

Rapport d'étude

Bruit routier et faune sauvage

Juillet 2015



Rédacteur(s)

Guillaume DUTILLEUX – Cerema / Dter Est / Laboratoire de Strasbourg / Acoustique

téléphone : 03 88 77 46 07 – télécopie : 03 88 77 46 20

mél : guillaume.dutilleux@cerema.fr

Anaïs FONTAINE – Cerema / DTecITM / CSEP / Environnement

téléphone : 01 60 52 33 06

mél : anais.fontaine@cerema.fr

Relecture et renseignements techniques

Perrine VERMEERSCH – Cerema / DTecITM / CSEP / Environnement

téléphone : 01 60 52 30 25

mél : perrine.vermeersch@cerema.fr

Avant-propos

La présence d'oiseaux en bordure des infrastructures de transport, laisse à penser que le bruit ne représente pas forcément une gêne pour la faune sauvage. Pourtant, la sensibilité des animaux au bruit est connue depuis l'Antiquité [1].

De nos jours, peu d'espaces extérieurs connaissent une ambiance sonore dépourvue de bruits d'origine humaine. Même les parcs nationaux américains n'y échappent pas [2]. Les transports sont la cause principale de cette situation, qu'ils soient terrestres ou aériens. Parmi les différents modes, le trafic routier apparaît comme le principal contributeur. À cela s'ajoutent les activités de productions et d'extraction, ainsi que, dans une moindre mesure, les activités de loisirs qui peuvent être particulièrement bruyantes, bien qu'elles soient plus ponctuelles. L'accès permanent et généralisé à l'électricité joue aussi un rôle non négligeable dans cette situation. L'expansion des activités humaines se traduit aussi par une proportion de plus en plus grande d'espaces artificialisés, donc par la multiplication de sources de bruit sur le territoire.

En réaction à cela, la plupart des pays industrialisés se sont dotés d'une réglementation en matière de bruit dans l'environnement [3] afin de contrôler l'impact sanitaire de cette nuisance qui demeure au fil des décennies l'une des plus préoccupantes pour les français. Dans notre pays, le premier texte relatif au bruit routier remonte à 1978. La réglementation française s'est beaucoup développée dans le sillage de la loi "bruit" de 1992 [4] : l'effort considérable de modélisation qu'a impliqué la Directive européenne relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement [5] permet de prendre la mesure du problème. À partir des données d'exposition des populations fournies par les états-membres à l'Union Européenne, l'Organisation Mondiale de la Santé [6] a pu estimer qu'environ 1 million de DALYS¹ sont perdus chaque année à cause du bruit dans les grandes villes d'Europe occidentale.

1 Disability-Adjusted Life-Years¹ que l'on peut traduire par nombre d'années de vie en bonne santé perdues.

Page laissée blanche intentionnellement

Sommaire

1- Repères.....	7
1.1 - La communication acoustique chez l'animal.....	7
1.2 - Les enjeux de la communication acoustique.....	8
1.3 - Le son et sa propagation dans l'environnement, le cas du bruit routier.....	10
2 - Aspects réglementaires.....	12
2.1 - L'étude d'impact.....	12
2.2 - L'évaluation des incidences Natura 2000.....	13
2.3 - Espèces protégées.....	15
3 - Effets et impacts du bruit sur la faune sauvage.....	15
3.1 - Effets comportementaux.....	15
3.2 - Effets sur la biodiversité.....	19
4 - Pistes pour prendre en compte les impacts.....	21
4.1 - Expériences étrangères.....	21
4.2 - Esquisse d'une méthode adaptée au contexte français.....	23
5 - Perspectives.....	24
Bibliographie.....	26

Introduction

Force est de constater que les réglementations européennes et nationales en vigueur sur le bruit ne se préoccupent que des impacts sur la santé humaine. Au chapitre des exceptions, il faut mentionner l'Allemagne [7] qui a introduit des critères acoustiques dans sa loi de protection de la nature et les Pays-Bas² qui spécifient un niveau sonore maximal sur la « trame verte » nationale. En matière de bruit dans l'environnement, la règle veut donc que la biodiversité soit ignorée.

L'état actuel de la réglementation n'est pas seulement en contradiction avec les résultats de recherches qui établissent l'impact du bruit sur la communication acoustique, il l'est aussi avec la réalité de ses effets sur les écosystèmes.

Le présent rapport s'efforce d'éclairer les acteurs des infrastructures sur la question de l'impact du bruit engendré par les activités humaines (en mettant l'accent sur les transports routiers) sur la faune sauvage au sens large en milieu rural. Concernant l'avifaune urbaine, une première synthèse des effets observés est disponible auprès du Cerema [8]. Ici, bien qu'aucun taxon n'ait été *a priori* privilégié, une grande partie des connaissances disponibles concernent les oiseaux. Ce rapport ne prétend pas être un guide de l'étude d'impact acoustique sur la faune sauvage, mais son but est au moins de sensibiliser les acteurs de l'environnement et de l'aménagement au problème du bruit dans les milieux naturels.

Le document est organisé en quatre grandes parties. La première apporte des repères sur la communication acoustique animale en milieu extérieur et l'acoustique des transports. La deuxième examine les aspects réglementaires. La troisième documente les effets et les impacts du bruit des infrastructures sur la faune sauvage, sur la base d'une revue bibliographique. Les conséquences des perturbations acoustiques s'avèrent très variées et certaines vont clairement au-delà du simple changement comportemental. Plus de 150 références publiées entre 1978 et 2013 ont été consultées, en langues anglaise, allemande et française. Une sélection des publications principales est présentée à la fin de ce rapport. La quatrième partie esquisse la prise en compte du bruit dans la prévision de l'impact d'aménagements sur la biodiversité. La réduction et la compensation ne sont pas traitées.

² Martin van den Berg, Ministère néerlandais des infrastructures et de l'environnement, Comm. pers.

1- Repères

1.1 - La communication acoustique chez l'animal

La communication acoustique s'est développée chez les arthropodes et les vertébrés [9, 10]. Parmi les arthropodes terrestres, la communication acoustique concerne certains insectes. Il s'agit de la plupart des orthoptères, de certains hyménoptères, diptères, hémiptères, notamment les cigales, coléoptères et papillons. Certains diplopodes et arachnides l'utilisent aussi. Chez les vertébrés, la communication acoustique existe principalement chez les mammifères, les oiseaux et les amphibiens.

La connaissance de l'audition à travers le règne animal est très variable. À titre de repère, il peut être utile de rappeler quelques caractéristiques de celle de l'espèce humaine. Un sujet jeune et en bonne santé entend les sons dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 000 Hz, pour un niveau sonore de 60 dB (re : 20 microPascals). La sensibilité de son oreille est maximale entre 1 et 4 kHz où elle est de l'ordre de 0 dB (Figure 1).

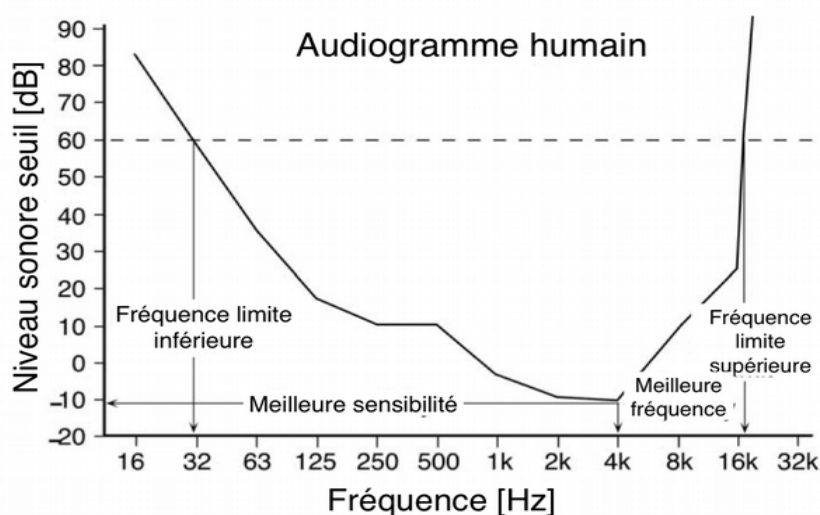


Figure 1: Paramètres essentiels de l'audiogramme : fréquences limites inférieure et supérieure, fréquence du maximum de sensibilité, maximum de sensibilité (d'après [11]). Les fréquences limites correspondent conventionnellement à une sensibilité diminuée de 60 dB par rapport à celle du seuil d'audition.

Les mammifères ont l'oreille la plus performante dans le règne animal [12]. Leur audition s'étend de quelques dizaines de Hz à 50 kHz (figure 2). Certains perçoivent les sons dès 20 Hz. D'autres entendent jusqu'à 150 kHz, en particulier les chiroptères. Dans le domaine où l'audition est la plus performante, le seuil d'audition est voisin de 0 dB, mais certaines espèces perçoivent les sons dès -20 dB³.

Les oiseaux entendent les fréquences supérieures à 100-250 Hz. Leur oreille trouve ses limites dans les aigus vers 10 kHz. L'oreille des oiseaux est moins sensible que celle des mammifères avec un seuil d'audition compris entre 5-15 dB en moyenne dans la zone de sensibilité maximale. Il a été montré que le pigeon perçoit les sons dès 5 Hz à des niveaux sonores réalistes [13]. Certains rapaces nocturnes peuvent toutefois entendre jusqu'à 12 kHz et surtout détecter des bruits très faibles, autour de -15 dB.

3 Un niveau sonore négatif correspond à une valeur efficace de la pression acoustique inférieure à 20 microPascals.

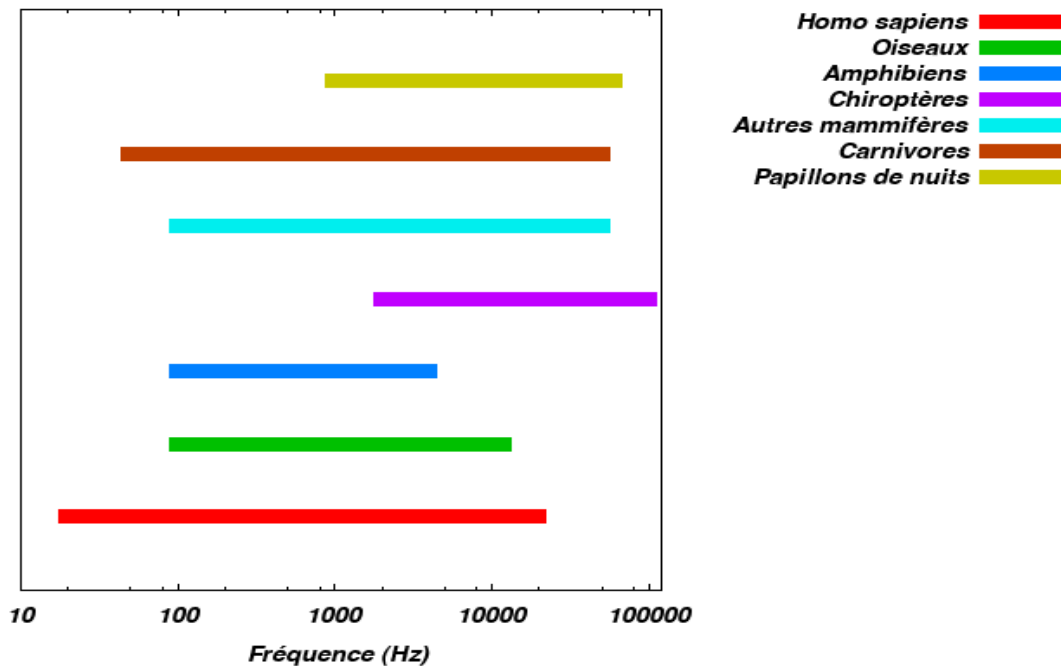


Figure 2 : Gammes d'audition [fréquence limite inférieure, fréquence limite supérieure] de différents taxons comparées à celle de l'homme.

Les données sont moins abondantes pour les amphibiens. Ils sont bien adaptés à la perception de sons aériens. Ils entendraient les sons entre 100 Hz et 4 kHz environ⁴. Le seuil d'audition des amphibiens se situe entre 20 et 40 dB avec le maximum de sensibilité entre 400 et 900 Hz [15]. Les parois latérales du corps, les poumons peuvent aussi servir de voies de réception des sons.

À côté de la fonction sociale de la communication acoustique, l'audition des insectes semble souvent façonnée par le sonar des chiroptères. Beaucoup d'insectes entendraient jusqu'à 100 kHz au moins pour cette raison, avec un maximum de sensibilité de l'oreille entre 20 et 60 kHz, ce qui correspond au domaine où est concentrée l'énergie des sonars. En dehors du moustique, dont le seuil d'audition est d'environ 0 dB en champ proche pour des fréquences de quelques centaines de Hz [16], le seuil d'audition est élevé. À titre d'exemple, il est supérieur à 40 dB pour les hétérocères (papillons de nuit) et à 80 dB pour certaines cigales.

À la lumière de ce qui précède, on peut conclure que les caractéristiques de l'oreille humaine ne sont pas une référence valide, s'agissant de la perception acoustique d'une autre espèce. La gamme de l'audible à travers le règne animal est beaucoup plus large que celle de l'homme, à la fois sur le plan du spectre et sur le plan du seuil d'audition. En particulier, il faut préciser que le décibel pondéré A (noté dB(A)) a été introduit pour corriger le niveau sonore de la variation de la sensibilité de l'oreille humaine afin d'obtenir une mesure plus représentative de l'intensité réellement ressentie, dans une gamme d'intensité voisine de 40 dB. Si l'utilisation du dB(A) s'est généralisée à une grande partie de la gamme d'intensité sonore, le recours à la pondération A pour une autre espèce est pour le moins hasardeux.

1.2 - Les enjeux de la communication acoustique

En général, la communication, dont l'acoustique est une modalité, est essentielle au bon fonctionnement des écosystèmes [16]. La communication a lieu entre les membres d'une population d'une espèce particulière, ou entre différentes espèces au sein d'un habitat donné (par exemple dans le cas de signaux d'alarme). L'environnement abiotique est aussi émetteur de sons

⁴ Durant la dernière décennie, des espèces qui communiquent dans la gamme ultra-sonore ont été découvertes en Extrême-Orient. Cette capacité leur permet de communiquer dans les environnements particulièrement bruyants que sont les abords des torrents [14].

perçus par des récepteurs biologiques. Comme exemples de sons abiotiques, on peut citer le bruit d'un torrent, le grondement du tonnerre.

La communication n'est pas toujours volontaire. On parle alors de communication par inadvertance, comme les bruits de pas d'un animal sur un sol encombré de feuilles mortes.

Le sonar des chiroptères et de quelques oiseaux peut aussi être considéré comme un système de communication à part entière où l'émetteur et le récepteur sont le même individu. Dans ce cas, certains auteurs parlent d'autocommunication [16]. Pour beaucoup de chiroptères, il s'agit du système sensoriel principal dans la détection et la localisation de la nourriture. Toutefois, les émissions acoustiques des chiroptères ne se limitent pas à celles de leur sonar [17]. Des cris sociaux sont aussi observés et certaines espèces de chiroptères choisissent de passer en « mode passif » et d'écouter les bruits émis par une proie lorsque celle-ci est suffisamment proche [18].

Outre les fonctions d'alarme et de recherche de nourriture, les signaux acoustiques sont utilisés dans la recherche de partenaires sexuels, la défense du territoire, le maintien du contact entre individus, qu'il soit familial ou plus large, la demande de nourriture chez les jeunes, l'agression, ou encore la stimulation. Le degré de dépendance vis-à-vis des signaux acoustiques varie d'une espèce à une autre, même chez les oiseaux [19], comme l'illustrent les figures 3 (chouette) et 4 (canard).

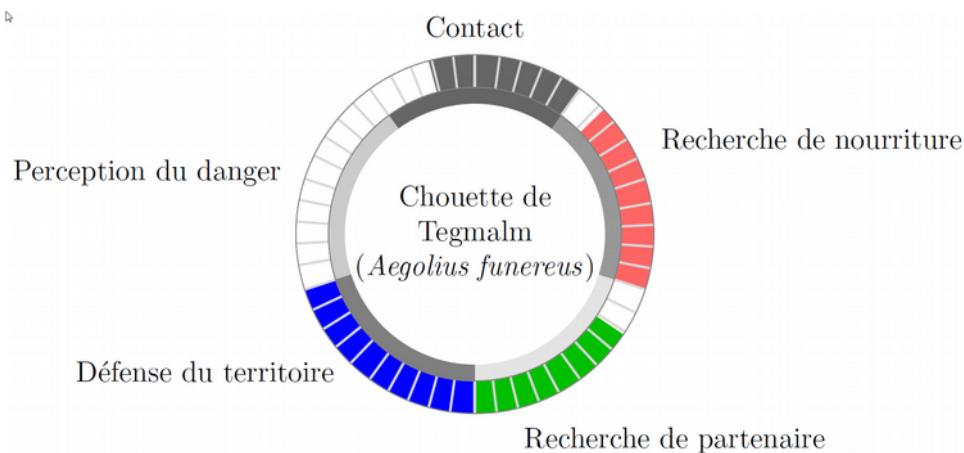


Figure 3 : Vulnérabilité au bruit de la Chouette de Tengmalm (*Aegolius funereus*). Adapté de [19]. Ce rapace nocturne exploite massivement la communication acoustique. En particulier, il détecte principalement ses proies par l'écoute des bruits qu'elles produisent au cours de leurs activités. Sur la figure, lorsqu'un des 5 grands secteurs de l'anneau est vide, l'espèce n'est pas sensible pour la fonction considérée (ici Perception du danger), lorsqu'il est plein, la sensibilité de l'espèce est maximale (ici Défense du territoire).

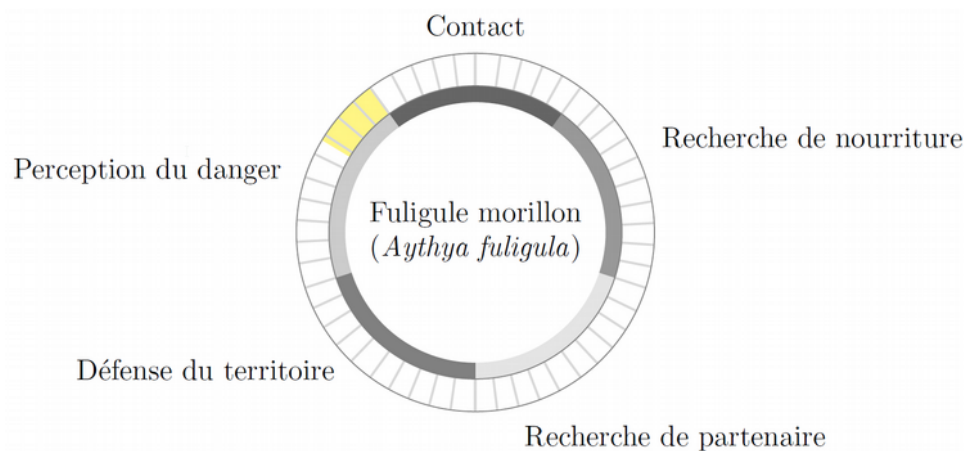


Figure 4 : Vulnérabilité au bruit du Fuligule morillon (*Aythya fuligula*). Adapté de [19]. Le mode de vie de cette espèce, diurne, grégaire et habituée des étendues d'eau calme rend la communication acoustique peu pertinente. L'espèce est d'ailleurs muette. L'écoute est toutefois susceptible de l'aider à repérer un danger.

Parmi les différents types de signaux biologiques, les signaux acoustiques présentent plusieurs caractéristiques intéressantes. Contrairement aux signaux visuels, les sons ne sont pas arrêtés facilement par les obstacles. Aussi, un signal acoustique peut porter très loin, même dans une forêt où la densité d'arbres est importante ou en milieu urbain densément construit. De plus, la communication acoustique est utilisable en permanence, qu'il fasse jour ou nuit. Aux distances usuelles, la vitesse du son rend la transmission presque instantanée.

La communication acoustique permet des débits d'informations élevés par rapport aux capacités de traitement des organismes, tant que la distance de propagation n'est pas trop grande. Le son se propage de façon relativement omnidirectionnelle et l'étude du règne animal montre que les organes de réception des sons omnidirectionnels sont beaucoup plus fréquents que des organes visuels omnidirectionnels. Ce point mène certains à conclure que l'audition est l'outil de perception « par excellence » [3]. La transmission à grande vitesse, combinée à la portée élevée et à la transmission dans toutes les directions, fait de l'émission acoustique la modalité la plus fréquente des signaux d'alarme [20]. Outre la possibilité de se déplacer dans l'obscurité dans des environnements encombrés, le sonar offre aux chiroptères le contrôle de leur champ de perception de l'espace [21]. Possibilité que les organes visuels ne présentent pas. Ce contrôle est apporté par le choix de la fréquence d'émission utilisée.

Pour les organismes qui utilisent la communication acoustique et possèdent donc un organe d'émission et un organe de réception, on constate que la gamme de fréquence du second contient toujours celle du premier. Ceci confirme que la communication acoustique fonctionne d'une espèce à une autre parce qu'elle est une source d'information essentielle [22].

L'analyse des tendances évolutives des organismes montre d'une part que les organes d'audition sont apparus avant les organes d'émission. D'autre part, si les pertes secondaires d'audition sont possibles, elles sont plus rares que les pertes de vision [22]. Ceci indique encore une fois que l'audition est essentielle.

Chez plusieurs espèces de vertébrés qui exploitent la communication acoustique, on observe un phénomène de convergence vocale [23]. Dans le cas d'un couple d'oiseaux, les cris de contact des deux partenaires se rapprochent au fil de la progression de la nichée. Cette convergence est interprétée comme un facteur de sécurisation de la reconnaissance mutuelle et de la stabilisation de la nichée. Chez les chiroptères, la convergence des cris sociaux consisterait en une sorte de mot de passe qui permettrait à un groupe de reconnaître les siens dans un contexte de gestion de ressources alimentaires partagées. La convergence vocale constitue, bien souvent, un investissement important pour celui qui s'y engage.

1.3 - Le son et sa propagation dans l'environnement, le cas du bruit routier

Dans l'environnement, la communication acoustique se déroule toujours en présence de bruit. Sous le mot bruit, il faut entendre, des sons non voulus, qui échappent au contrôle, à part peut-être celui de l'organisme qui les produit. Le bruit peut donc être produit par d'autres individus de l'espèce, d'autres espèces qui émettent en même temps, des facteurs abiotiques, comme une chute d'eau ou le vent qui souffle dans les arbres, sans oublier les bruits engendrés par les activités humaines et les infrastructures de transport terrestres en particulier, bruits « anthropiques » dont l'expansion a été considérable au fil du siècle passé.

Puisque ce rapport s'intéresse plus particulièrement au bruit routier, quelques précisions sont nécessaires. Le bruit routier est concentré aux fréquences inférieures à 1500 Hz. Au-dessus de cette fréquence, on peut considérer que la pente est supérieure à -6 dB par octave, au moins jusqu'à 10 kHz [24, 25]. Aux fréquences supérieures, les données publiées sont rares mais la

décroissance est rapide comme on peut le voir sur la figure 5⁵ [26]. Une autre caractéristique du bruit routier est l'absence de tonalité marquée. En d'autres termes, aucune fréquence particulière n'émerge. En moyenne, le spectre d'un passage de poids lourd est plus riche en basses fréquences qu'un passage de véhicule léger. Pour plus de détails sur le bruit dû au trafic routier, le lecteur se reportera au rapport Sétra sur la prévision du bruit routier [24].

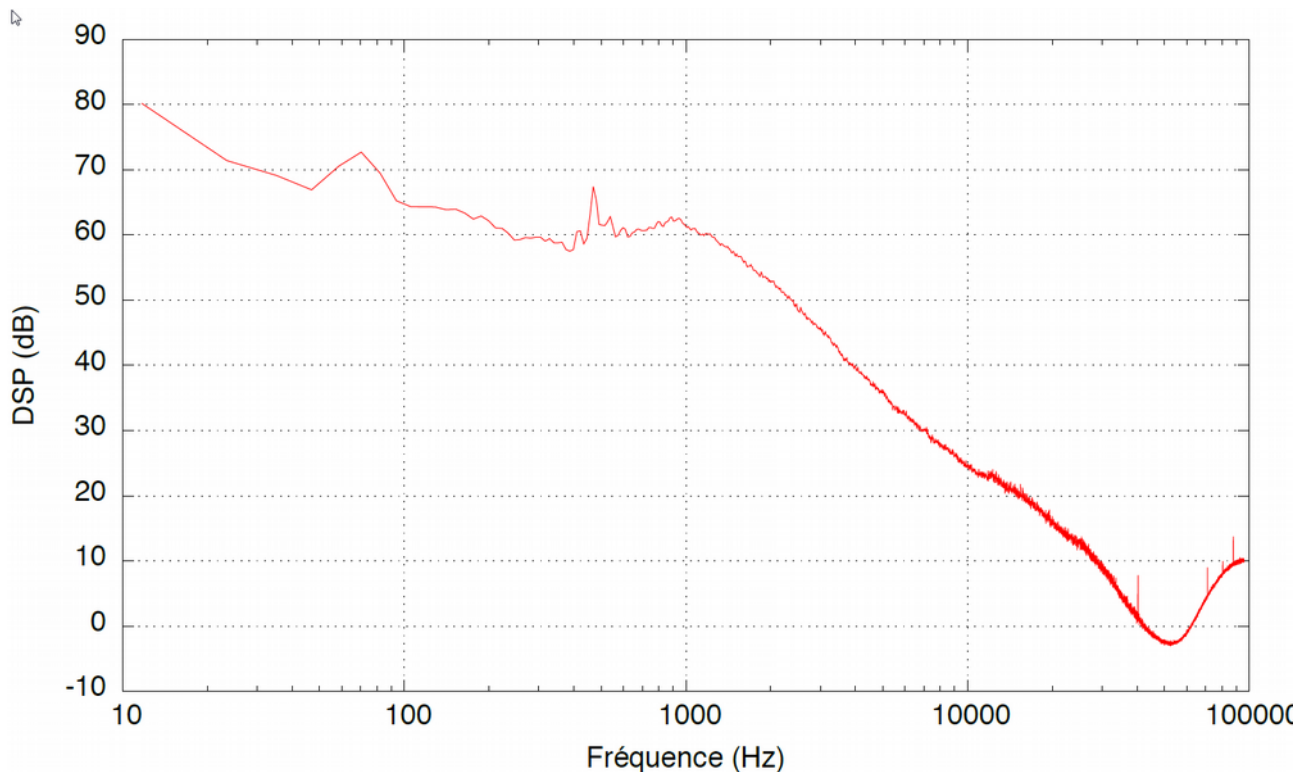


Figure 5 : Spectre d'un bruit de trafic routier circulant sur un revêtement de type BBSG 0/10. DSP = Densité Spectrale de Puissance. L'essentiel de l'énergie se situe en dessous de 1500 Hz.

À mesure que l'on s'éloigne d'une source de bruit, le niveau sonore dû à cette source décroît, toutes choses égales par ailleurs. Lorsque cette source est un flot continu de véhicules sur une infrastructure linéaire, la décroissance est de 3 dB par doublement de la distance à la source. Dans le cas d'une route à faible trafic où les véhicules sont isolés, ou bien d'un animal qui émet un signal acoustique, la décroissance est de 6 dB par doublement de distance. À côté de ce phénomène, dit de divergence géométrique, les interactions des ondes sonores avec les obstacles peuvent causer des atténuations ou des amplifications.

L'influence du sol et des obstacles est d'autant plus importante que la source de bruit et/ou le récepteur sont proches du sol. Lorsque la distance entre la source et le récepteur excède 100 mètres, on considère que les conditions micro-météorologiques ont une influence sur la propagation des sons par le biais de la réfraction. Les conditions de propagation sont caractérisées par la variation de la température et du vent sur un profil vertical. À titre d'exemple, par une nuit calme et dégagée, en milieu ouvert, la température augmente avec la hauteur au-dessus du sol et on observe en général une amplification des niveaux sonores au récepteur.

L'interaction entre les ondes sonores et les molécules qui composent l'air engendre elle aussi une atténuation des ondes. On parle d'atténuation atmosphérique.

⁵ Signal enregistré à 7,50 m de l'axe de la voie et 1,20 m de hauteur. Microphone 1/4" B&K type 4939 (4 Hz-100 kHz), conditionneur GRAS 12AA, enregistreur Sound Devices 744T en mode 24 bits/192 kHz. Mesure réalisée en 2012 par le CETE de l'Est/PCI Acoustique et Vibrations. Remerciements à l'Ifsttar/Laboratoire d'Acoustique de l'Environnement pour le prêt du microphone.

En première approximation, on peut considérer que ce phénomène est négligeable dans la gamme de fréquences où se concentre l'essentiel de l'énergie du bruit routier. En revanche cette atténuation est un facteur limitant la propagation aux fréquences supérieures à 10 kHz, donc pour certains insectes et le sonar des microchiroptères dont la portée ne semble guère pouvoir excéder quelques dizaines de mètres à cause de cela.

2 - Aspects réglementaires

Comme indiqué en introduction, la conception juridique du bruit en droit français et en droit communautaire est avant tout anthropocentrique⁶, avec une vision majoritairement sanitaire des nuisances sonores. Ainsi l'approche communautaire *« s'applique au bruit dans l'environnement auquel sont exposés en particulier les êtres humains dans les espaces bâtis, les parcs publics ou d'autres lieux calmes d'une agglomération, les zones calmes en rase campagne, à proximité des écoles, aux abords des hôpitaux ainsi que d'autres bâtiments et zones sensibles au bruit »*⁷. Le code de l'environnement traite quant à lui du bruit *« de nature à présenter des dangers, à causer un trouble excessif aux personnes, à nuire à leur santé ou à porter atteinte à l'environnement »*⁸. L'impact humain y est généralement précisément abordé contrairement à la notion large *« d'atteinte à l'environnement »*. Des zones spécifiques ont vu le jour pour préserver du bruit certains espaces naturels. Par exemple, la notion de *« zone calme »* prévue par les plans de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE)⁹ ne concerne pas que les agglomérations de plus de 100 000 habitants mais également les infrastructures routières, autoroutières et ferroviaires, et donc les milieux naturels. Il s'agit d'*« espaces extérieurs remarquables par leur faible exposition au bruit, dans lesquels l'autorité qui établit le plan souhaite maîtriser l'évolution de cette exposition compte tenu des activités humaines pratiquées ou prévues »*. Les PPBE n'ont cependant pas de caractère prescriptif¹⁰. Plus anciens, les réserves naturelles¹¹ et parcs nationaux¹² connaissent une réglementation spécifique pouvant encadrer l'exécution de travaux publics ou privés, voire la circulation des personnes et des véhicules.

Le bruit des infrastructures routières sur l'environnement est en réalité surtout pris en compte indirectement par le biais de procédures environnementales en amont de la réalisation d'un projet routier.

2.1 - L'étude d'impact

L'étude d'impact, préalable et obligatoire à la réalisation des grands projets d'infrastructures routières¹³, doit comporter une analyse de l'état initial et des effets négatifs et positifs, directs et indirects, temporaires (y compris pendant la phase des travaux) et permanents, à court, moyen et long terme sur les milieux susceptibles d'être affectés. La liste de ces milieux proposés par le code de l'environnement comprend notamment la faune et la flore, les habitats naturels, les équilibres

6 Voir l'article *« le bruit, parent pauvre du droit de l'environnement ? Plaidoyer pour l'environnement sonore. »* de la revue Environnement et développement durable n°6, juin 2012

7 Directive 2002/49/CE du parlement européen et du conseil du 25/06/2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, article 2.

8 Art. L. 571-1 du code de l'environnement

9 Art L. 572-2 et L572-6 du code de l'environnement

10 Circulaire du 07/06/2007 relative à l'élaboration des cartes de bruit et des PPBE, page 12

11 Art. L. 332-3 du code de l'environnement

12 Art. L. 331-4 du code de l'environnement

13 Art. R. 122-2 du code de l'environnement pour connaître les projets soumis à étude d'impact

écologiques et le bruit. Des mesures d'évitement, de réduction et de compensation devront être proposées avec des mesures de suivi de celles-ci et de leurs coûts. La réforme des études d'impact de décembre 2011¹⁴ rajoutera à ces milieux les continuités écologiques, les interrelations de ces milieux, l'interaction des effets entre eux et l'analyse des effets cumulés de plusieurs projets.

Dès lors, l'approche du bruit n'est plus seulement anthropocentrique en cela qu'elle tient compte de l'interaction avec la plupart des espèces animales et sur les écosystèmes : directement, par exemple, avec des pertes d'acuité auditive momentanées voire destruction des organes auditifs, ou indirectement à long terme avec des comportements sociaux impactés chez les espèces communiquant par le son amenant alors au dépeuplement, à la fragmentation écologique des habitats, etc.

Ainsi, non pour un projet d'infrastructure particulier mais dans une démarche similaire d'évaluation environnementale, la cour administrative d'appel de Douai (CAA) s'est penchée sur l'impact du bruit sur la faune d'un PLU (plan local d'urbanisme) par décision du 13/06/2013. Les juges ont dû se pencher sur le rapport de présentation de l'évaluation environnementale du **PLU qu'ils ont considéré comme suffisant en ce qu'il prévoyait des mesures pour éviter, réduire et compenser les incidences notables prévisibles en particulier l'impact des lumières ou des bruits sur la faune.**

La réforme de 2011 des études d'impact incluant l'analyse des effets cumulés de plusieurs projets sur un même milieu ne cite aucun type d'effets cumulés. Celui des bruits routiers sur la faune est tout de même abordé dans un guide du MEDDE [28] « *l'effet d'une activité se combine avec celui d'une autre, qu'il s'agisse d'une activité existante ou d'un projet en cours d'instruction. Dans certains cas, le cumul des effets séparés de plusieurs projets ou programmes de travaux peut conduire à un effet synergique, c'est-à-dire à un effet supérieur à la somme des effets élémentaires (exemple : le cumul de nuisances dues à des sources complémentaires (bruit routier et bruit ferroviaire)).*

2.2 - L'évaluation des incidences Natura 2000

Si les nuisances sonores n'apparaissent pas explicitement dans la directive « habitats », celles-ci ne sont pas écartées du dispositif d'évaluation [28]. Ainsi l'article 6 de la dite directive dispose dans son paragraphe 1 que « *Les États membres prennent les mesures appropriées pour éviter, dans les zones spéciales de conservation, la détérioration des habitats naturels et des habitats d'espèces ainsi que les perturbations touchant les espèces pour lesquelles les zones ont été désignées, pour autant que ces perturbations soient susceptibles d'avoir un effet significatif eu égard aux objectifs de la présente directive* » et dans son paragraphe 2 que « *Tout plan ou projet non directement lié ou nécessaire à la gestion du site mais susceptible d'affecter ce site de manière significative, individuellement ou en conjugaison avec d'autres plans et projets, fait l'objet d'une évaluation appropriée de ses incidences sur le site eu égard aux objectifs de conservation de ce site.* »

Si en France l'identification des projets soumis à l'évaluation des incidences est clairement posée à l'article R.414-19 du code de l'environnement et dans les listes locales départementales (R.414-27), la transposition française¹⁵ ne précise pas les types d'incidences. L'évaluation est ainsi la plus large possible et la plus adaptée aux milieux et aux projets concernés.

14 Décret n°2011-2019 du 29/12/2011 portant réforme des études d'impact

15 Art L. 414-1 à L. 414-7 et R. 414-1 à R. 414-29

Les impacts sonores sont tout de même clairement identifiés par l'Union européenne et apparaissent dans divers documents qui, bien que non réglementaires, peuvent alimenter l'instruction d'une demande Natura 2000. La Commission européenne¹⁶, a précisé que « *A la différence des détériorations, les perturbations ne concernent pas directement les conditions physiques d'un site. Elles concernent les espèces et sont souvent limitées dans le temps (bruit, source de lumière, etc.)* ». Elle soulève l'exemple d'un projet de route qui passera près d'un site Natura 2000 et dont « *les nuisances causées (bruit, etc.) n'auront pas d'incidences significatives sur les espèces d'oiseaux fondamentales à l'équilibre du site. Cependant, s'il y a d'autres projets existants ou en préparation (par exemple la construction d'une route de l'autre côté du site Natura 2000), la comptabilisation des niveaux de bruit générés par tous ces projets peut aboutir à un niveau de nuisance considéré comme significatif.* »¹⁷

Le bruit y est clairement identifié comme un impact sur la faune « *qui risque d'affecter certains aspects de la structure et des fonctions du site vulnérable au changement* »¹⁸ mais également comme une perturbation. Celle-ci n'étant pas définie dans la directive « habitats », la Commission européenne indique que « *la perturbation (par exemple sonore ou par une source lumineuse) ne porte pas nécessairement atteinte à l'intégrité physique d'une espèce, mais peut avoir un impact négatif sur cette espèce* » [29].

Et effectivement, les services instructeurs y sont sensibilisés en France puisque une circulaire adressée aux préfets de région, préfets de département et préfets maritimes indique que « *l'évaluation doit traiter l'ensemble des aspects d'une activité..., (durée, bruit, emprise)* »¹⁹. Cette circulaire reprend même la méthodologie proposée par la Commission européenne [28] et indique clairement le bruit dans deux exemples de types d'impacts à identifier.

Il convient également d'avoir en tête que « *l'évaluation n'a pas vocation à s'intéresser à l'ensemble des incidences d'une activité sur l'environnement mais ne traite que des incidences de l'activité sur les objectifs de conservation du site (qui sont décrits dans les DOCOB²⁰ ou à défaut dans le formulaire standard de données) et concernent la conservation et la restauration de certains habitats ou certaines espèces animales et végétales qui justifient la désignation du site.* »²¹. A titre d'exemple, le DOCOB des sites Natura 2000 de la Seine Saint-Denis [30] consacre plusieurs pages sur les impacts du bruit résultant du réseau d'infrastructures de transport.

La question des perturbations résultant des nuisances sonores a également été soulevée par le juge communautaire²² en 2011. La Cour a conclu au manquement de l'Espagne aux obligations de certaines directives dont la directive « habitats » à propos d'activités d'exploitation minière sur sites Natura 2000 car celle-ci n'avait pas pris en temps utile les mesures nécessaires pour faire cesser les perturbations. En cours de classement en site d'importance communautaire (SIC)²³ ces sites devaient assurer notamment la protection de l'ours brun et du grand tétras. Un des arguments de la Commission Européenne est que **les exploitations minières perturberaient ces populations du fait du bruit et des vibrations inhérentes à leur activité.**

16 « Gérer les sites Natura 2000 – les dispositions de l'article 6 de la directive « habitats » 92/43/CEE » p.30

17 « Évaluation des plans et projets ayant des incidences significatives sur des sites Natura 2000 » Guide de conseils méthodologiques de l'article 6, paragraphes 3 et 4 de la directive « habitats » 92/43/CEE, Commission européenne, novembre 2001, p.13

18 p.20 du guide précité

19 Circulaire du 15/04/2010 relative à l'évaluation des incidences Natura 2000, (non parue au journal officiel), p.8

20 DOCOB : document d'objectifs qui définit les mesures de gestion à mettre en œuvre pour chaque site Natura 2000.

21 p.9 de la circulaire précitée

22 Cour de justice de l'Union européenne (CJUE) 04/11/2011 aff.C-404/09, Comm. UE c/ Royaume d'Espagne

23 Art. 4 §1 de la directive 92/43/CEE directive « habitats » précitée

2.3 - Espèces protégées

Selon les espèces rencontrées, en dehors de tout site Natura 2000, ce sont les dérogations à la réglementation relative aux espèces protégées qui abordent également les nuisances sonores sur la faune. Le MEDDE [28] énumère justement comme mesures de réduction des impacts « *les dispositifs de réduction des nuisances sonores (écran antibruit, dispositifs d'insonorisation des parties mécaniques de certains équipements)* » s'appliquant « *aux phases chantier, de fonctionnement et d'entretien des aménagements* ».

3 - Effets et impacts du bruit sur la faune sauvage

3.1 - Effets comportementaux

La littérature documente largement le fait que le bruit anthropique interfère avec la communication acoustique par effet de masque. Les espèces qui émettent en basse fréquence comme le Butor étoilé (*Botaurus stellaris*) et plusieurs autres sont les plus exposées au masquage car, comme on l'a vu plus haut, le spectre du bruit de trafic est en première approximation une fonction décroissante de la fréquence. Chez certaines espèces, la plasticité de l'émission, c'est-à-dire la capacité à adapter le signal émis à l'environnement sonore, est inexistante. Dans ce cas, la seule réaction possible lorsque le masquage est chronique est de s'éloigner à la recherche d'un nouveau territoire. Dans les environnements bruyants, il a été montré que la densité d'une espèce d'oiseau est corrélée à la fréquence dominante de son chant [31].

On peut admettre que la réaction la plus évidente d'un locuteur face à un bruit ambiant élevé est de parler plus fort pour se faire entendre. Cet effet a été décrit pour la première fois par Lombard. Il n'est pas limité aux êtres humains et a été observé chez plusieurs espèces dont le Rossignol philomèle (*Luscinia megarhynchos*), après correction des facteurs de confusion que sont la taille et la masse corporelle. Chez cette espèce, l'augmentation de la puissance acoustique est significative, bien qu'elle ne compense pas totalement l'augmentation du bruit ambiant [32] (Figure 6). *A priori*, cette augmentation n'est pas neutre pour l'individu à qui elle s'impose, en effet des expériences de laboratoire tendent à montrer qu'émettre un son augmente le niveau métabolique, bien que la mesure soit difficile à réaliser [33]. En conséquence, les territoires où le niveau de bruit ambiant est élevé doivent être de mauvaise qualité. Un examen plus précis montre que les Rossignols augmentent la puissance acoustique de leurs notes les plus faibles. Donc l'augmentation du niveau sonore est obtenue en partie par un mécanisme de compression acoustique.

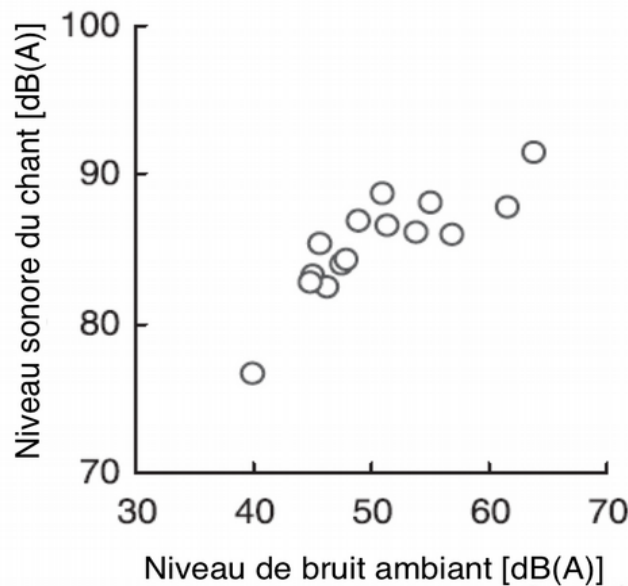


Figure 6 : Augmentation de la puissance acoustique du chant chez le Rossignol philomèle (*Luscinia megarhynchos*) de Berlin en fonction du niveau bruit ambiant. Source : [32].

Une autre réaction au masquage est d'augmenter la fréquence d'émission. Cette réponse comportementale a été observée chez plusieurs oiseaux communs en France comme le Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*), la Mésange charbonnière (*Parus major*), le Merle noir (*Turdus merula*) ainsi que chez des amphibiens. Le taux d'augmentation de la fréquence est de l'ordre de 5 Hz par dB d'augmentation. En général, ceci ne suffit pas à compenser la réduction du rayon d'action induite par le masquage. À haute fréquence, cette approche trouve ses limites du fait de l'augmentation rapide de l'atténuation atmosphérique avec la fréquence.

À supposer que ce soit une stratégie efficace de lutte contre le masquage, l'adoption d'un chant plus aigu est susceptible de troubler les relations intraspécifiques. En effet, chez certaines espèces, la hauteur du chant est utilisée par les femelles comme indice de la qualité d'un mâle, avec pour repère que plus un mâle est expérimenté, plus ses émissions sont graves. Il semble que l'augmentation de la fréquence d'émission soit un effet de l'augmentation de l'intensité du chant. C'est en tout cas ce que démontre une étude récente sur la Mésange charbonnière [34].

Face au bruit de trafic, certains oiseaux peuvent aussi choisir de chanter plus tôt. Au printemps, l'aube est un moment de choix pour les oiseaux car les conditions de propagation y sont en moyenne plus favorables au chant que les heures plus tardives de la journée. Cependant, l'aube coïncide parfois avec l'heure de pointe du trafic du matin et un niveau de bruit ambiant fortement augmenté. Ceci peut mener certaines espèces comme la Mésange bleue (*Parus caeruleus*), le Rouge-gorge familier (*Erithacus rubecula*) à avancer leur période de chant [35]. Ils se manifestent donc en plein cœur de la nuit. Chez la dernière espèce, l'étude conclut que contrairement à une idée répandue, ce n'est pas la lumière artificielle qui influence ce comportement. Le fait de décaler la période de chant a probablement des effets secondaires négatifs, bien que ceux-ci ne semblent pas clairement identifiés.

Augmenter la redondance des signaux émis est une approche classique en télécommunications pour lutter contre le bruit de fond. Il s'avère que beaucoup d'espèces l'utilisent. Répéter un message identique augmente les chances qu'il « passe », à la faveur d'une baisse temporaire du niveau de bruit de fond, ou en activant un possible mécanisme de corrélation avec un signal de référence enregistré dans le cerveau du récepteur. Ce phénomène a été observé pour la première fois chez le Manchot royal (*Aptenodytes patagonicus*) qui vit en Antarctique [36]. Ici, le bruit

masquant n'est pas d'origine anthropique, mais la conséquence de la vie en immenses colonies. Ce comportement a aussi été mis en évidence sous des latitudes plus tempérées pour des amphibiens et des oiseaux comme la Mésange charbonnière où un chant présentant moins de syllabes est choisi en environnement bruyant et est répété plus souvent que dans les habitats où les nuisances sonores sont plus faibles. La question du métabolisme a été mentionnée. Ce mécanisme signifie une durée plus longue consacrée à chanter, au détriment d'activités importantes comme la recherche de nourriture. Pour les oiseaux qui chantent perchés, ceci peut induire aussi une augmentation du risque de prédation.

En parallèle aux modifications du comportement d'émission, les bruits anthropiques peuvent engendrer des réactions de stress associées à des postures caractéristiques ou simplement engendrer la fuite de l'animal loin de la source. Le stress augmente l'activité métabolique. Si les dérangements se produisent trop fréquemment, ils peuvent mettre en danger l'individu exposé. Ce point est particulièrement sensible en saison froide, lorsque la nourriture est rare. Ce type d'effet a été principalement documenté pour les grands mammifères comme l'Elan (*Alces sp.*), ou la Chèvre des Rocheuses (*Oreamnos americanus*) [37] dans des situations où le stimulus visuel est absent. Cela a été mentionné, les mammifères ont une ouïe particulièrement sensible. Il semble que les événements prévisibles comme les passages de train à heure fixe soient mieux tolérés que les événements aléatoires tels que des passages de véhicules isolés.

Pour les espèces grégaires qui utilisent la communication acoustique, le bruit anthropique est de nature à perturber la localisation des congénères. Les amphibiens semblent les premiers concernés. Pour les espèces non arboricoles, la vue ne fournit d'informations que sur l'environnement immédiat, du fait que la tête est très proche du sol. Le masquage acoustique réduit le rayon d'action des signaux émis par les individus. Le phonotactisme se révèle un moyen essentiel de localiser les sites de reproduction pendant la migration de printemps. Sur les sites de reproduction, les femelles exploitent les informations acoustiques pour localiser les mâles. Le bruit parasite engendre la désorientation chez la Rainette criarde (*Hyla chrysoscelis*) [38]. Le temps de réponse au chant du mâle est augmenté ainsi que le seuil de détection. Toutefois, le bruit masquant utilisé pour cette expérience en laboratoire manque de réalisme.

La navigation acoustique semble aussi pratiquée par les espèces européennes d'amphibiens muettes comme le Tritons marbré (*Triturus marmoratus*), le Triton palmé (*Lissotriton helveticus*) et le Triton ponctué (*Lissotriton vulgaris*) qui localiseraient les lieux de ponte en écoutant les vocalisations d'autres espèces d'amphibiens anoures comme le Crapaud commun (*Bufo bufo*). De la même manière des bruits parasites ne peuvent que perturber la localisation. Les expériences exploitées méritent cependant réplication pour être tout à fait convaincantes [39].

D'autres expériences fort intéressantes [40] dont les résultats doivent toutefois être répliqués indiquent chez deux espèces d'amphibiens d'Amérique que, du fait du bruit, la structure sociale d'un groupe d'amphibiens autour d'une mare est modifiée. Dans la situation témoin - sans bruit perturbateur - des mâles dominants chantent entourés d'autres mâles. Dans la situation test, les mâles répartis régulièrement autour de la mare sont tous actifs acoustiquement.

Plusieurs publications rapportent aussi que le bruit de passage de véhicules, qu'il s'agisse de transports terrestres ou d'aéronefs influencent l'activité des amphibiens. Le rythme d'appel peut être soit augmenté soit diminué par les passages de véhicules (Figure 7).

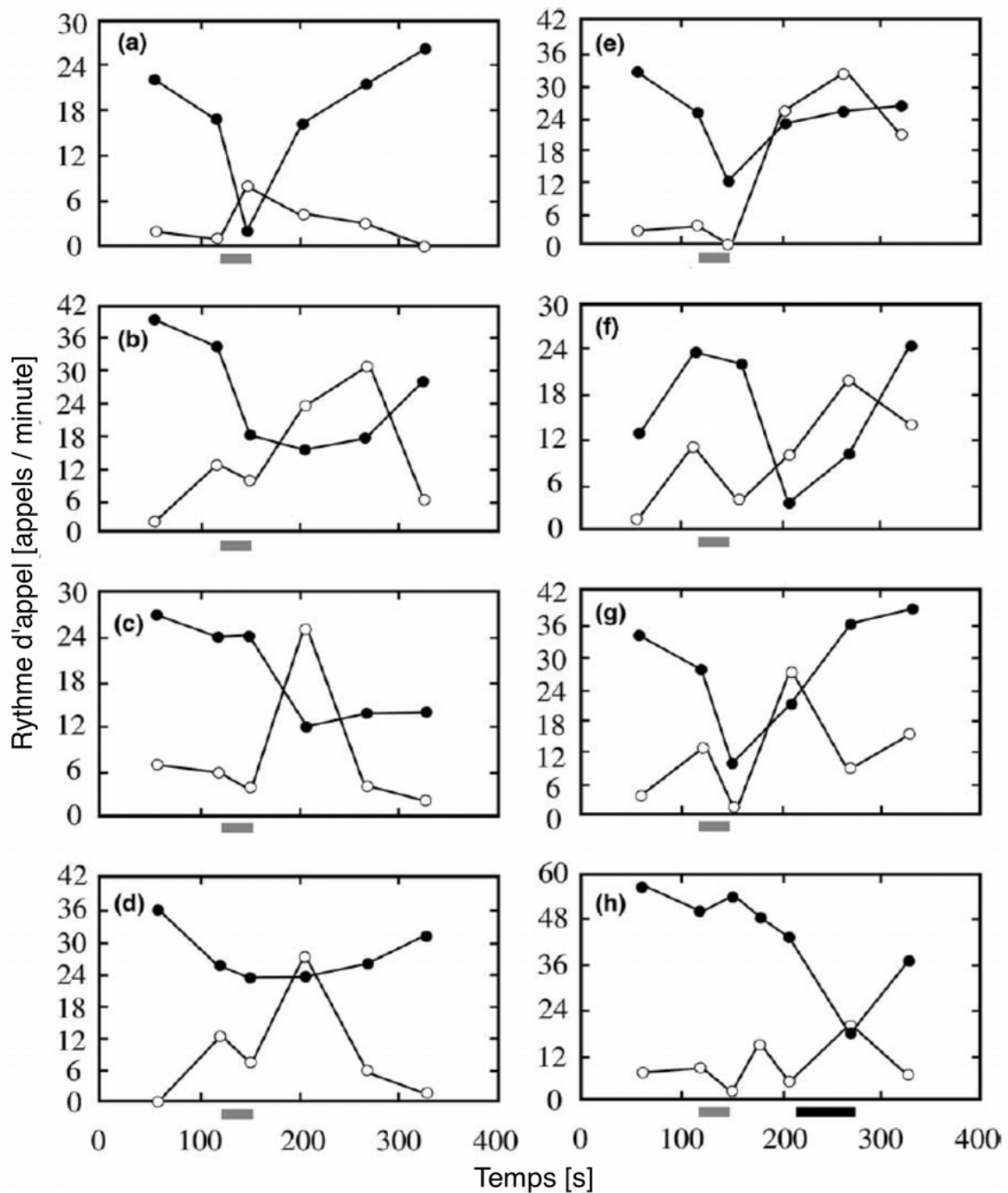


Figure 7 : Modulation de l'activité acoustique d'amphibiens engendrée par des passages de véhicules isolés. En gris durée d'un passage de motocyclette, en noir durée d'un passage d'avion. Chaque graphique représente l'activité acoustique d'une espèce particulière (cercles) par rapport à différents groupes d'espèces qui dominent dans le bruit ambiant (disques noirs). Les passages de véhicules sont corrélés avec une augmentation ou une diminution de l'activité acoustique, selon l'espèce. Source : [41].

Dans une expérience où cinq espèces d'Extrême-Orient sont observées autour d'une mare, quatre d'entre elles sont inhibées par un bruit de passage, tandis que la cinquième est stimulée. La modulation de l'activité a lieu soit pendant le passage (aéronefs), soit après (motocyclettes). Une différence remarquable entre les passages d'aéronefs et de motocyclettes est que la durée où les premiers sont audibles est beaucoup plus longue, du fait de la position de la source de bruit en hauteur à une distance importante de la mare, alors que la route passe à proximité de la mare [41]. Chez la Rainette verte (*Hyla arborea*) qui vit en France, on observe que le même événement sonore parasite réaliste de type passage de véhicule inhibe un mâle chanteur isolé, mais pas un

chœur, probablement parce que l'émergence du chant est affectée seulement dans le premier cas. Si le bruit parasite est suffisamment puissant, le chanteur isolé s'interrompt durant l'événement et son activité est réduite pendant un certain temps après que le bruit parasite a cessé [42].

S'il illustre bien la sensibilité des espèces au bruit et la variété des comportements associés, l'impact de toutes ces réponses comportementales aux bruits anthropiques en termes de conservation n'est pas toujours évident. Lorsqu'il est établi, sa quantification est difficile.

3.2 - Effets sur la biodiversité

À une échelle plus large, un autre corpus de recherche se concentre sur la réponse des oiseaux nicheurs à cette perturbation sur le plan de la densité, de la richesse spécifique ou de succès reproductif. Les premiers travaux sur ce thème semblent avoir été réalisés aux Pays-Bas. Le projet à grande échelle conduit par R. Reijnen et R. Foppen au cours des années 1980 et publié dans une série d'articles de revues à comité de lecture dans les années 1990 (voir par exemple [43]) constitue une étape essentielle de la démonstration des impacts sur la densité et la richesse spécifique. Ces auteurs concluent à une relation de cause à effet entre le bruit et la réduction de la densité (Figure 8), bien que cette relation soit établie par défaut, après élimination des autres facteurs possibles, comme les nuisances visuelles ou la pollution de l'air. Le bruit pourrait induire une réduction de densité jusqu'à 1000 m de l'infrastructure selon l'intensité du trafic.

Ces travaux montrent aussi que les territoires exposés au bruit sont occupés principalement par des individus jeunes, et le succès des nichées y est dégradé. Ces travaux ont fourni le fondement des premières recommandations sur la réduction des effets des routes sur les populations d'oiseaux nicheurs [44]. Ces recommandations sont analysées au chapitre suivant. Avec le recul, plusieurs auteurs ont critiqué ces recherches néerlandaises, dans la mesure où elles présentent plusieurs failles méthodologiques, telles que des facteurs de confusion non pris en compte, la pseudo-réplication, des tests statistiques de puissance insuffisante, et de techniques de recensement défaillantes. Un examen complet est disponible dans [45].

Ces critiques se retiennent cependant de contester la validité générale des travaux néerlandais. Dans une publication plus récente, Reijnen et Foppen préfèrent présenter le niveau sonore équivalent comme un bon indicateur de l'impact du trafic, même si le bruit lui-même n'est pas la seule cause de l'impact [46]. À leur décharge, il est extrêmement difficile si ce n'est impossible de concevoir ce type d'étude sur une infrastructure linéaire de manière à évaluer de façon parfaitement rigoureuse l'influence du seul paramètre bruit.

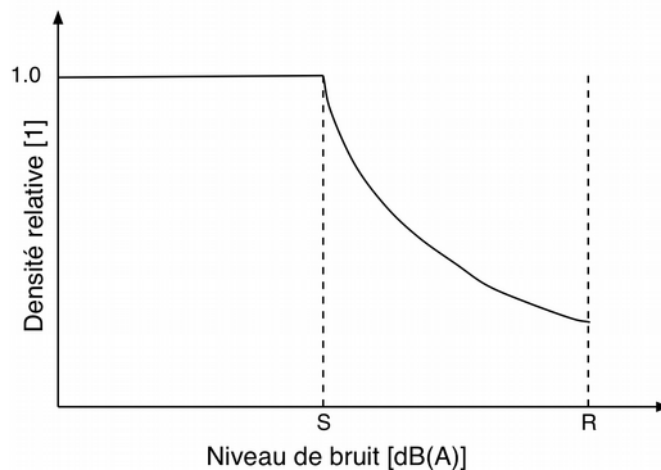


Figure 8 : Modèle d'effet du bruit routier sur la densité d'oiseaux proposé par les travaux néerlandais. Le niveau de bruit routier n'influence pas la densité d'oiseaux tant qu'il reste en dessous d'un seuil S. Au dessus de ce seuil, la densité décroît en revanche rapidement à mesure que le niveau sonore augmente et que l'on se rapproche de la route R. Source : [44].

Dans le sillage de ces travaux, durant la décennie écoulée, la relation entre bruit, densité et richesse spécifique a été étudiée dans différents milieux : forêts, prairies, agro-forêts. Une autre contribution a considéré à elle seule plusieurs types d'habitats. La conclusion est essentiellement qu'une proportion significative des espèces dont beaucoup d'espèces « patrimoniales » sont sensibles au bruit à l'exception notable des espèces généralistes [46]. Les protocoles expérimentaux mis en œuvre souffrent des faiblesses déjà évoquées car pour une route ou une voie ferrée, il n'est pas possible de séparer nuisances sonores et visuelles, ou de corriger des effets de lisière.

Plus récemment, certaines recherches ont profité du développement de l'extraction du gaz ou du pétrole dans des zones reculées d'Amérique qui facilitent la conception d'expériences sans faille méthodologique ou presque. En effet, il y est possible d'utiliser des couples de parcelles (témoin et test) où aucun paramètre du milieu ne change à part le bruit apporté par l'expérience. La première étude de cette veine porte sur la Paruline couronnée (*Seiurus aurocapilla*), passereau des tourbières et des forêts boréales, au large répertoire [47]. Le succès reproductif de l'espèce est réduit en présence de bruit : les individus les plus expérimentés préfèrent les parcelles témoin pour nicher. Ceci est cohérent avec les recherches néerlandaises. Les mêmes auteurs ont étudié 27 espèces de la forêt boréale dans 4 configurations forestières autour de clairières (proche / loin de la lisière) x (témoin, test). La densité de passereaux est 50 % plus élevée sur les sites témoins et un tiers des espèces étudiées voient leur abondance diminuer en présence de bruit. La densité près des sources de bruit est aussi plus faible pour 7 espèces [48]. Une autre étude réalisée au Nouveau Mexique conclut que la richesse spécifique est plus faible pour 21 des 32 espèces étudiées. Ce travail montre aussi que le bruit modifie l'équilibre entre les espèces [49]. Un prédateur des nids évite les zones bruyantes. De ce fait, le succès reproductif des proies est plus élevé en zone bruyante. Dans les trois cas, le bruit utilisé est celui d'une installation d'extraction. Les caractéristiques des bruits perturbateurs ne sont pas documentées dans ces trois contributions. Toutefois, il s'agit de bruits stables et permanents dont le spectre est assez large. Les situations étudiées ont donc beaucoup de similitudes avec le voisinage d'une voie routière à fort trafic.

Les paragraphes précédents en témoignent pour les espèces animales, le bruit a des conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes. Une recherche récente montre aussi un effet indirect du bruit sur les plantes [50]. Pour une espèce de plante pollinisée par les oiseaux-mouches, une ambiance bruyante augmente les visites d'oiseaux-mouches car le bruit chasse les prédateurs. La plante produit donc davantage de graines. À l'inverse, une espèce de Pin à pignons (*Pinus edulis*) voit davantage de ses graines consommées par les souris sur un site bruyant car les

souris y craignent moins les prédateurs. Les graines étant détruites par la digestion, la conséquence du bruit est l'augmentation de la part de graines produites en pure perte par le pin, espèce à croissance lente, alors que certains prédateurs des souris contribuent à leur dispersion dans l'environnement.

4 - Pistes pour prendre en compte les impacts

4.1 - Expériences étrangères

Comme expliqué dans l'introduction de ce rapport, la prise en compte du bruit dans la préservation de la biodiversité est rare dans la législation, même dans les pays développés. On peut en dire autant des recommandations et autres guides techniques, auxquels cette partie est consacrée.

Dans l'état de Californie (États-Unis), la bibliographie indique que la valeur empirique de 60 dB(A) pour l'heure la plus bruyante de la journée est utilisée régulièrement comme seuil au-dessus duquel des mesures de protection sont nécessaires vis-à-vis d'une espèce menacée [51]. Certes, le dB(A) est un indicateur aisément mesurable avec les moyens actuels, mais on a vu que la pondération A est inadaptée à des espèces autres que l'homme. D'autre part, il est assez évident que toutes les espèces ne sont pas également sensibles au bruit. Si des mesures de protection coûteuses sont prises, il est essentiel qu'elles aient un effet positif sur l'espèce concernée. Ce genre de pratique reflète le manque tant de connaissances que d'une méthodologie établie pour cette problématique.

À notre connaissance, les premières recommandations concernant la prévision et la réduction des impacts du bruit anthropique ont été publiées aux Pays-Bas [44]. Ce document traite uniquement du bruit de trafic routier et de son impact sur les oiseaux. Il distingue les forêts et les prairies et permet de calculer à partir de la route la distance jusqu'à laquelle l'impact est significatif. Le modèle sous-jacent est que le bruit n'a pas d'impact sur la densité d'oiseaux nicheurs tant que le niveau sonore est inférieur à un seuil qui est de 42 dB(A) pour les oiseaux forestiers, et de 47 dB(A) pour les oiseaux de prairie. Dès que ce seuil est franchi, la densité diminue rapidement à mesure que le niveau sonore augmente. Précision essentielle, les seuils indiqués semblent avoir été calculés lors de l'analyse statistique des données d'observations, et non obtenus à partir de mesures de terrain. Le calcul a été conduit avec une méthode de prévision néerlandaise entrée en vigueur au début des années 1990. La généralisation de ces seuils à d'autres lieux est hasardeuse [45]. Malgré son ancienneté, ce document qui a fortement influencé les pays germanophones semble être resté totalement inconnu en France. La démarche qu'il développe s'apparente au Guide du Bruit [52] avec abaques et tableaux pour différents profils de terrain.

Un des aspects les plus dérangeants du rapport néerlandais [44] est que les oiseaux y sont traités en deux grands groupes : les oiseaux forestiers et les oiseaux des prairies agricoles. Ceci ne reflète pas les différences considérables de sensibilité des espèces au bruit, déjà évoquées. La première contribution qui traite en détail de cette question émane de l'Institut d'écologie du paysage de Kiel²⁴ en Allemagne [19]. Elle a été complétée par un rapport technique allemand sur les oiseaux et le trafic routier [53]. Dans ce guide remarquable, les auteurs développent un modèle prédictif de la sensibilité d'une espèce au bruit de trafic routier. Espèce par espèce, leur analyse couvre plusieurs fonctions biologiques et écologiques en relation avec le bruit : recherche de nourriture, contact, détection des dangers, défense du territoire et recherche de partenaire. Ils estiment aussi la sensibilité du cri ou du chant au masquage. Le modèle est appliqué à plus de 200 espèces d'oiseaux. Par exemple, les rapaces nocturnes sont dépendants des informations acoustiques lorsqu'ils recherchent de la nourriture ou pour les contacts avec les congénères,

24 Kieler Institut für Landschaftsökologie (KIfL).

puisqu'ils sont principalement actifs la nuit (Figure 3). A l'opposé, un canard comme le Fuligule morillon (*Aythya fuligula*) ne montre aucune sensibilité au masquage et est concerné par l'acoustique seulement pour détecter le danger (Figure 4).

Dans le rapport néerlandais [44], seul le bruit est pris en compte dans l'évaluation des impacts. Le travail de Annick Garniel et de ses collègues rétablit l'équilibre entre le bruit et d'autres perturbations comme les stimuli visuels [53]. Il fournit des recommandations sur la base des niveaux de bruit pour les espèces qui y sont sensibles, et de distances d'impact pour les espèces sensibles à d'autres perturbations. Les deux critères peuvent éventuellement être combinés pour certaines espèces.

Les oiseaux nicheurs sont regroupés en cinq catégories (Figure 9). Une catégorie supplémentaire couvre les hivernants et oiseaux de passage. La catégorie 1 est celle des espèces très sensibles au bruit. Pour la catégorie 2, le bruit n'est pas la nuisance principale, mais la distance d'impact est corrélée à l'intensité du trafic, donc au niveau de bruit. La catégorie 3 regroupe les espèces pour qui le risque de prédation croît avec le niveau de bruit de fond. Les espèces dont la présence est faiblement influencée par le bruit sont rangées dans la catégorie 4. Les deux dernières catégories rassemblent des espèces qui ne sont pas sensibles au bruit.

Groupe	Définition	Critères d'évaluation
Groupe 1	Oiseaux nicheurs très sensibles au bruit	Niveau sonore critique / distance de fuite
Groupe 2	Oiseaux nicheurs présentant une sensibilité moyenne au bruit	Niveau sonore critique, distance critique
Groupe 3	Oiseaux nicheurs présentant un risque de prédation élevé en présence de bruit	Niveau sonore critique, distance critique
Groupe 4	Oiseaux nicheurs avec sensibilité mineure au bruit	Distance critique
Groupe 5	Oiseaux nicheurs ne présentant pas de comportement d'évitement spécifique au trafic routier	Distance critique, distance de fuite, rayon spécifique de dérangement des colonies
Groupe 6	Oiseaux migrateurs (zones d'étape et d'hivernage)	Rayon de dérangement spécifique

Figure 9 : Tableau des classes de sensibilité des oiseaux au bruit routier proposées par [53]. Cinq classes d'oiseaux nicheurs, une classe d'hivernants et de migrateurs. Selon la classe l'outil d'évaluation peut être le niveau sonore et/ou la distance à l'infrastructure.

Sur la base de cette classification, deux méthodes sont détaillées dans le guide allemand sur les oiseaux et le trafic routier [53] pour évaluer les impacts : une méthode dite « standard », et une méthode spatiale étendue. Ces deux méthodes s'appliquent à la fois aux nouveaux projets d'infrastructures et à la fois aux transformations d'infrastructures existantes. Chaque méthode aboutit à des résultats sous forme de pourcentages de dégradation de la qualité d'un site pour une espèce d'oiseau donnée. La méthode standard tend à surestimer les impacts et est conçue pour donner un résultat rapide. Elle nécessite les résultats d'un recensement des espèces, les données de trafic et la géométrie de l'infrastructure. Elle suppose que le sol est plan et ignore les éventuels obstacles. La méthode spatiale étendue s'appuie sur des données plus détaillées dont le recensement géo-référencé de chaque espèce d'intérêt et la topographie. Son avantage principal est une évaluation plus précise de l'impact, ce qui induit une réduction des coûts d'évitement, de réduction et de compensation des impacts.

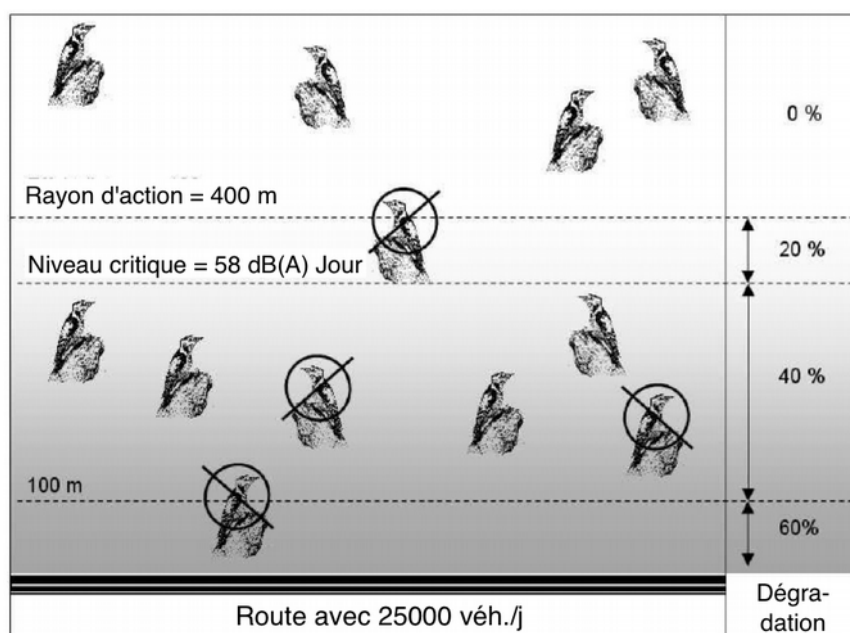


Figure 10 : Exemple d'évaluation d'impact du bruit sur les couples de Pic mar (*Dendrocopos medius*) selon la méthode décrite dans [53]. Chaque dessin d'oiseau correspond à un couple nicheur localisé par le recensement. L'espèce appartient au groupe 2 des espèces moyennement sensibles au bruit, pour lesquelles il faut positionner un isophone critique (ici 58dB(A) Jour) et une distance critique (100 m).

Sur le plan acoustique, l'approche s'appuie sur la méthode de prévision allemande en vigueur [RLS-90] pour le bruit de trafic routier. Cette méthode est relativement rudimentaire, puisqu'elle est formulée en dB(A) et qu'elle ignore l'influence de la météorologie sur la propagation du son.

4.2 - Esquisse d'une méthode adaptée au contexte français

Cette partie s'efforce de donner quelques recommandations pratiques, à partir de la littérature sur la faune sauvage et de la pratique des études d'impact acoustique d'infrastructure routière au sens habituel du terme, c'est-à-dire de l'impact sur l'homme. Elle suggère donc en quoi il est pertinent de dévier de la démarche, des hypothèses classiques et de la méthode réglementaire de l'étude d'impact, à propos desquelles le lecteur est invité à consulter les documents s'y rapportant [24] et [27].

Ce qui précède met en exergue que, s'agissant de prévoir et réduire l'impact du bruit sur la faune, un point essentiel est qu'il ne saurait être question d'aborder globalement la protection de la biodiversité ou même la protection d'un biotope particulier. Il est essentiel que l'analyse se fasse espèce par espèce, même si des regroupements peuvent ensuite être envisagés. La première étape est donc de recenser les espèces présentes, leur statut de conservation tel que l'UICN²⁵ le définit, à l'échelle régionale ou celle de l'aire de répartition. À titre de repère on peut recenser les espèces diurnes jusqu'à l'isophone 50 dB(A) sur la période Jour (6h-22h) et les espèces nocturnes jusqu'à l'isophone 47 dB(A) sur la période Nuit (22h-6h). La distance maximale à la route existante/projetée lors du recensement dépendra donc du trafic observé/prévu sur celle-ci.

La méthode de prévision à utiliser pour positionner cet isophone est la NMPB 2008²⁶, en veillant au respect de la topographie, du type de revêtement et du trafic. Concernant la micro-météorologie,

²⁵ Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

²⁶ La Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit n'est pas réellement conçue pour la propagation dans des milieux naturels "encombrés" comme des forêts. Toutefois, les autres méthodes d'ingénierie disponibles actuellement ne lui sont pas supérieures sur ce point.

on pourra faire l'hypothèse de conditions toujours homogènes lors de la propagation dans un biotope forestier et de conditions toujours favorables dans les autres milieux. En l'absence d'obstacles de grandes dimensions et pour un profil en travers relativement homogène, l'idéal serait de disposer d'abaques, ou de formules simplifiées utilisables via un SIG, plutôt que de devoir passer par un logiciel de prévision de bruit dédié. Malheureusement, de tels abaques ne sont pas encore disponibles pour la NMPB 2008. Ceux du Guide du Bruit [52] sont totalement obsolètes de même que ceux développés pour la NMPB 96.

Sur la base de ce recensement, pour chaque espèce dont le statut est Menacé au sens UICN²⁷, ou espèces protégées ou encore espèces d'un site Natura 2000 (cf. partie réglementation), il convient de s'interroger sur l'importance de la communication acoustique pour cette espèce et la vulnérabilité de ses éventuelles émissions acoustiques vis-à-vis du masquage par le bruit dû au trafic routier. Le guide [53] sera en la matière une source d'informations très précieuse en tout cas pour les oiseaux. Voir notamment l'annexe de [53] qui donne pour chacune des 200 espèces traitées la classification, l'éventuel niveau sonore seuil et la distance d'effet/de fuite de l'infrastructure.

Si une espèce menacée sensible au bruit est identifiée dans la zone étudiée, il importe de préciser sa biologie et son éthologie. On essaiera en particulier de répondre aux questions suivantes : À quelle hauteur chante-t-elle et se poste-t-elle ordinairement ? Quelle est la période du cycle nyctéméral, éventuellement la période de l'année, où elle est la plus active acoustiquement ? Participe-t-elle au chœur du matin ? Chasse-t-elle la nuit ? Ceci doit permettre de définir au mieux les hypothèses de calcul acoustique : trafics et hauteurs de récepteur.

On pourra par exemple préférer le trafic de l'heure de pointe du matin, plutôt que des trafics moyens sur les trois périodes réglementaires Jour, Soir et Nuit. Si l'espèce est traitée dans le guide allemand sur les oiseaux et le trafic routier [53], en l'absence d'autres sources documentaires, le mieux est de suivre le traitement préconisé pour le groupe d'espèces correspondant (distance d'impact, seuil de niveau sonore, dégradation de l'habitat jusqu'à la distance d'impact, distance de fuite...). Si l'espèce n'est pas traitée, on recherchera l'espèce biologiquement et acoustiquement la plus voisine dans [53].

Si les données de recensement des territoires sont géoréférencées, il sera possible de chiffrer l'impact en termes de nombre de territoires subissant l'impact du bruit.

5 - Perspectives

Le présent rapport n'a d'autre prétention que d'attirer l'attention des gestionnaires d'espaces et d'infrastructures ou des aménageurs sur un impact potentiel relativement méconnu des infrastructures de transport routier sur la biodiversité.

L'importance écologique de la communication acoustique a été démontrée avant quelques éléments sur le bruit routier et la propagation acoustique dans l'environnement extérieur. Une revue bibliographique des effets du bruit des transports terrestres sur la faune sauvage a ensuite été proposée, avec quelques emprunts à la littérature sur le bruit industriel. La revue s'appuie sur un grand nombre de références - antérieures à 2014 -, en privilégiant les revues à comité de lecture et s'est efforcée d'identifier et de restituer les grands principes des rares recommandations techniques disponibles.

27 La Liste rouge des espèces menacées en France, Contexte, enjeux et démarche d'élaboration http://www.uicn.fr/IMG/pdf/Liste_rouge_France_contexte_enjeux_et_demarche.pdf, figure 1

En marge des nombreux effets comportementaux, le résultat le plus frappant dans une perspective de conservation de la biodiversité est que des publications récentes qui s'appuient sur des protocoles rigoureux démontrent de façon irréfutable que le bruit d'origine humaine a des effets nuisibles sur la richesse spécifique, la densité de population ou le succès reproductif.

Dans ces conditions, si l'objectif est de préserver la biodiversité, le bruit d'origine humaine doit être mieux pris en compte dans les études d'impact de projets d'infrastructures, comme lors de la requalification d'infrastructures existantes. Dans la même perspective, il est essentiel d'évaluer l'exposition au bruit des différents milieux naturels remarquables identifiés.

Au-delà de la mise en évidence des effets, il est important de fournir des réponses concrètes concernant à la fois l'évaluation de l'impact pour une infrastructure donnée et un cortège d'espèces donné, ainsi que la réduction de l'impact et de sa compensation. Sur ce plan, la littérature est encore lacunaire. Des progrès significatifs ont été accomplis ces dernières années concernant les oiseaux grâce aux travaux du KfL en Allemagne. Ceux-ci ont d'abord le mérite de replacer le bruit dans le tableau plus global des nuisances auxquelles est exposée la faune sauvage, en particulier les nuisances visuelles. Afin de prendre en compte la variation de sensibilité au bruit d'une espèce à une autre, un modèle prédictif est proposé qui fonctionne espèce par espèce. Toutefois, ces recommandations émanent de biologistes dont les connaissances en acoustique sont limitées, si bien que les solutions techniques préconisées sont parfois discutables. Une adaptation française d'un tel guide méthodologique, comprenant une approche plus rigoureuse des aspects purement acoustiques, serait donc la bienvenue. Il importe également de prendre en compte les méthodes de calcul en vigueur en France pour l'émission comme pour la propagation. Ceci supposera par ailleurs l'adaptation des méthodes de prévision à des milieux auxquels elles ne sont pas destinées, comme les milieux forestiers (milieux encombrés d'après la qualification des acousticiens et micrométéorologie particulière). Enfin, il serait souhaitable d'élargir le champ des recommandations disponibles à l'ensemble des espèces douées d'un organe d'audition, et pas seulement aux oiseaux.

Au-delà de la préservation de la biodiversité, qui est un objectif majeur pour l'humanité, une meilleure gestion du bruit dans les milieux naturels ne peut que bénéficier aux usagers humains des espaces concernés, qu'ils soient naturalistes, ou simplement promeneurs à la recherche de tranquillité, ou encore amateurs des sons de la nature. On rejoint ici la préoccupation d'identifier et de préserver des zones calmes, comme le prescrit la directive 2002/49/CE sur l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement.

Bibliographie

Il est difficile de rendre justice à toute la littérature disponible sur le sujet des impacts du bruit sur la faune. Seule une sélection est présentée ici.

- [1] De l'art équestre, Xénophon (430-355 av. J.C.), Les Belles Lettres, 2002.
- [2] US national parks and management of park soundscapes: a review, N.P. Millern, Applied Acoustics, février 2008, 69(2):77–92.
- [3] Le paysage sonore : le monde comme musique, R. Murray Schafer, Wildproject editions, 2010. 328p. (Traduction de : The soundscape - Our sonic environment and the tuning of the world. Destiny books, 1977)
- [4][http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.docidTexte=JORFTEXT000000179257&dateTexte=&cat](http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.docidTexte=JORFTEXT000000179257&dateTexte=&categorieLien=id)
[egorieLien=id](http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.docidTexte=JORFTEXT000000179257&dateTexte=&categorieLien=id)
- [5] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0012:FR:PDF>.
- [6] Burden of disease from environmental noise, R. Kim (coord.), WHO Europe, Copenhagen, mars 2011.
- [7] Lärm und Landschaft, Angewandte Landschaftsökologie vol. 44, Heinrich Reck (ed.), 2001, 160p. En allemand.
- [8] Bruit urbain et faune sauvage - synthèse bibliographique, G. Dutilleux, Etude CETE de l'Est - LR Strasbourg 2007-76-057, décembre 2007. 22p. [http://www.certu.fr/fr/_Ville_et_environnement-](http://www.certu.fr/fr/_Ville_et_environnement-n29/Bruit-n138/IMG/pdf/Bruit_urbain_et_faune_sauvage.pdf)
[n29/Bruit-n138/IMG/pdf/Bruit_urbain_et_faune_sauvage.pdf](http://www.certu.fr/fr/_Ville_et_environnement-n29/Bruit-n138/IMG/pdf/Bruit_urbain_et_faune_sauvage.pdf)
- [9] L'univers sonore animal, Y. Leroy, Rôles et évolution de la communication acoustique. Gauthier-Villars, 1979, 350p.
- [10] Principles of Animal Communication, J.W. Bradbury et S.L. Vehrencamp, Sinauer Associates, 1ère édition 1998.
- [11] Handbook of Research Methods in Experimental Psychology, H.E. Heffner et R.S. Heffner, 2003, pages 413-440, chapitre Audition.
http://psychology.utoledo.edu/images/users/74/Heffner_Audition_Chapter_in_Davis_2003.pdf
- [12] Comparative Psychology, H.E. Heffner et R.S. Heffner, 1998, A Handbook, Garland New York, chapitre Hearing, pages 290–303.
http://psychology.utoledo.edu/images/users/74/HearingGreenbergComparativePsychology_1998.pdf
- [13] Detection of atmospheric infrasound by homing pigeons, M.L. Yodlowski, M.L. Kreithen, et W.T. Keeton, Nature, février 1977, 265:725–726.
- [14] Ultrasonic communication in frogs, A.S. Feng, P.M. Narins, Chun-He Xu, Wen-Yu Lin, Zu-Lin Yu, Qiang Qiu, Zhi-Min Xu, et Jun-Xian Shen, Nature, 2006, 440.

- [15] Handbook of Acoustic Signal Processing, J. Christensen-Dalsgaard, 2009, pages 1861–1885, chapitre Amphibian bioacoustics, Chapitre 102. Springer.
- [16] Principles of Animal Communication, J.W. Bradbury et S.L. Vehrencamp, Sinauer Associates, 1ère édition, 1998.
- [17] Écologie acoustique des chiroptères d'Europe - Identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse, M. Barataud, Inventaires et biodiversité, Biotope, mars 2012.
- [18] Sensory ecology: Noise annoys foraging bats, G. Jones, Current Biology, 2008, 18(23):R1098–R1100.
- [19] Oiseaux et bruit de trafic (Vögel und Verkehrslärm), Rapport technique, Kieler Institut für Landschaftsökologie, A. Garniel, W.D. Daunicht, U. Mierwald, et U. Ojowski, 2007. <http://www.kifl.de/pdf/VuL%20Lang%20doc%202007-Webfassung.zip>. En allemand.
- [20] The science of birdsong : Nature's music, P. Marler et H. Slabbekoorn, Elsevier Academic Press, 2004.
- [21] Convergent acoustic field of view in echolocating bats, L. Jakobsen, J.M. Ratcliffe, et A. Surlykke, Nature, janvier 2013, 493:93–96.
- [22] The cost of chronic noise exposure for terrestrial organisms, J.R. Barber, K.R. Crooks, et K.M. Fristrup, Trends in ecology and evolution, 2009, 25(3):180–189.
- [23] Vocal matching in animals, K. Sewall, American Scientist, juillet-août 2012, 100(4):306–315.
- [24] Prévision du bruit routier : 1 - Calcul des émissions sonores dues au trafic routier, F. Besnard (coord.), JF. Hamet, J. Lelong, V. Guizard, N. Fürst, S. Doisy, SETRA, 2009, 124p.
- [25] The Noise Emission Model For European Road Traffic - Deliverable 11 of IMAGINE Project, B. Peeters et G. Van Blokland, IMA55TR-060821-MP10, 2007, 66p.
- [26] Foraging bats avoid noise, A. Schaub, J. Ostwald, et B.M. Siemers, The Journal of Experimental Biology, 2008, 211:3174–3180.
- [27] Prévision du bruit routier - 2-Méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques, F. Besnard (coord.), J. Defrance, M. Bérengier, G. Dutilleux (coord.), F. Junker, D. Ecotière, E. Le Duc, M. Baulac, B. Bonhomme, J-P. Deparis, B. Gauvreau, V. Guizard, H. Lefèvre, V. Steimer, D. Van Maercke, et V. Zouboff, (NMPB 2008), SETRA, 2009, 133p.
- [28] Guide « espèces protégées, aménagements et infrastructures », MEDDE, août 2012, P.63
- [29] Document d'orientation sur la protection stricte des espèces animales d'intérêt communautaire en vertu de la directive « Habitats », février 2007, 92/43/CEE, Commission européenne.
- [30] Document d'objectif Natura 2000 « Sites de la Seine-Saint-Denis », février 2011, p.89 à 93

- [31] The impact of roads on birds: does frequency song play a role in determining susceptibility to noise pollution, F.E. Rheindt, Journal für Ornithologie, 2003, 144:295–306.
- [32] The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird, H. Brumm, Journal of animal ecology, 2004, 73:434–440.
- [33] The metabolic cost of birdsong production, K. Oberweger et F. Goller, The journal of experimental biology, 2001, 204:3379–3388.
- [34] Bird song and anthropogenic noise: vocal production mechanisms may explain why birds sing higher pitched songs in cities, E. Nemeth, N. Pieretti, S-A. Zollinger, N. Geberzahn, J. Partecke, A.C. Miranda et H. Brumm, Proceedings of the Royal Society B 280, 20122798, 2013.
- [35] Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins, R.A. Fuller, P.H. Warren, et K.J. Gaston, Biology letters, 2007, 3:368–370.
- [36] Localisation of an acoustic signal in a noisy environment: the display call of the king penguin *aptenodytes patagonicus*, T. Aubin et P. Jouventin, The Journal of Experimental Biology, septembre 2002, 205:3793–3798.
- [37] Behavior of mountain goat in relation to U.S. Highway 2, glacier national park, Montana, F.J. Singer, Journal of Wildlife Management, 1978, 42(3):591–597.
- [38] Auditory masking of anuran advertisement calls by road traffic noise. Animal Behaviour, M.A. Bee et E.M. Swanson, 2007, 74:1765–1776.
- [39] Soundscape orientation: a new field in need of sound investigation, H. Slabbekoorn et N. Bouton, Animal Behaviour, 2008, 76:e5-e8.
- [40] The effect of highway traffic noise on the phonotactic and associated reproductive behavior of selected anurans, A.N. Barrass, PhD thesis, Vanderbilt University, 1985.
- [41] Anthropogenic sounds differentially affects amphibian call rate, J.W.C. Sun et P.M. Narins, Biological Conservation, 2005, 121:419–427.
- [42] Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran, *hyla arborea*, T. Lengagne, Biological Conservation, 2008, 141:2023–2031.
- [43] The effect of car on breeding bird populations in woodland, I - Evidence of reduced habitat quality for willow warblers (*Phylloscopus trochilus*) breeding close to a highway, R. Reijnen et R. Foppen, Journal of Applied Ecology, 1994, 31:85–94.
- [44] Predicting the effects of motorway traffic on breeding bird populations, M.J.S.M. Reijnen, G. Veenbaas, et R.P.B. Foppen, 1995, Rapport technique 91p, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Delft.
- [45] Strassenlärm und Vögel, In Strassenforschung, G. Bieringer, H.P. Strohmayer, et G. Strohmayer, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2010, volume 587, 85p, Vienne, Autriche. En allemand.

- [46] Impact of road traffic on breeding bird populations, R. Reijnen et R. Foppen, Springer, 2006, chapter 12, pages 255–274.
- [47] Impact of chronic anthropogenic noise from energy-sector activity on abundance of songbirds in the boreal forest, E.M.Bayne, L.Habib, et S.Boutin, *Conservation Biology*, 2008,22(5):1186–1193.
- [48] Chronic industrial noise affects pairing success and age structure of Ovenbirds 'Seiurus aurocapilla', L.Habib, E.M.Bayne, et S.Boutin, *Journal of applied Ecology*, 2007, 44:176–184.
- [49] Noise pollution changes avian communities and species interactions, F.D.Clinton , C.P.Ortega, et A.Cruz, *Current Biology*, août 2009, 19:1–5.
- [50] Noise pollution alters ecological services : enhanced pollination and seed dispersal, D.F.Clinton , N.j.Kleist, C.P.Ortega, et A.Cruz Noise, *Proceeding of the Royal Society*, Juillet 2012 ,B, 279(1739):2727–2735.
- [51] Traffic-noise impact study for least Bell's vireo habitat along california state route 83,D.E. Barrett, *Transportation research record*, 1995, 1559:3–7.
- [52] Collectif, *Guide du bruit des transports terrestres - Préviation des niveaux sonores*. CERTU, 1980, 317p.
- [53] *Guide oiseaux et trafic routier. (Arbeitshilfe Vögel und Strassenverkehr)*,A.Garniel et U.Mierwald, *Rapport technique* 140p, 2010, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, Allemagne, en allemand. <http://www.kifl.de/pdf/ArbeitshilfeVoegel.pdf>. En allemand, résumé en français.
- [54] Note sur l'efficacité de réduction du bruit liée à une réduction de vitesse des véhicules routiers, D.Ecotière, *Etude CETE de l'Est - LR Strasbourg* 2011-76-030. Commande Sétra, Octobre 2012, 12p.

Glossaire

Abiotique : Un facteur abiotique est un facteur physico-chimique agissant sur un écosystème. Ex : vent.

Arachnide : classe d'arthropodes, terrestres ou aquatiques, souvent insectivores. Les araignées, les scorpions et les acariens sont des arachnides.

Arboricole : se dit d'une espèce qui vit dans les arbres.

Arthropode : Embranchement d'animaux invertébrés à squelette externe. Les insectes sont des arthropodes.

Avifaune : Ensemble des espèces d'oiseaux d'une région donnée.

Boréale (forêt): formation végétale caractéristique des régions subarctiques composée de conifères adaptés au froid associés à des feuillus comme le bouleau.

Coléoptères : ordre d'insectes dont les ailes antérieures sont sclérifiées, transformées en étuis protecteurs. Il représente en nombre d'espèces près de la moitié des insectes. Les coccinelles et les scarabées sont des coléoptères.

Convergence vocale : phénomène de rapprochement des signaux émis par deux individus d'une espèce au fil du temps.

Décibel : unité de mesure de niveau sonore définie comme 20 fois le logarithme décimal de la pression acoustique efficace divisée par la pression acoustique de référence. Dans l'air, la pression acoustique de référence est égale à 20 microPascals.

Diplopede : classe d'arthropodes plus connus sous le nom de « mille-pattes ».

Diptère : ordre d'insectes, dont la caractéristique est de posséder une seule paire d'ailes membraneuses. Les mouches et les moustiques sont des diptères.

Éthologie : étude du comportement des diverses espèces animales.

Fréquence : nombre de fois qu'un phénomène cyclique se reproduit par unité de temps. La fréquence se mesure en Hz.

Grégaire : Qualifie une espèce vivant en groupe ou en communauté sans nécessairement présenter une organisation sociale.

Hémiptère : ordre d'insectes dotés de 2 paires d'ailes dont l'une est en partie cornée. Les cigales et les punaises sont des hémiptères.

Hyménoptère : ordre d'insectes dotés de 2 paires d'ailes membraneuses. L'aile postérieure est accrochée à l'aile antérieure. Les abeilles et les guêpes sont des hyménoptères.

Isophone : Sur une carte de bruit, une isophone est une ligne sur laquelle le niveau sonore est constant. On dira par exemple "l'isophone 55 dB".

Natura 2000 : le réseau Natura 2000 est un ensemble de sites naturels européens identifiés pour leur valeur patrimoniale, qu'il s'agisse d'espèces ou d'habitats.

NMPB : acronyme de Nouvelle Méthode de Prévion du Bruit. La NMPB 2008 ([\[27\]](#)) est la méthode en vigueur pour évaluer l'impact acoustique des projets d'infrastructures de transports terrestres.

Nyctéméral : le cycle nyctéméral est celui de l'alternance jour/nuit.

Orthoptère : ordre d'insectes caractérisés par des ailes droites. Les sauterelles et les grillons sont des orthoptères.

PDU : acronyme de Plan de Déplacement Urbain, dispositif introduit par la loi LOTI de 1982.

Phonotactisme : orientation d'un animal dans l'espace à partir d'informations acoustiques.

Pondération A : la pondération A est un gabarit d'atténuation dépendant de la fréquence qui correspond à la variation de sensibilité de l'oreille humaine.

Richesse spécifique : nombre d'espèces présentes dans un écosystème.

ScoT : acronyme de Schéma de Cohérence Territoriale, dispositif introduit par la loi SRU de 2000.

Sonar : Acronyme de SOund Navigation And Ranging. Dispositif qui s'appuie sur l'émission de signaux particuliers dans l'air et l'analyse des échos qu'ils engendrent pour détecter et situer des objets d'un environnement donné. Les chiroptères utilisent le sonar pour se déplacer, détecter et capturer leurs proies.

Taxon : groupe d'organismes vivants possédant des caractéristiques communes.

En matière de bruit dans l'environnement, la réglementation s'intéresse majoritairement à l'impact sur la santé humaine et la biodiversité est ignorée. Or, les résultats de recherche démontrent nettement l'impact du bruit tant sur la communication acoustique de la faune et notamment des oiseaux, que sur les écosystèmes.

L'objectif de ce rapport à destination des gestionnaires d'espaces ou d'infrastructures linéaires de transport, est de les sensibiliser sur cet impact potentiel relativement méconnu.

Au travers d'une bibliographie riche et internationale le document s'efforce d'éclairer sur la question de l'impact du bruit engendré par les transports routiers sur la faune sauvage en milieu rural. Il ne s'agit pas d'une méthodologie d'étude d'impact acoustique sur la faune mais bien d'un retour d'expériences des travaux de recherche dans le domaine. L'étude des effets et des impacts du bruit sur les écosystèmes mènera à des pistes de leurs prises en compte dans les projets routiers.