



HAL
open science

Les arbres et les forêts peuvent-ils contribuer à l'amélioration de l'environnement sonore ?

Jérôme Defrance, Philippe Jean, Nicolas Barrière

► **To cite this version:**

Jérôme Defrance, Philippe Jean, Nicolas Barrière. Les arbres et les forêts peuvent-ils contribuer à l'amélioration de l'environnement sonore?. *Revue forestière française*, 2018, 70 (2-3-4), pp.341-352. 10.4267/2042/70006 . hal-03447611

HAL Id: hal-03447611

<https://hal.science/hal-03447611>

Submitted on 24 Nov 2021

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

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

LES ARBRES ET LES FORÊTS PEUVENT-ILS CONTRIBUER À L'AMÉLIORATION DE L'ENVIRONNEMENT SONORE ?

JÉRÔME DEFRANCE – PHILIPPE JEAN – NICOLAS BARRIÈRE

Les premières recherches sur la propagation du son en forêt datent des années 1940 (Eyring, 1946). Depuis, les investigations sur ce sujet n'ont jamais cessé (Price *et al.*, 1988 ; Barrière, 1999 ; Choiseau, 2015), chaque contribution scientifique mettant généralement l'effort sur certains phénomènes propagatifs particuliers à travers des méthodes prévisionnelles ou expérimentales adaptées. Il est à noter que les résultats de ces investigations sont parfois contradictoires, soulignant le caractère complexe du problème physique abordé.

Les recherches de ces soixante dernières années ont porté aussi bien sur la propagation de bruits d'explosion à travers une forêt enneigée que sur la communication animale, l'effet acoustique d'une bande boisée le long d'une autoroute ou celui de la plantation d'arbres et de buissons en cœur de ville.

Dans le présent article, nous nous concentrons sur le bruit des transports terrestres, et plus particulièrement le contrôle du bruit routier. Nous tentons de répondre, par les résultats de la littérature scientifique ainsi que notre propre expérience, aux questions suivantes : dans quels cas l'impact de l'état boisé est-il bénéfique sur la réduction du bruit environnemental ? Quelle est l'efficacité acoustique attendue ? Quelles sont les bonnes pratiques ?

Nous commençons notre propos par un bref rappel réglementaire sur la gestion du bruit routier, et nous présentons une revue synthétique des principaux effets d'atténuation observés lors de la propagation sonore en présence d'arbres. Puis, nous envisageons certaines configurations paysagères typiques étudiées dans la littérature scientifique et nous donnons pour chacune d'elles l'impact acoustique attendu.

RAPPEL RÉGLEMENTAIRE

En France, le bruit des infrastructures routières, nouvelles ou faisant l'objet de modifications, est réglementé par les articles L. 571-9 et R. 571-44 à R. 571-52 du code de l'environnement ainsi que l'arrêté du 5 mai 1995. Les nuisances sonores associées sont estimées *via* des niveaux sonores équivalents moyens de long terme, de jour (LAeq 6 h-22 h) et de nuit (LAeq 22 h-6 h), exprimés en décibels A (dBA), unité qui intègre l'ensemble des fréquences audibles (le A indique que le spectre de pondération de sensibilité de l'oreille est appliqué, l'oreille étant plus sensible dans une zone de moyennes fréquences 500-2 000 hertz (Hz) qu'aux basses et hautes fréquences). De même, dans le cadre des cartes de bruit stratégiques selon la directive européenne 2002/49/CE (Parlement européen, 2002), les niveaux sonores sont exprimés en dBA, notamment *via* un indicateur global de gêne Lden (*day-evening-night level*). Ainsi, que ce soit en LAeq ou

en Lden, et sans rentrer davantage dans le détail des réglementations, les seuils limites imposés et les atténuations calculées ou mesurées sont-ils aussi exprimés dans cette même unité.

Par la suite, nous considérons que l'effet de réduction du niveau sonore est significatif s'il est d'au minimum 3 dBA. Cette valeur de 3 dBA correspond, pour comparaison et dans le cas d'une infrastructure routière, à l'impact de la division par deux du trafic, du doublement de l'éloignement du récepteur ou de la réduction de vitesse de 110 à 70 km/h. Un écran antibruit classique de 4 m de hauteur, placé le long d'une autoroute 2 x 2 voies, engendre une atténuation sonore, pour un piéton situé à 50 m derrière, d'environ 10 dBA, cette valeur diminuant au fur à mesure que la hauteur du récepteur augmente.

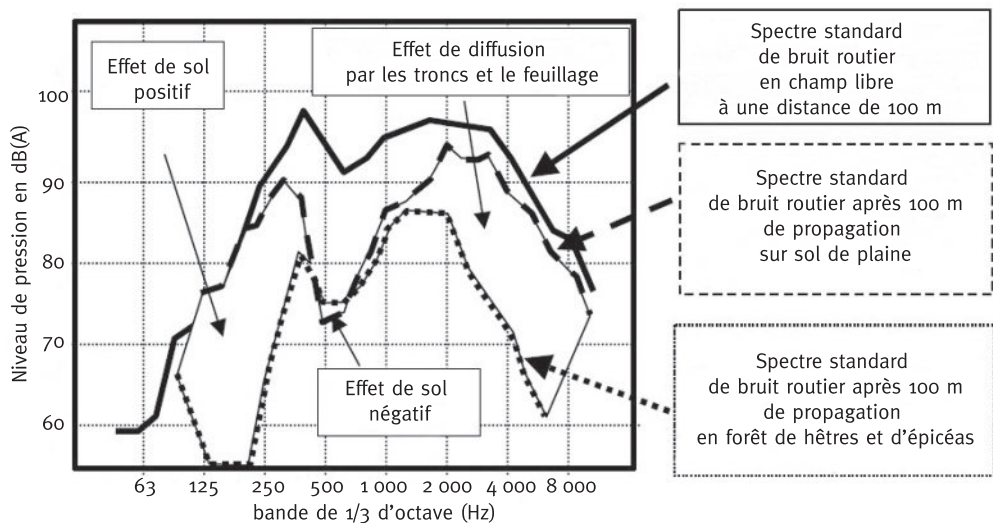
PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES PROPAGATIFS

Trois effets principaux de propagation sonore (Barrière *et al.*, 2000 ; Barrière et Defrance, 2001) en présence d'arbres ou d'une bande boisée, et agissant sur le bruit routier, peuvent être dégagés au regard de l'ensemble des résultats de recherche :

- l'atténuation du son par le sol (appelé aussi « effet de sol ») ;
- la diffusion du son par les troncs et les branches, ainsi que le feuillage ;
- l'effet de la modification des profils météorologiques sur la propagation du son (réfraction).

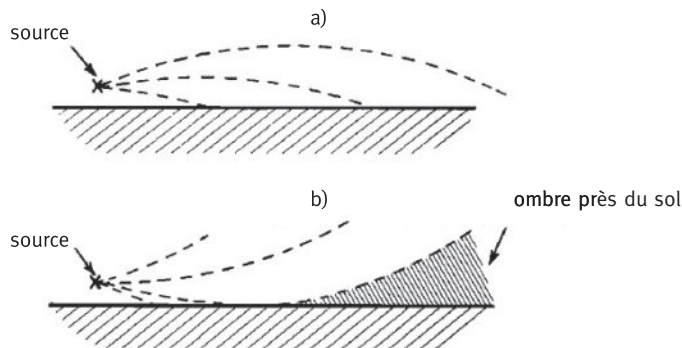
Chacun de ces effets dépend notamment du type de source sonore étudiée, de l'emplacement de la source et du récepteur par rapport aux arbres ou à la bande boisée, de la géométrie et composition de cette dernière. Ils sont détaillés dans les paragraphes ci-dessous en fonction de la configuration étudiée. Pour exemple, les effets combinés de sols et de diffusion sont illustrés, sur un cas particulier, en figure 1 (ci-dessous).

FIGURE 1 SPECTRES DES NIVEAUX SONORES À 100 m D'UNE INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE (SOURCE ET RÉCEPTEUR À 1 m DE HAUTEUR) :
1) EN CHAMP LIBRE, 2) APRÈS PROPAGATION DANS UNE FORÊT DE HÊTRES ET D'ÉPICÉAS,
3) APRÈS PROPAGATION EN PLAINE
 (Source : Barrière, 1999)



En figure 2 (ci-dessous), nous illustrons les principaux effets météorologiques sur la propagation du son (provenant d'une source sonore proche du sol, comme un véhicule routier) sur une distance de quelques centaines de mètres sur sol plan herbeux. Nous nous intéressons à la vitesse du son sur les premières dizaines de mètres au-dessus du sol (vitesse qui dépend en première approximation de la température et de la vitesse du vent dans la direction de propagation). Si cette vitesse du son est quasi constante (cas notamment d'une journée ou nuit sans vent et très nuageuse), les rayons sonores (c'est-à-dire les perpendiculaires aux fronts d'ondes acoustiques) sont quasiment des lignes droites : l'atténuation par effet de sol peut être assez significative ainsi que celle d'une diffraction par un écran antibruit ou autre obstacle long et suffisamment haut. L'appellation « conditions homogènes » est alors utilisée. Dans un deuxième cas où la vitesse du son augmente avec la hauteur (cas notamment d'un vent portant source vers récepteur, ou d'une nuit peu nuageuse), les rayons sonores sont incurvés vers le bas : les atténuations par effets de sol et diffraction sont fortement réduites (les rayons peuvent « passer » davantage au-dessus des obstacles) et le bruit au récepteur généralement augmente. L'appellation « conditions favorables » (à la propagation des sons) est utilisée. Le troisième cas est celui où la vitesse du son diminue avec la hauteur (cas notamment d'un vent contraire source vers récepteur, ou d'une journée bien ensoleillée au printemps ou été), les rayons sonores sont incurvés vers le haut : les atténuations par effets de sol et diffraction sont fortement augmentées ; le bruit est minimal. L'appellation « conditions défavorables » (à la propagation des sons) est alors utilisée.

FIGURE 2 RAYONS SONORES DANS LE CAS (a) DE « CONDITIONS FAVORABLES » ET (b) DE « CONDITIONS DÉFAVORABLES » À LA PROPAGATION ACOUSTIQUE
(Source : Piercy *et al.*, 1977)



Nous comprenons donc l'intérêt d'étudier ce phénomène propagatif (réfraction) à la traversée d'une bande boisée où les conditions météorologiques (gradients verticaux de température et vitesse du vent) vont être modifiées.

D'autres grandeurs, telles la turbulence atmosphérique et l'humidité de l'air (Price *et al.*, 1988 ; Barrière, 1999 ; Chobeau, 1995), ne sont pas abordées ici, leur effet restant secondaire pour notre propos.

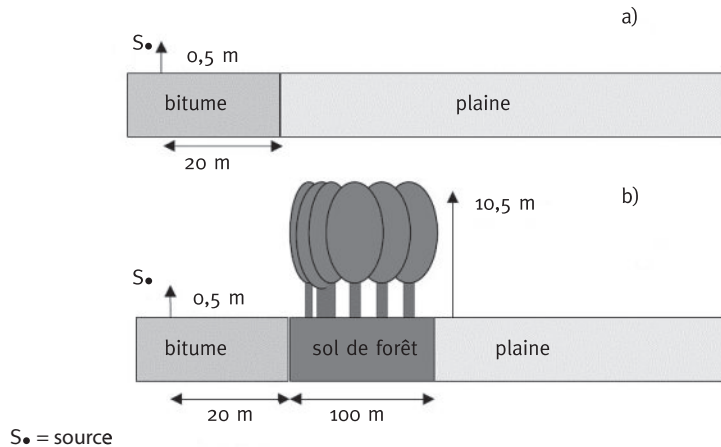
BANDE DE FORÊT LE LONG D'UNE INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE

Nous considérons le cas d'une bande boisée plantée le long d'une infrastructure de transport routier, et nous comparons ce cas à celui d'une situation sans forêt avec un sol herbeux de plaine, tel que décrit en figure 3 (p. 344).

FIGURE 3

GÉOMÉTRIES ÉTUDIÉES SANS ET AVEC BANDE DE FORÊT

(Source : Barrière, 1999)

**Effet de sol de forêt**

Comme le montrent certaines publications (Price *et al.*, 1988 ; Barrière, 1999 ; Martens, 1981 ; Attenborough *et al.*, 2011), il existe une forte atténuation du bruit en basse fréquence (en dessous de 500 Hz) à cause de l'effet de sol de forêt, ce qui constitue ici un phénomène positif pour la réduction du bruit. Le sol de forêt est composé de plusieurs couches successives : la litière (couche supérieure), l'humus (couche intermédiaire) et une couche inférieure constituée de différents éléments minéraux (sable, terre...). Il a un caractère plus poreux qu'un sol de prairie, ce qui le rend acoustiquement plus absorbant, mais pas sur toutes les plages de fréquences audibles, car il s'agit d'un phénomène d'interférence entre l'onde directe et l'onde réfléchi par le sol, et dans ce cas précis de forêt, l'effet atténuateur n'apparaît que jusqu'à environ 500 Hz et qu'au-dessus d'environ 1 500 Hz.

Ce résultat varie selon les espèces d'arbres en présence, et les résultats de la littérature à ce propos ne sont pas toujours immédiatement comparables à cause de la disparité des caractéristiques des forêts étudiées mais aussi de la méthode de mesure employée (notamment la distance de propagation et les hauteurs des sources et récepteurs).

Cet effet d'atténuation par le sol de forêt est d'autant plus important que la source et le récepteur sont proches du sol et que la distance de propagation est grande. Cependant, compte tenu de la composition spectrale du bruit routier (dominant dans les bandes de fréquences moyennes) et de la topologie du site, cet effet n'entraîne pas forcément une atténuation du niveau global en dBA au récepteur. Au-delà de 1 kHz, l'effet de diffusion par les troncs d'arbres devient important et l'effet de sol diminue. Au-delà de 2 à 4 kHz suivant les espèces, l'effet de diffusion et d'absorption du feuillage ou des aiguilles vient se rajouter à celui des troncs.

Diffusion par la végétation

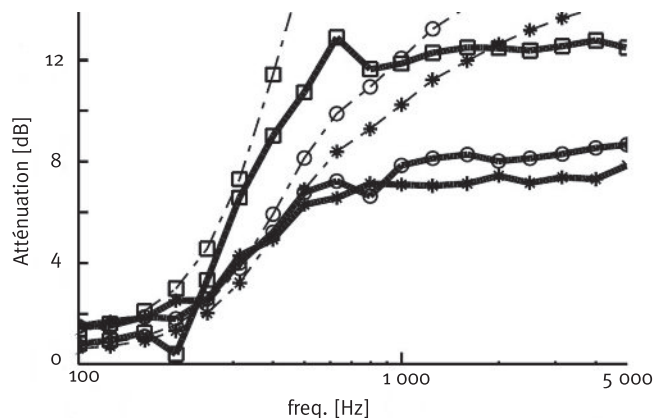
La végétation a deux types d'effets sur la propagation du son en forêt : les effets directs comprenant la diffusion et l'absorption, et les effets indirects sur les conditions météorologiques qui

agissent à leur tour sur la propagation sonore. De longues séries de mesures rapportées dans la littérature ont montré que les effets directs existent aussi bien dans le cas de plantes, de rangées d'arbres ou de forêts. La variation de l'effet de diffusion et d'absorption sur la propagation du son dépend évidemment du nombre d'obstacles diffusants, de leur taille (hauteur et diamètre moyen) et de leur composition organique en surface.

Du fait de la variété et de la quantité de types de végétation, il est facilement compréhensible que la prévision précise de ces effets soit très ardue. Ceci est d'ailleurs en général impossible du fait de la méconnaissance quasi complète des paramètres. Les mesures effectuées permettent seulement de donner un ordre d'idée de ces effets mais ne peuvent être que difficilement utilisées à des fins de prévision fine. Elles indiquent qu'un effet n'est mesurable que lorsque l'on est en présence d'obstacles de taille suffisante comme une bande de forêt ayant une largeur d'au moins une vingtaine de mètres (Attenborough *et al.*, 2011).

Des simulations (Barrière, 1999 ; Chobeau, 1995 ; Hosanna European Project, s.d. ; Van Renterghem *et al.*, 2015a, 2015b ; Jean et Defrance, 2015) concernant l'effet d'atténuation sonore par diffusion par les troncs montrent que ce phénomène peut être aussi important que celui de l'effet de sol de forêt. Plus la densité d'arbres est élevée et la bande de forêt épaisse, plus élevée sera la valeur d'atténuation résultante. Par exemple, pour une densité de 0,28 arbre/m², un diamètre moyen des troncs de 0,2 m et une largeur de bande boisée de 100 m, on évalue à environ 6 dBA l'effet de diminution du bruit derrière la bande de forêt (figure 4, ci-dessous). Il est à noter que certaines simulations donnent des valeurs d'atténuation encore plus élevées pour des épaisseurs de bande de forêt plus faibles : ces résultats de calculs théoriques, où les troncs sont considérés comme des cylindres parfaits, sont à considérer avec prudence et demanderaient à être validés par des campagnes expérimentales complémentaires.

FIGURE 4 SPECTRES D'ATTÉNUATION SONORE EN DB LORS DE LA PROPAGATION SONORE À TRAVERS UNE LONGUE BANDE DE TRONCS, DE LARGEUR 100 M ET DE DENSITÉ 0,28 ARBRE/M².
Simulations pour différents angles de propagation entre source et récepteur (angle par rapport à la perpendiculaire horizontale à la bande boisée) : * 0°, ○ 32° et □ 64°.
Les résultats qui nous intéressent ici sont ceux de référence effectués avec la méthode des éléments de frontière BEM (traits pleins).
 (Source : Jean et Defrance, 2015)



Concernant l'arrangement des plantations, il semblerait qu'une disposition irrégulière des arbres soit légèrement plus atténuante qu'un arrangement très régulier (Chobeau, 2015 ; Jean et Defrance, 2015).

Enfin, l'absorption et la diffusion par les feuilles ou les aiguilles sont deux phénomènes à prendre en compte pour le calcul de l'atténuation en hautes fréquences (supérieures à 2 kHz). Dans le cas d'un calcul de niveau global de bruit routier en dBA, cet effet est négligeable, d'autant plus que, dans le cas d'un feuillage caduc, l'effet n'existe plus en hiver.

Effets météorologiques en forêt

Comme décrit précédemment, les effets météorologiques sont des effets indirects de la végétation sur le son. Les arbres agissent sur les paramètres météorologiques qui agissent ensuite sur la propagation acoustique. De nombreuses études ont ainsi montré que le climat en forêt est caractérisé par une diminution des variations climatiques extrêmes, sous la canopée (Parlement européen, 2002).

Globalement, l'ensoleillement, l'hygrométrie, la végétation ou le relief induisent des hétérogénéités de température, d'humidité et de vent. Celles-ci entraînent, dans le domaine acoustique, des variations locales de la vitesse de propagation du son (célérité). Or, dans les études de propagation du son à travers la forêt, l'influence des gradients verticaux de célérité a en général été supposée négligeable devant la propagation acoustique. Ainsi, du fait de la relative homogénéité de la température et de la vitesse du vent sous la canopée, la forêt peut être aussi utilisée comme « écran climatique » permettant, parfois, de limiter les effets négatifs des gradients verticaux positifs de vitesse de vent et de température dans le cas d'un sol dégagé.

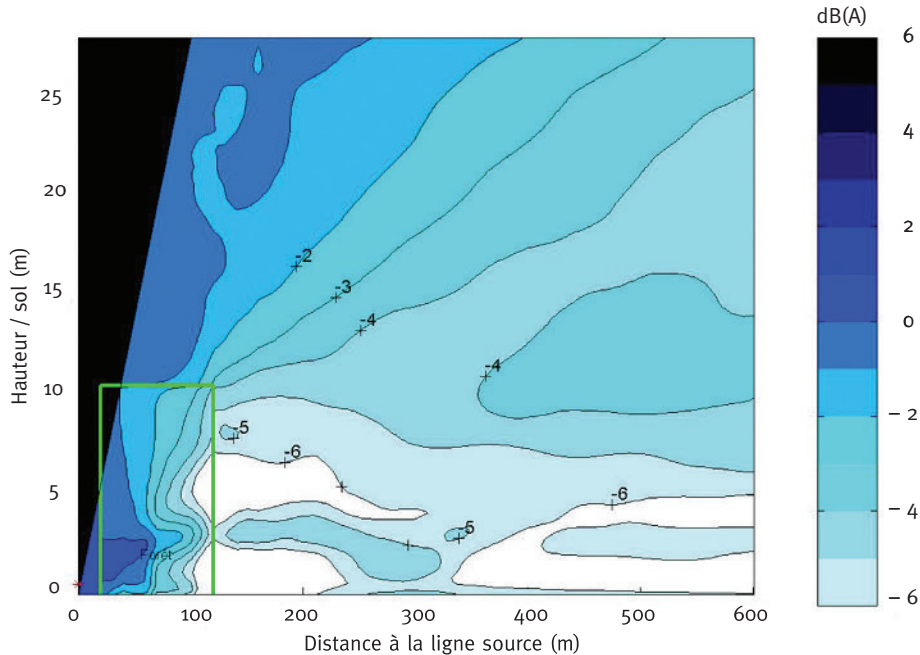
Des simulations (Barrière, 1999 ; Barrière *et al.*, 2000) ont été menées pour une plateforme routière en comparant les cas de plaine et de forêt (tels que présentés en figure 3, p. 344) dans différentes situations météorologiques classiques. La bande de forêt positionnée le long de la route est de grande longueur et d'une profondeur de 100 m.

Dans le cas d'une nuit sans vent avec un ciel relativement dégagé, où la température de l'air augmente avec l'altitude et où la propagation des rayons sonores est incurvée vers le sol (situation météorologique dite « favorable » à la propagation du son) induisant une augmentation significative des niveaux sonores pour des récepteurs au-delà d'environ 100 m, la présence de la bande de forêt entraîne la quasi-annulation, sous la canopée, de ces effets météorologiques « négatifs ». Dans cette situation, présentée en figure 5 (p. 347), la réduction du bruit de la route peut atteindre 6 dBA. Cette situation météorologique nocturne est très fréquente et c'est celle que nous allons considérer pour évaluer les niveaux moyens de nuit LAeq (22 h-6 h). Il s'agit de plus d'une période où la gêne sonore est maximale et où les écrans antibruit perdent leur efficacité : l'enjeu de réduction du bruit est donc primordial.

Cependant, dans le cas contraire d'une journée ensoleillée sans vent où la température de l'air diminue avec l'altitude et où la propagation des rayons sonores est incurvée vers le haut (situation météorologique dite « défavorable » à la propagation du son) induisant une forte diminution des niveaux sonores pour des récepteurs au-delà d'environ 100 m, la présence de la bande de forêt entraîne cette même quasi-annulation des effets météorologiques « positifs » et induit une augmentation significative des niveaux sonores reçus derrière la bande boisée. Mais dans cette situation météorologique, les niveaux sonores initiaux sont très bas et l'enjeu de réduction du bruit est faible.

Si nous envisageons à présent le cas d'un vent portant (soufflant de la source routière vers les récepteurs situés derrière la bande boisée), les résultats de simulation montrent une amélioration de l'environnement sonore plus faible, de l'ordre de 2 dBA au maximum, avec une zone d'atténuation beaucoup moins stable.

FIGURE 5 DIFFÉRENCE DE NIVEAU SONORE ENTRE LES CAS BANDE DE FORÊT ET PLAINES, POUR UNE SITUATION MÉTÉOROLOGIQUE DE TYPE « PROFIL DE TEMPÉRATURE DE NUIT » (GRADIENT VERTICAL DE TEMPÉRATURE POSITIF).
 Une valeur négative indique une diminution du bruit du fait de la présence de la bande boisée.
 (Source : Barrière, 1999)



Effets perceptifs

Tous les résultats présentés précédemment font appel à une approche physique de l'acoustique. Cependant, une atténuation sonore calculée ou mesurée, établie par rapport à une situation de référence, peut être plus ou moins éprouvée perceptivement, notamment en prenant en compte l'aspect visuel. Des recherches (Watts *et al.*, 1999) ont effectivement mis en avant ce résultat contre-intuitif : pour un même niveau sonore reçu, une personne est d'autant plus sensible au bruit (la bruyance, c'est-à-dire le caractère bruyant perçu, augmente) que la source sonore est visuellement bien occultée. Ceci nous suggère que la mise en place, pour des objectifs de diminution du bruit, d'une bande de forêt le long d'une infrastructure routière ne doit être envisagée que si cette bande est suffisamment profonde (plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur) et suffisamment dense, sans quoi la protection visuelle réellement créée entraînera une augmentation de la sensibilité au bruit de trafic pouvant se traduire par une évaluation subjective de la bruyance plus élevée que celle attendue.

RANGÉE D'ARBRES LE LONG D'UNE PROTECTION ANTIBRUIT

Nous considérons le cas d'une rangée d'arbres le long d'un écran antibruit routier, ou en partie haute d'un merlon (ou levée de terre) acoustique.

Effets météorologiques

Les effets météorologiques particuliers ont été étudiés dans le cas d'un vent portant (de la source routière vers le récepteur) soufflant perpendiculairement à une route bordée par un écran antibruit de 4 m de hauteur (Van Renterghem et Botteldooren, 2002). Dans cette configuration, l'ajout d'une rangée d'arbres, dont la canopée est suffisamment haute, derrière l'écran a un effet indirect significatif : il permet de rendre davantage laminaire l'écoulement du vent et induit une diminution du niveau sonore de l'ordre de 5 dBA aux points récepteurs moyennement éloignés. Il est alors préconisé. Cependant, cet effet bénéfique n'est plus observable dans d'autres configurations météorologiques (gradients verticaux de vitesse de vent ou de température) et cette solution ne peut être efficace que si le vent dominant est perpendiculaire à l'infrastructure routière.

Diffusion par la végétation

Si nous nous plaçons à présent à moins de 20 m derrière un écran bordé d'arbres ou un merlon surmonté d'arbres, là où la protection antibruit est la plus efficace, la diffusion sonore engendrée par les branches aura tendance à rediriger une partie de l'énergie sonore aux hautes fréquences vers le récepteur. Ce dernier peut tout à fait percevoir cette redirection du bruit de trafic alors que le niveau sonore global n'aura pas augmenté de façon significative, et il l'interprètera comme une dégradation de l'efficacité de la protection antibruit. Dans cette situation où les récepteurs potentiels sont proches (habitations, chemin de promenade, aire de jeu, parc), il est donc déconseillé de planter des arbres de hauteur conséquente. Notamment pour les merlons, les plantations d'arbres et d'arbustes sont envisageables sur les pentes de talus mais pas en partie haute.

L'ARBRE DANS LA VILLE

Nous considérons à présent le cas d'arbres plantés en rangées ou en paquets en zone urbanisée, le long d'un axe de transport ou sur une place ouverte à la circulation.

Diffusion par la végétation

La plantation d'arbres le long d'un boulevard, sur une place urbaine ou dans une cour intérieure ne permet pas de réduire significativement les niveaux sonores issus des transports terrestres. Cependant, l'absorption et la diffusion par les branches et les feuilles peuvent avoir un effet positif dans le cas où elles viennent corriger une situation initiale très réverbérante. L'ajout de végétation se traduit par une diminution de la durée de réverbération du lieu, c'est-à-dire par une atténuation perceptible de son caractère « minéral » et « réfléchissant », et par une augmentation de l'intelligibilité. Cet effet est alors prédominant aux fréquences les plus élevées.

Combinaison des perceptions sonore et visuelle

Contrairement au cas de la bande boisée évoqué ci-dessus, l'ajout de quelques arbres ou rangées d'arbres en milieu urbain dense améliore la qualité visuelle de l'environnement bâti (Nilsson *et al.*, 2015), sachant que l'auditeur n'interprète pas cette végétation comme ayant pour objectif premier de diminuer le bruit en ville. Cependant, jusqu'à quel point les modifications de l'environnement visuel influencent la perception auditive reste une question dont la réponse n'est pas clairement établie car les publications sur ce sujet ne sont pas concordantes. Des recherches complémentaires faisant notamment appel à des techniques de restitution sonore (auralisation) (Maillard *et al.*, 2012) couplées à des projections d'images et de vidéos pourraient être utilisées.

D'AUTRES INVESTIGATIONS CONCERNANT LA VÉGÉTALISATION DES VILLES

Buissons

Une campagne expérimentale (Van Renterghem *et al.*, 2014) a été menée dans le cadre du projet européen Hosanna (Hosanna European Project, s.d.) sur un ensemble de buissons plantés en milieu urbain, afin d'en mesurer l'efficacité acoustique sur le bruit routier, notamment au moment du passage d'un véhicule, c'est-à-dire pour le niveau sonore maximal reçu par un piéton derrière le buisson. Même si ces buissons sont épais (entre 1,30 et 2,50 m d'épaisseur) et denses, la diminution sonore engendrée reste très limitée (entre 1 et 3 dBA), sachant que les valeurs les plus élevées d'atténuation résultent en partie d'un effet de sol supplémentaire apporté par la mise en œuvre d'une bande de gazon devant ou derrière les buissons.

Végétalisation des surfaces

D'autres investigations (Hosanna European Project, s.d. ; Van Renterghem *et al.*, 2015a ; Defrance *et al.*, 2015) ont porté sur l'effet de la végétalisation en façade ou en toiture des bâtiments, ainsi que sous forme d'écrans antibruit végétalisés de faible hauteur (environ 1 m) adaptés au contexte urbain (Rådsten-Ekman *et al.*, 2011). Il est à noter que, dans ces situations, c'est le substrat accueillant les plantes qui, par sa porosité, absorbe significativement les ondes sonores.

Chacune de ces solutions n'est envisageable que dans un contexte urbain très particulier. Dans le cas de traitement végétal des façades des bâtiments, l'effet d'atténuation peut devenir significatif (jusqu'à 4 dBA) mais la mise en place sur les bâtiments existants peut être compliquée (présence de vitrines en centre-ville, bâtiments classés...). Pour ce qui est du traitement végétal des toitures, il est particulièrement dédié à la réduction du bruit dans des cours fermées, après diffraction du son par la partie haute du bâtiment (atténuation significative jusqu'à 8 dBA), mais il ne permet pas de régler le problème du bruit en ville dans les lieux immédiatement en regard des infrastructures de transport terrestre et nombre de toitures ne peuvent être traitées de la sorte. Quant aux écrans innovants de faible hauteur, ils peuvent apporter pour les piétons et les premiers étages d'habitations une atténuation sonore allant jusqu'à 10 dBA, mais uniquement s'ils sont suffisamment longs et suffisamment proches des sources sonores à protéger.

RECOMMANDATIONS

Oui, les arbres et les bandes boisées peuvent contribuer à l'amélioration de l'environnement sonore, mais il ne s'agit aucunement d'une solution miracle, comme c'est souvent le cas en acoustique environnementale et urbaine. Il s'agit de solutions qui offrent des atténuations sonores relativement limitées mais qui, venant en complément d'autres actions de réduction du bruit, peuvent permettre de traiter significativement certaines situations de nuisance sonore en milieu extérieur, tout en apportant un certain nombre de bénéfices propres à la biodiversité, à la pollution de l'air, au traitement de gaz à effet de serre et au paysage urbain et rural.

Les recommandations suivantes peuvent être faites :

- Dans le cas d'une bande boisée le long d'une infrastructure routière, il est recommandé que cette bande, suffisamment longue, ait une épaisseur d'au moins 25 mètres et une densité d'au minimum 0,25 arbre/m² (diamètre moyen des troncs d'au moins 0,2 m) pour avoir un effet atténuateur significatif (3 dBA). Plus la densité et l'épaisseur seront élevées, plus grande sera l'atténuation sonore. Nous conseillons aussi de densifier au maximum les premiers mètres au-dessus du sol en combinant arbres et arbustes. Pour des bandes boisées plus profondes (100 m)

et donc des distances de propagation plus grandes, les effets météorologiques « négatifs » (par exemple, nuit claire sans vent) peuvent être quasiment annulés, les arbres jouant alors le rôle « d'écran climatique ».

– Pour que l'efficacité acoustique d'une bande boisée soit effective durant toute l'année, nous recommandons de planter des feuillus persistants ou une combinaison de feuillus persistants et de conifères. Concernant le sol, nous recommandons de le cultiver avant les plantations d'arbres et d'y adjoindre de la matière organique décomposée, afin qu'il reste acoustiquement absorbant.

– Dans le cas d'une rangée d'arbres plantés derrière un écran antibruit et dont la canopée s'étend largement au-dessus de celui-ci, l'effet d'atténuation significative peut être observé mais il reste limité au cas du vent portant (source sonore vers récepteur). Si les récepteurs (piétons ou habitations) sont situés à moins de 20 m derrière l'écran, il est déconseillé de planter une rangée d'arbres dont la canopée dépasserait la tête d'écran, afin de ne pas dégrader le caractère diffractant de la protection par la diffusion supplémentaire de bruit par les branches, notamment aux hautes fréquences.

– Concernant les merlons antibruit, il est conseillé de planter arbres et arbustes en pentes de talus, avec comme règle que leur cime ne dépasse pas la partie haute de la protection.

– Les arbres en cœur de ville ont quant à eux un impact très faible sur la diminution globale du bruit routier. Cependant, ils participent par les effets de diffusion sonore des branches et des feuilles, à amoindrir le caractère réverbérant de certaines places minérales ou de rues et boulevards en U (c'est-à-dire des voies urbaines bordées de bâtiments disposés de part et d'autre de façon quasi continue), ce qui est généralement positivement perçu. De plus, leur présence améliore la qualité visuelle de l'environnement urbain.

Il est à noter que tous ces résultats sont également applicables dans leur ensemble aux transports ferroviaires et notamment aux tramways en milieu urbain.

Jérôme DEFRANCE

Responsable du Pôle Recherche & Expertise
Division Acoustique
Direction Santé-Confort
CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT
24 rue Joseph Fourier
F-38400 SAINT-MARTIN-D'HÈRES
(jerome.defrance@cstb.fr)

Philippe JEAN

Ingénieur-chercheur expert en méthodes numériques
Division Acoustique
Direction Santé-Confort
CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT
24 rue Joseph Fourier
F-38400 SAINT-MARTIN-D'HÈRES
(philippe.jean@cstb.fr)

Nicolas BARRIÈRE

Ingénieur en Chef Adjoint Programme ATR
Division Train d'Atterrissage & Intégration
Safran Landing Systems
Inovel Parc Sud
7 rue du Général Valérie André
F-78140 VELIZY-VILLACOUBLAY
(nicolas.barriere@safrangroup.com)

BIBLIOGRAPHIE

- ATTENBOROUGH K., BASHIR I., TAHERZADEH S., 2011. Outdoor ground impedance models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 129(5), pp. 2806-2819.
- BARRIÈRE N., 1999. Étude théorique et expérimentale de la propagation du bruit de trafic en forêt. École Centrale de Lyon ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (Thèse de Doctorat).
- BARRIÈRE N., DEFRANCE J., 2001. La forêt : un écran anti-bruit météorologique. 2^e partie : Campagne de mesures dans les Landes. Validation des méthodes de calcul. *Acoustique & Technique*, 24, pp. 34-40.
- BARRIÈRE N., GABILLET Y., DEFRANCE J., 2000. La Forêt : un écran anti-bruit météorologique. 1^{re} partie : une nouvelle méthode de calcul de la propagation du bruit de trafic en forêt. *Acoustique & Technique*, 23, pp. 41-48.
- CHOBEAU P., 2015. *Modeling of sound propagation in forests using the Transmission Line Matrix method*. Université du Maine (Thèse de Doctorat).
- DEFRANCE J., JEAN P., KOUSSA F., VAN RENTERGHEM T., KANG J., SMYRNOVA Y., 2015. Innovative barriers. pp. 19-46. In: Nilsson M.E., Bengtsson J., Klæboe R., editors. *Environmental methods for transport noise reduction*. Taylor & Francis Group: CRC Press.
- EYRING C.F., 1946. Jungle acoustics. *J. Acoust. Soc. Am.*, 18, pp. 257-270.
- HOSANNA EUROPEAN PROJECT (HOListic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means), s.d. *Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement n° 234306*. [On line] <http://www.greener-cities.eu>
- JEAN P., DEFRANCE J., 2015. Sound propagation in rows of cylinders of infinite extent: Application to sonic crystals and thickets along roads. *Acta Acustica united with Acustica*, 101(3), pp. 474-483.
- MAILLARD J., JAGLA J., DEFRANCE J., 2012. Évaluation de l'environnement sonore des espaces urbains par une méthode d'auralisation temps réel du bruit des transports terrestres. *Écho Bruit*, 136, pp. 15-18.
- MARTENS M.J.M., 1981. Noise abatement in plant monocultures and plant communities. *Appl. Acoust.*, 14, pp. 167-189.
- NILSSON M.E., BOTTELDOOREN D., JEON J.Y., RÅDSTEN-EKMAN M., DE COENSEL B., HONG J.Y. *et al.*, 2015. Perceptual effects of noise mitigation. pp. 195-220. In: Nilsson M.E., Bengtsson J., Klæboe R., editors. *Environmental methods for transport noise reduction*. Taylor & Francis Group: CRC Press.
- PARLEMENT EUROPÉEN, 2002. Directive 2002/49/CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement.
- PIERCY J.E., EMBLETON T.F.W., SUTHERLAND L.C., 1977. Review of noise propagation in the atmosphere. *J. Acoust. Soc. Am.*, 61(6), pp. 1403-1418.
- PRICE M., ATTENBOROUGH K., HEAP N.W., 1988. Sound attenuation through trees: measurements and models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 84, pp. 1836-1844.
- RÅDSTEN-EKMAN M., VINCENT B., ANSELME C., MANDON A., ROHR R., DEFRANCE J., VAN MAERCKE D. *et al.*, 2011. Case-study evaluation of a low and vegetated noise barrier in an urban public space. Proceedings of the 40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering InterNoise; 2011 Sep 4-7, Osaka, Japan.
- VAN RENTERGHEM T., ATTENBOROUGH K., JEAN P., 2015b. Designing vegetation and tree belts along roads. pp. 91-118. In: Nilsson M.E., Bengtsson J., Klæboe R., editors. *Environmental methods for transport noise reduction*. Taylor & Francis Group: CRC Press.
- VAN RENTERGHEM T., ATTENBOROUGH K., MAENNEL M., DEFRANCE J., HOROSHENKOV K., KANG J. *et al.*, 2014. Measured light vehicle noise reduction by hedges. *Appl. Acoust.*, 78, pp. 19-27.
- VAN RENTERGHEM T., BOTTELDOOREN D., 2002. Effect of row of trees behind noise barriers in wind. *Acta Acustica united with Acustica*, 88(6), pp. 869-878.
- VAN RENTERGHEM T., FORSSÉN J., ATTENBOROUGH K., JEAN P., DEFRANCE J., HORNIKX M. *et al.*, 2015a. Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. *Appl. Acoust.*, 92, pp. 86-101.
- WATTS G., CHINN L., GODFREY N., 1999. The effects of vegetation on the perception of traffic noise. *Appl. Acoust.*, 56, pp. 39-56.

LES ARBRES ET LES FORÊTS PEUVENT-ILS CONTRIBUER À L'AMÉLIORATION DE L'ENVIRONNEMENT SONORE ? [Résumé]

Dans le présent article, nous abordons le contrôle du bruit des transports terrestres, et plus particulièrement celui issu des routes. Notre objectif est de déterminer, à partir des résultats de la littérature scientifique ainsi que de notre propre retour d'expérience, dans quels cas l'impact de la plantation d'arbres ou de bandes boisées est bénéfique sur la réduction du bruit environnemental, ceci pour quelle efficacité acoustique attendue et avec quelles bonnes pratiques. Nous commençons notre propos par un bref rappel réglementaire sur la gestion du bruit routier, et nous présentons une revue synthétique des principaux effets d'atténuation observés lors de la propagation sonore en présence d'arbres : effets de sol, de diffusion et de réfraction météorologique. Puis, nous envisageons certaines configurations paysagères typiques étudiées dans la littérature scientifique et nous donnons pour chacune d'elles l'impact acoustique attendu : bande de forêt le long d'une infrastructure routière, rangée d'arbres le long d'une protection antibruit et l'arbre dans la ville. Nous donnons finalement un ensemble de recommandations sur l'usage des arbres et des bandes de forêt comme élément pouvant améliorer l'environnement sonore extérieur. Nous conseillons notamment de planter des feuillus persistants ou un mélange de feuillus persistants et de conifères, avec une densité d'au moins 0,25 arbre/m². Concernant le sol, nous recommandons de le cultiver avant les plantations d'arbres et d'y adjoindre de la matière organique décomposée. Nous déconseillons d'autre part de planter des arbres en partie haute d'un merlon antibruit.

CAN TREES AND FORESTS CONTRIBUTE TO ENVIRONMENTAL NOISE ABATEMENT? [Abstract]

In this article, we focus on ground transportation noise abatement and more precisely road traffic noise control. From the literature as well as our own experience in this field we aim at determining which are the planting schemes for trees or forest strips that are most effective for environmental noise abatement, the expected noise attenuation and associated good practices. Beginning with a brief reminder of French regulations on road noise management, we then present a summary review of main attenuation processes observed when sounds propagate through woodland areas: ground, diffusion and refraction effects. Then we consider some typical landscape configurations studied in the scientific literature, specifying their respective expected acoustic impact: a forest strip along a road infrastructure, a row of trees along noise barriers and trees in the city. Finally, a set of recommendations is provided for the correct use of trees and forest strips as elements that improve the outdoor sound environment. Our advice is to plant broadleaved evergreens or a mixture of broadleaved evergreens and conifers, at a minimum density of 0.25 tree/m². We also advise cultivating the ground before trees planting and distributing well-composted organic matter. On the other hand we advise against planting trees at the top of earth berms.
