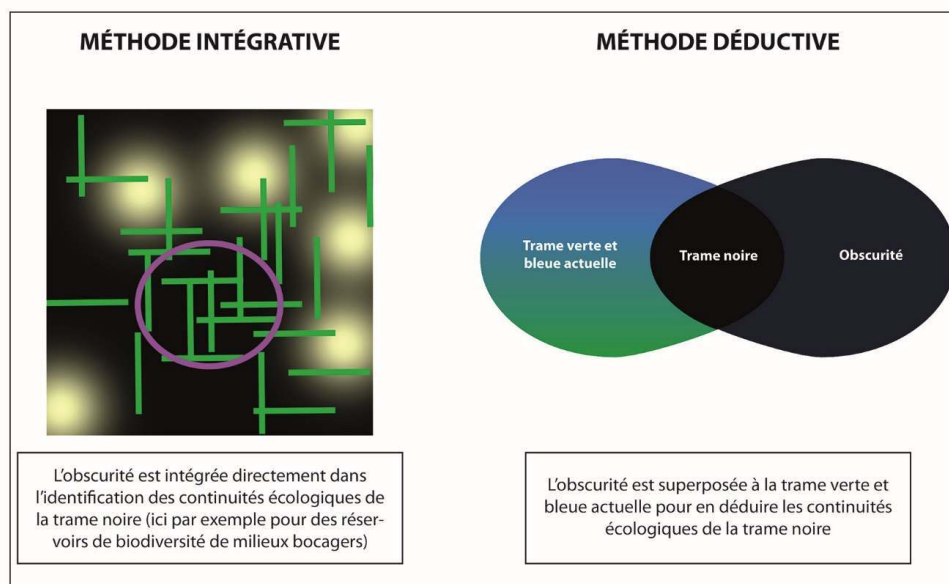
42 Cependant, il ressort du bilan effectué sur les SRCE que sept d'entre eux ont utilisé à un moment donné la dénomination « trame noire », ce qui montre que cette expression est déjà répandue. Le terme de « trame noire » est aussi celui retenu par les expériences citées dans cet article menées à Rennes et à Lille. L'AFB a aussi repris cette terminologie pour sa formation tenue en 2017. Néanmoins, le PNP et le PNR PA ont opté pour l'appellation « trame sombre ». En Provence-Alpes-Côte d'Azur, le SRCE utilise quant à lui la terminologie « trame nuit ». Il est à noter ici que l'expression « trame nocturne » est quant à elle une marque déposée à l'Institut national de la propriété industrielle par l'Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturne.

3.1.3. Méthodologie : comment identifier la trame noire ?

43 En s'appuyant sur les expériences et réflexions existantes énumérées dans cet article, il apparait que la trame noire peut résulter de deux approches différentes (figure 6) :

- une approche intégrative : ces pollutions peuvent être prises en compte *a priori* comme des facteurs diminuant la « perméabilité » du paysage (Sordello *et al.*, 2014). Elles peuvent ainsi être considérées dans les modélisations des continuités écologiques, à part ou cumulées aux facteurs usuellement considérés (fragmentation matérielle), pour identifier les réservoirs de biodiversité et les corridors écologiques. C'est la méthode employée par Biotope dans le projet « Trame noire » de Lille,
- une approche déductive : de manière plus rapide, la trame noire peut être caractérisée en effectuant une extraction *a posteriori* par un croisement cartographique entre ces pressions et la TVB telle qu'elle est identifiée actuellement. La trame noire est alors ici incluse dans la TVB. C'est la démarche utilisée par le bureau d'études DSL sur les territoires du PNP et du PNR PA.

Figure 6 : Deux méthodes - intégrative ou déductive - pour caractériser la trame noire

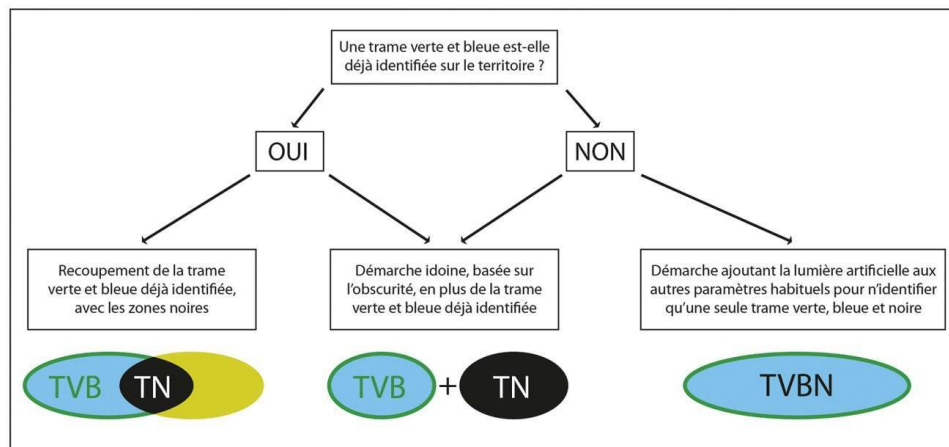


R. Sordello, 2017 d'après Sordello *et al.*, 2014.

44 Ainsi, en fonction de l'état d'avancement dans la démarche trame verte et bleue sur un territoire, les acteurs concernés pourront choisir au moins trois circuits (figure 7) :

- créer une nouvelle trame noire venant s'ajouter à la TVB déjà identifiée sur le territoire ;
- déduire la trame noire de la TVB déjà identifiée sur le territoire avec les cartes de pollution lumineuse, pour ne retenir que les zones noires de chaque sous-trame ;
- enfin, si aucun réseau écologique n'a été identifié sur le territoire, une autre possibilité est aussi d'ajouter la lumière artificielle aux autres critères habituels de qualité et de perméabilité des milieux (urbanisation, végétation, ...), selon les mêmes méthodes qu'en 1-, pour n'identifier qu'une seule trame qui soit à la fois « verte, bleue et noire ».

Figure 7 : Arbre décisionnel aboutissant à une ou plusieurs trames verte, bleue et/ou noire



R. Sordello, 2017.

3.2. Consolider les Orientations nationales de la trame verte et bleue

45 Les éléments rassemblés et analysés dans cet article concernant le sujet « Pollution lumineuse et réseaux écologiques » montrent depuis l'élaboration du cadrage national de la TVB en 2007-2010 :

- une évolution importante des connaissances scientifiques avec désormais des articles mettant en évidence un effet barrière net,
- des pistes méthodologiques concrètes formulées par le centre de ressources TVB,
- une bonne perception de l'enjeu à l'échelle régionale,
- une dynamique des acteurs de terrain, y compris des gestionnaires d'espaces naturels et des collectivités.

46 En outre, la base législative de la TVB a évolué dernièrement dans le cadre de la loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (loi « Biodiversité »). Celle-ci a modifié l'article L371-1 du Code de l'environnement, qui énumère les objectifs de la TVB et stipule désormais que : « I- La trame verte et la trame bleue ont pour objectif d'enrayer la perte de biodiversité en participant à la préservation, à la gestion et à la remise en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques, tout en prenant en compte les activités humaines, et notamment agricoles, en milieu rural ainsi que la gestion de la lumière artificielle la nuit. ». Selon cette nouvelle formulation, la gestion de la lumière artificielle la nuit n'apparaît toujours pas comme un objectif direct de la TVB

mais son introduction dans cet article du Code de l'environnement souligne là-aussi une montée en puissance de ces enjeux.

- 47 Au regard de ces constats et évolutions, il paraît donc utile et justifié de renforcer les « Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques » sur ce sujet. Cette consolidation pourrait se traduire de quatre manières possibles :
- 48 En décrivant davantage les enjeux soulevés par la pollution lumineuse dans la partie stratégies et objectifs des ONTVB. Un nouvel objectif ou une ligne directrice nouvelle pourraient être ajoutés dans les ONTVB sur la réduction de la pollution lumineuse par la TVB et en particulier de son effet barrière ;
- 49 En proposant des pistes méthodologiques sur la manière dont la pollution lumineuse peut être prise en compte dans les réseaux écologiques. Pour ce faire, il est possible de s'appuyer sur les propositions formulées par R. Sordello (2014). Un guide méthodologique national pourrait accompagner les ONTVB ;
- 50 En définissant ce que pourrait être la trame noire. Comme expliqué précédemment, la trame noire devrait résulter idéalement d'une démarche idoine intégrant la pollution lumineuse dès l'identification des continuités écologiques et être déclinée par sous-trames. Mais, *a minima*, la trame noire peut provisoirement être dégagée par le recoupement entre la TVB déjà identifiée et les zones noires (démarche inverse à celle de l'identification des zones de conflits). Plus largement, il est important que les objectifs de préservation de la biodiversité nocturne de cette nouvelle trame soient clairement explicités, au regard des possibles divergences entre les besoins et enjeux vis-à-vis de l'éclairage nocturne (économies d'énergie, besoins humains, biodiversité, ...).
- 51 En intégrant un nouvel enjeu de cohérence nationale dédié à cette pression. Les ONTVB comportent actuellement en annexe six cartes de France représentant des continuités écologiques d'importance nationale (CEIN) pour différents milieux, par exemple des continuités boisées. Ces continuités font partie des enjeux de cohérence nationale et devaient être prises en compte par les régions dans les SRCE au titre de l'article R. 371-24 du Code de l'environnement. Il serait donc pertinent d'ajouter une nouvelle carte de continuités nocturnes d'importance nationale, en reprenant la méthodologie utilisée pour les cartes déjà existantes qui est tout à fait adaptée pour cette démarche. Une telle carte permettrait de fixer des enjeux de préservation d'axes présentant une bonne qualité nocturne et qualifiés à ce titre d'importance nationale. Ces CEIN « nocturnes » traduiraient en effet des zones prioritaires au niveau national pour la préservation et la restauration de la qualité de l'environnement nocturne et en particulier de l'obscurité nécessaire à la biodiversité. Comme pour les autres CEIN, ces continuités nocturnes ne signifieraient pas que l'éclairage serait proscrit au niveau local car ces CEIN font ensuite l'objet d'une « prise en compte » c'est-à-dire d'une déclinaison permettant réinterprétations et ajustements (Sordello, 2017).
- 52 Enfin, notons que, sous l'impulsion de la loi du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République (loi NOTRe), les SRCE seront remplacés à l'horizon 2019 par des Schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET). Les SRADDET traiteront de différentes politiques sectorielles qu'ils devront concilier pour la planification régionale. Parmi ces politiques sectorielles, outre les continuités écologiques, on retrouve aussi l'énergie qui concerne elle-aussi de près la pollution lumineuse. Il paraît donc utile que les ONTVB proposent des éléments pour le

traitement de la pollution lumineuse dans le SRADDET afin de favoriser la conciliation des différents enjeux. Cela paraît d'autant plus important que les décisions prises pour les économies d'énergie (par exemple la conversion aux lampes LED⁹) sont justement susceptibles d'être contreproductives pour les enjeux de biodiversité (Wakefield *et al.*, 2015 ; Stone *et al.*, 2012).

Conclusion et perspectives

- 53 Actuellement, le cadrage national de la politique « trame verte, trame bleue » n'aborde que marginalement la problématique de la pollution lumineuse du fait du caractère émergent de cette thématique au moment du Grenelle de l'environnement de 2007. Malgré cela, les schémas régionaux de la TVB (SRCE) ont largement mis en avant ces enjeux dans leur diagnostic et ont prévu des actions, notamment d'acquisition de connaissance ou de gestion de l'éclairage dans les continuités écologiques. En outre, au niveau local, plusieurs expériences concrètes ont été engagées par des gestionnaires d'espaces naturels, bureaux d'études ou collectivités. Cet article souligne ainsi la manière dont la maîtrise d'ouvrage (Ministère public) et les acteurs opérationnels progressent, tantôt ensemble et tantôt séparément, et au final co-construisent une politique, dans un rapport qui n'est pas toujours descendant : en l'occurrence des innovations locales précèdent ici le cadrage national (logique *bottom-up*). A ce titre, il paraît nécessaire que le cadrage national de la TVB soit mis à jour à court ou moyen terme pour intégrer les avancées scientifiques et accompagner la dynamique des acteurs de terrain. Il est important que les enjeux soulevés par la pollution lumineuse concernant les continuités écologiques soient davantage soulignés dans les ONTVB et, au-delà, que la trame noire y soit reconnue et définie.
- 54 Le débat et la réflexion sur la manière de prendre en compte la pollution lumineuse doit se poursuivre. En outre, la recherche doit également être encouragée sur le sujet car de nombreuses connaissances scientifiques manquent encore. Ces lacunes de connaissances expliquent la difficulté des régions à mieux intégrer la pollution lumineuse dans leur SRCE (ex : « *Les connaissances relatives à cette problématique sont encore très partielles et la quantification de l'impact de cette pollution lumineuse sur les continuités écologiques reste encore à déterminer* » en Midi-Pyrénées). Des connaissances quantitatives sont nécessaires, par exemple des seuils de sensibilité des espèces concernant les variables de l'éclairage (niveau d'éclairement, distance à l'éclairage, horaires d'allumage/extinction, ...). Sur certains points la littérature existe mais n'est pas rassemblée ni exploitée, ce qui pourrait justifier la réalisation de revues systématiques.
- 55 Les besoins sont aussi cartographiques car, en l'état, les acteurs disposent difficilement de cartes de pollution lumineuse aux échelles qui leurs sont adaptées. En outre, la pollution lumineuse peut être représentée à travers divers aspects quantitatifs (niveaux d'éclairement, visibilité du ciel étoilé, ...) ou qualitatifs (spectres lumineux, ...) et selon plusieurs modes de mesures (vue du ciel, mesure au sol, estimation indirecte par l'urbanisation, ...). Un travail est donc à mener pour aboutir à des représentations exploitables et rigoureuses de la pollution lumineuse vis-à-vis des enjeux de biodiversité.
- 56 Au regard des ressentis qui peuvent exister dans la population humaine vis-à-vis de l'éclairage nocturne, il est également essentiel de promouvoir des études en sciences humaines et sociales afin de mieux comprendre ces projections. Des études pluridisciplinaires - associant par exemple écologues, géographes et sociologues - sont

également à préconiser. Enfin, la construction d'indicateurs de suivis nationaux et régionaux, selon le modèle Pression-État-Réponse, est aussi à prévoir pour évaluer l'effet des actions mises en œuvre aussi bien opérationnelles (gestion de l'éclairage) que politiques ou stratégiques (planification de trames noires, ...).

BIBLIOGRAPHIE

- Altermatt F., Ebert D., 2016, Reduced flight-to-light behaviour of moth populations exposed to long-term urban light pollution, *Biology letters*, vol. 12, n° 4, <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0111>
- Azam C., Le Viol I., Julien J.F., Bas Y., Kerbirou C., 2016, Disentangling the relative effect of light pollution, impervious surfaces and intensive agriculture on bat activity with a national-scale monitoring program, *Landscape ecology*, vol. 31, n° 2471, <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0417-3>
- Agence Concepto, 2015, Une trame noire, en complément des trames vertes et bleues, *Horticulture et paysage*, vol. 03/2015, pp. 59-60.
- Baker B.J., Richardson J.M.L., 2006, The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, *Rana clamitans melatona*, *Canadian Journal of Zoologie*, vol. 84, pp. 1528-1532, <https://doi.org/10.1139/z06-142>
- Beaudouin L., 1985, Le comportement des animaux en présence de sources lumineuses (théorie de l'éclairage directionnel), *Cahier de liaison de l'OPIE*, vol. 19, n° 3-4, pp. 25-41
- Beier P., 1995, Dispersal of Juvenile Cougars in Fragmented Habitat, *The Journal of Wildlife Management*, vol. 59, n° 2, pp. 228-237, <https://doi.org/10.2307/3808935>
- Bliss-Ketchum L.L., De Rivera C.E., Turner B.C., Weisbaum D.M., 2016, The effect of artificial light on wildlife use of a passage structure, *Biological conservation*, vol. 199, pp. 25-28, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.04.025>
- Burel F., Baudry J., 1999, *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*, Paris, Tec & Doc, 359 p.
- Challéat S., 2010, « Sauver la nuit » - Empreinte lumineuse, urbanisme et gouvernance des territoires, Thèse de Géographie, Université de Bourgogne, 540 p.
- Cho Y.M., Ryu S.H., Lee B.R., Kim K.H., Le E., Choi J., 2015, Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment, *Chronobiology International*, vol. 32, n° 9, pp. 1294-1310, <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1073158>
- Dale M.R.T., Fortin M.J., 2005, From Graphs to Spatial Graphs, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 41, pp. 21-38
- Damschen E.I., Haddad N.M., Orrock J.L., Tewksbury J.J., Levey D.J., 2006, Corridors Increase Plant Species Richness at Large Scales, *Science*, vol. 313, <https://doi.org/10.1126/science.1130098>

- Davies T.W., Bennie J., Cruse D., Blumgart D., Inger R., Gaston K.J., 2017, Multiple night-time light-emitting diode lighting strategies impact grassland invertebrate assemblages, *Global Change Biology*, vol. 23, n° 7, pp. 2641-2648, <https://doi.org/10.1111/gcb.13615>
- Douglazet M., 2016, *Elaboration d'un protocole d'étude de l'impact de l'éclairage artificiel sur les déplacements des mammifères terrestres nocturnes*, Rapport de stage, Parc naturel régional des Causses du Quercy, 29 p.
- Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D., Kyba C.C.M., Elvidge C.D., Baugh K., Portnov B.A., Rybnikova N.A., Furgoni R., 2016, The new world atlas of artificial night sky brightness, *Science Advances*, Vol. 2, n° 6, <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- Faure B., 2017, Trame noire - Objectifs et organisation du projet de recherche. In : Formation « Intégrer la Trame noire dans son projet TVB » de l'Agence française pour la biodiversité, Laley, Juillet 2017.
- Gaston K.J., Jackson S.F., Cant u-Salazar L., Cruz-Pinon G., 2008, The ecological performance of protected areas, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 39, n° 93-11, <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173529>
- Gerrish G.A., Morin J.G., Rivers T.J., Patrawala Z., 2009, Darkness as an ecological resource: the role of light in partitioning the nocturnal niche, *Oecologia*, vol. 160, pp. 525-536, <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1327-8>
- Garnier H., 2012, *Comment prendre en compte la pollution lumineuse dans l'identification des continuités écologiques ?*, Université Paris Diderot, Application au territoire du Parc naturel régional des Causses du Quercy, 188 p.
- Hale J.D., Faibrass A.J., Matthews T.J., Davies G., Sadler J.P., 2015, The ecological impact of city lighting scenarios: exploring gap crossing thresholds for urban bats, *Global change biology*, vol. 21, n° 7, pp. 2467-2478, <https://doi.org/10.1111/gcb.12884>
- Hall A.S., 2016, Acute Artificial Light Diminishes Central Texas Anuran Calling Behavior, *American Midland Naturalist*, vol. 175, n° 2, pp. 183-193, <https://doi.org/10.1674/0003-0031-175.2.183>
- Hinnewinkel C., 2017, Construire un argumentaire en faveur de la trame nocturne - l'expérience du projet Trame noire à Lille. In : Formation « Intégrer la Trame noire dans son projet TVB » de l'Agence française pour la biodiversité, Laley, Juillet 2017.
- Holker F., Wolter C., Perkin E.K., Tockner K., 2010, Light pollution as a biodiversity threat, *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 25, n° 12, pp. 681-682, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>
- Jehle R., Wilson G.A., Arntzen J.W., Burke T., 2005, Contemporary gene flow and the spatio-temporal genetic structure of subdivided newt populations (*Triturus cristatus*, *T. marmoratus*), *Journal of Evolutionary Biology*, vol. 18, pp. 619-628, <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2004.00864.x>
- Jongman R.H.G., 1995, Nature conservation planning in Europe: developing ecological networks, *Landscape and Urban Planning*, vol. 32, n° 3, pp. 169-183, [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(95\)00197-0](https://doi.org/10.1016/0169-2046(95)00197-0)
- Knop E., Zollera L., Rysera R., Gerpea C., Hörlera M., Fontaine C., 2017, Artificial light at night as a new threat to pollination, *Nature*, Vol. 548, pp. 206-209, <https://doi.org/10.1038/nature23288>
- Le Corre M., Ollivier A., Ribes S., Jouventin P., 2002, Light-induced mortality of petrels: a 4-year study from Reunion Island (Indian Ocean), *Biological conservation*, vol. 105, pp. 93-102, [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00207-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00207-5)

- Lewanzik D., Voigt C.C., 2014, Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk, *Journal of applied ecology*, vol. 51, n° 2, pp. 388-394, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12206>
- Minnaar C., Boyles J.G., Minnaar I.A., Sole C.L., McKechnie A.E., 2014, Stacking the odds: light pollution may shift the balance in an ancient predator-prey arms race, *Journal of applied ecology*, vol. 52, n° 2, pp. 522-531, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12381>
- Opdam P., Steingröver E., Van Rooij S., 2006, Ecological networks: A spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes, *Landscape and Urban Planning*, vol. 75, n° 3-4, pp. 322-332, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.015>
- Parc national des Pyrénées, 2016, *Rallumons les étoiles en restaurant la trame sombre*, Communiqué de presse, 3 p.
- Picchi M.S., Avolio L., Azzani A., Brombin O., Camerini G., 2013, Fireflies and land use in an urban landscape: the case of *Luciola italica* L. (Coleoptera: Lampyridae) in the city of Turin, *Journal of Insect Conservation*, vol. 17, n° 4, pp. 797-805, <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9562-z>
- Rich C., Longcore T., 2006, *Ecological consequences of artificial night lighting*, Island Press, Washington D.C. USA, 458 p.
- Riley W.D., Davison P.I., Maxwell D.L., Bendall B., 2013, Street lighting delays and disrupts the dispersal of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry, *Biological Conservation*, vol. 158, pp. 140-146, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.09.022>
- Sekercioglu C.H., 2009, Tropical Ecology: Riparian Corridors Connect Fragmented Forest Bird Populations, *Current Biology*, vol. 19, n° 5, pp. 210-213, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.01.006>
- Sordello R., 2017, Des continuités écologiques d'importance nationale aux trames vertes et bleues régionales : quelles méthodes de prise en compte ?, *Sciences, Eaux et Territoires*, hors-série n° 33, mis en ligne le 22/02/2017, consulté le 20/08/2017, <http://www.set-revue.fr/node/http%3A//www.set-revue.fr/des-continuites-ecologiques-dimportance-nationale-aux-trames-vertes-et-bleues-regionales-quelles>
- Sordello R. 2015, *Première capitalisation méthodologique sur les Schémas régionaux de cohérence écologique adoptés ou en projet. Pollution lumineuse*. Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 15 p.
- Sordello R., Vanpeene S., Azam C., Kerbiriou C., Le Viol I., Le Tallec T., 2014, *Effet fragmentant de la lumière artificielle. Quels impacts sur la mobilité des espèces et comment peuvent-ils être pris en compte dans les réseaux écologiques ?*, Muséum national d'Histoire naturelle, Centre de ressources Trame verte et bleue, Paris, 31 p.
- Stephens S.E., Koons D.N., Rotella J.J., Willey D.W., 2003, Effects of habitat fragmentation on avian nesting success: a review of the evidence at multiple spatial scales, *Biological Conservation*, vol. 115, pp. 101-110, [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00098-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00098-3)
- Stone E.L., Jones G., Harris S., 2012, Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats, *Global change biology*, vol. 18, pp. 2458-2465, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02705.x>
- Swaddle J.P., Francis C.D., Barber J.R., Cooper C.B., Kyba C.C.M., Dominoni D.M., Shannon G., Aschenoug E., Goodwin S.E., Kawahara A.Y., Luther D., Spoelstra K., Voss M., Longcore T., 2015, A framework to assess evolutionary responses to anthropogenic light and sound, *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 30, n° 9, pp. 550-56, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.009>

- Threfall C.G., Law B., Banks P.B., 2013, The urban matrix and artificial light restricts the nightly ranging behaviour of Gould's long-eared bat (*Nyctophilus gouldi*), *Austral Ecology*, vol. 38, n° 8, pp. 921-930, <https://doi.org/10.1111/aec.12034>
- Thums M., Whiting S.D., Reisser J., Pendoley K.L., Pattiaratchi C.B., Proietti M., Hetzel Y., Fisher R., Meekan M.G., 2016, Artificial light on water attracts turtle hatchlings during their near shore transit, *Royal Society Open Science*, vol. 3, n° 160142, <https://doi.org/10.1098/rsos.160142>
- Torres A., Jaeger J.A., Alonso J.C., 2016, Assessing large-scale wildlife responses to human infrastructure development, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, n° 30, pp. 8472-8477, <https://doi.org/10.1073/pnas.1522488113>
- Urbanski J., Mogi M., O'Donnell D., Decotiis M., Toma T., Armbruster P., 2012, Rapid adaptive evolution of photoperiodic response during invasion and range expansion across a climatic gradient, *The American Naturalist*, vol. 179, n° 4, pp. 490-500, <https://doi.org/10.1086/664709>
- Van Grunsven R.H.A., Creemers R., Joosten K., Donners M., Veenendaal E.M., 2017, Behaviour of migrating toads under artificial lights differs from other phases of their life cycle, *Amphibia-Reptilia*, vol. 38, pp. 49-55, <https://doi.org/10.1163/15685381-00003081>
- Vandergast A.G., Bohonak A.J., Weissman D.B., Fisher R.N., 2007, Understanding the genetic effects of recent habitat fragmentation in the context of evolutionary history: phylogeography and landscape genetics of a southern California endemic Jerusalem cricket (Orthoptera: Stenopelmatidae: *Stenopelmatus*), *Molecular Ecology*, vol. 16, pp. 977-992, <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2006.03216.x>
- Veilleux C.C., Cummings M.E., 2012, Nocturnal light environments and species ecology: implications for nocturnal color vision in forests. *Journal of Experimental Biology*, vol. 215, <https://doi.org/10.1242/jeb.071415>
- Ville de Rennes, 2014, Schéma Directeur d'Aménagement Lumière - Version initiale, 111 p.
- Wakefield A., Stone E.L., Jones G., Harris S., 2015, Light-emitting diode street lights reduce last-ditch evasive manoeuvres by moths to bat echolocation calls, *Royal Society Open Science*, vol. 2, n° 150291, <https://doi.org/10.1098/rsos.150291>
- Zollner P.A., Lima S.L., 1999, Illumination and the perception of remote habitat patches by white-footed mice, *Ecological applications*, vol. 58, n° 3, pp. 489-500, <https://doi.org/10.1006/anbe.1999.1186>

NOTES

1. Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, <http://www.ademe.fr/collectivites-secteur-public/patrimoine-communes-comment-passer-a-laction/eclairage-public-gisement-deconomies-denergie>, consulté le 20/08/2017
2. ONTVB, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Document-cadre%20Orientations%20nationales%20pour%20la%20pr%C3%A9servation%20et%20la%20remise%20en%20bon%20%C3%A9tat%20des%20continuit%C3%A9s%20%C3%A9cologiques.pdf>, consulté le 20/08/2017.
3. Formation « Intégrer la Trame noire dans son projet TVB » de l'Agence française pour la biodiversité, <https://formation.espaces-naturels.fr/session/fiche?id=1623>, consulté le 20/08/2017
4. NuitFrance, <http://www.nuitfrance.fr>, consulté le 20/08/2017

5. Mairie de Paris, <http://acteursduparisdurable.fr/actus/retour-sur-la-conference-trame-verte-trame-noire-en-zone-urbaine-dense>, consulté le 20/08/2017
 6. Fondation pour la recherche sur la biodiversité, <http://www.fondationbiodiversite.fr/fr/recherche/appels-a-projets/en-cours/nord-pas-de-calais-2014.html?start=7>, consulté le 17/01/2017
 7. Chargé de mission trames vertes et bleues, élaboration du plan d'actions du territoire du PNR Armorique, https://www.emploi-environnement.com/fr/gestion_offre/visu_offre.php4?reference_offre=161085, consulté le 20/08/2017
 8. EDF soutient le projet PNR Aubrac, <https://www.edf.fr/groupe-edf/producteur-industriel/energies-renouvelables/hydraulique/edf-hydraulique-lot-truyere/edf-soutient-le-projet-pnr-aubrac>, consulté le 20/08/2017
 9. Light Emitting Diode
-

RÉSUMÉS

La disparition et la fragmentation des habitats naturels font partie des causes majeures d'érosion de la biodiversité. Face à ces pressions, le développement des réseaux écologiques, c'est-à-dire le maintien de milieux naturels connectés, est largement préconisé par les scientifiques et mis en œuvre par les gouvernements. En France, le Ministère de l'environnement pilote à ce sujet une politique publique, la Trame verte et bleue (TVB). Lors de la définition de son cadrage national (ONTVB) en 2007-2010, les relations entre la pollution lumineuse et les réseaux écologiques constituaient une problématique émergente. Aujourd'hui, la connaissance scientifique a nettement progressé. Depuis peu, un effet barrière de la lumière artificielle nocturne est démontré, celle-ci occasionnant des ruptures du noir qui peuvent être infranchissables pour certains animaux. La TVB apparaît donc comme un levier évident pour lutter contre la disparition et la fragmentation des habitats engendrées par la pollution lumineuse. Au niveau régional, les schémas d'application de la TVB ont d'ores et déjà fortement mis en avant cette problématique dans leur diagnostic. La pollution lumineuse n'est pas encore concrètement intégrée dans les continuités écologiques régionales. Néanmoins, la majorité des régions ont prévu des actions pour améliorer cette prise en compte à court ou moyen terme, avec, pour plusieurs d'entre elles, l'ambition d'élaborer une trame spécifique, noire. Au niveau local, plusieurs initiatives ont aussi émergé autour de la trame noire ou sombre sous l'impulsion de gestionnaires d'espaces naturels, bureaux d'études ou collectivités, montrant une vraie dynamique sur ce sujet dans les territoires. Au regard de ces évolutions, il est préconisé de renforcer les ONTVB sur la thématique pollution lumineuse. Cela peut se traduire par une meilleure définition des enjeux, par la formulation de pistes méthodologiques, par la définition d'une trame noire ou encore par l'ajout d'un enjeu de cohérence nationale.

Erosion of biodiversity is mainly caused by habitat loss and fragmentation. In this situation, ecological networks, which are composed by natural zones interconnected by corridors, are an operational answer preconized by scientists and developed by governments. In France, the Ministry of environment conducts a policy, named "Trame verte et bleue" (TVB), to protect and restore a green and blue infrastructure at different spatial scales. In 2007-2010, when the strategic framework document (named "ONTVB") was adopted, the relations between light pollution and ecological networks were still an emerging issue. But since TVB began, scientific

knowledge has clearly progressed. Recently a barrier effect of artificial light at night (ALAN) has even been demonstrated as light infrastructure can't be crossed by some animals. Then, TVB seems to be adapted to also reduce habitat fragmentation caused by light pollution. At the regional scale, planning documents (named "SRCE") strongly underlined the issues. Even if in practice ALAN hasn't been considered in the design of those regional ecological networks, actions have been planned to improve this point in the future. In addition, at the local scale, several projects have been currently developing by natural area managers, as national parks and regional natural parks, or by collectivities. Based on this diagnostic, this article makes recommendations to consolidate the national framework of the TVB programme to better take light pollution into account. For example, those strategic orientations could suggest a new dark ecological network ("trame noire") and give some methodologic details about how to design it. They also might set national priority zones to protected and restore the quality of nocturnal environment.

INDEX

Mots-clés : biodiversité, lumière artificielle, éclairage nocturne, corridors, fragmentation des habitats, réseau écologique, trame verte et bleue, trame noire, France

Keywords : biodiversity, artificial light at night, ALAN, corridors, habitat fragmentation, trame verte et bleue, trame noire, France

AUTEUR

ROMAIN SORDELLO

Chef de projet Trame verte et bleue
Muséum national d'Histoire naturelle
UMS 2006 Patrimoine naturel AFB-CNRS-MNHN
61, rue Buffon, Chez le CBNBP - CP53, 75005
Paris
romain.sordello@mnhn.fr