

Comment prendre en compte la multi-exposition sonore ?

La présente fiche vise à compléter et enrichir le guide « Comment réaliser les cartes de bruit stratégiques en agglomération », publié par le Certu en 2006 et destiné à aider les collectivités en charge de la réalisation de ces cartes. Elle s'appuie sur les retours d'expérience collectés depuis sa parution.

Les textes d'application de la directive 2002/49/CE pour l'évaluation et la gestion du bruit ambiant [2] n'imposent pas la prise en compte de la multi-exposition. Cependant, s'il n'existe pas de cadre réglementaire, cette approche est utile et fortement recommandée pour servir l'établissement des Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement (PPBE).

La présente fiche a donc un caractère prospectif et a pour objectif de proposer des pistes de prise en compte possible de la multi-exposition dans le cadre des cartes de bruits sur le territoire des agglomérations.

► Ce que disent les textes

Article L572-3 du Code de l'Environnement [3]
 « Les cartes de bruit sont destinées à permettre l'évaluation globale de l'exposition au bruit dans l'environnement ... ».

Article R572-1 du code de l'Environnement [4]
 « Les mesures prévues par le présent décret ont pour objet d'évaluer et de prévenir les nuisances sonores résultant d'activités humaines, notamment les bruits émis par les moyens de transports, le trafic routier, ferroviaire ou aérien ou provenant d'activités industrielles exercées dans les installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation en application de l'article L. 512-1 du code de l'environnement, ... »

Article R572-4 du code de l'Environnement [4]
 « Les cartes de bruit... sont établies au moyen, notamment, des indicateurs de niveau sonore LDEN et LN définis à l'article R 147-1 du code de l'urbanisme ».

Article R572-5 du code de l'Environnement [4]
 « Dans les agglomérations ..., les cartes de bruit comportent, en outre, des documents graphiques représentant de manière distincte le bruit produit par les trafics routier, ferroviaire, aérien et les installations industrielles ... ».

Article 3 de l'arrêté du 4 avril 2006 [5]
 « Dans les agglomérations ..., le document visé au a du II de l'article 3 du décret peut, le cas échéant, représenter l'exposition sonore globale due à l'ensemble des différentes sources de bruit ... ».

► Ce qu'il faut en penser

Les articles L572-1 à L572-11 du code de l'Environnement prévoient, pour les cartes de bruit des grandes agglomérations, une évaluation globale, dont le détail est renvoyé aux textes réglementaires.

Les articles R572-1 à R572-5 du code de l'Environnement prévoient aussi une évaluation globale du bruit et en plus (en outre = en plus) une évaluation détaillée. Cependant, les précisions apportées par l'article 3 de l'arrêté du 4 avril 2006 donnent à l'évaluation globale cumulée des sources de bruit, un caractère beaucoup plus facultatif.

Il en résulte que l'autorité compétente a toute latitude pour choisir la méthode permettant d'apprécier l'exposition globale.

En particulier, comme le propose la directive européenne, l'article R572-4 du code de l'Environnement laisse la possibilité d'utiliser en plus des indicateurs Lden et Ln d'autres descripteurs. Parallèlement à ces indices de type énergétiques, il existe en effet des indicateurs et notamment de type événementiel qui peuvent s'avérer pertinents pour évaluer l'exposition au bruit. Il n'est cependant aujourd'hui pas possible de calculer de tels indicateurs avec des modèles d'ingénierie classiques.

Les cartes de bruit constituent des outils de diagnostic destinés à bâtir une stratégie qui se concrétise au moment de l'approbation des PPBE. Si une approche par la multi-exposition peut s'avérer délicate à l'échelle de la carte (présentée au 1/10000^{ème} dans les agglomérations), elle s'avère plus difficilement contournable au moment de l'élaboration du Plan de Prévention et devient indispensable lorsqu'on se préoccupe de la sauvegarde des zones calmes.

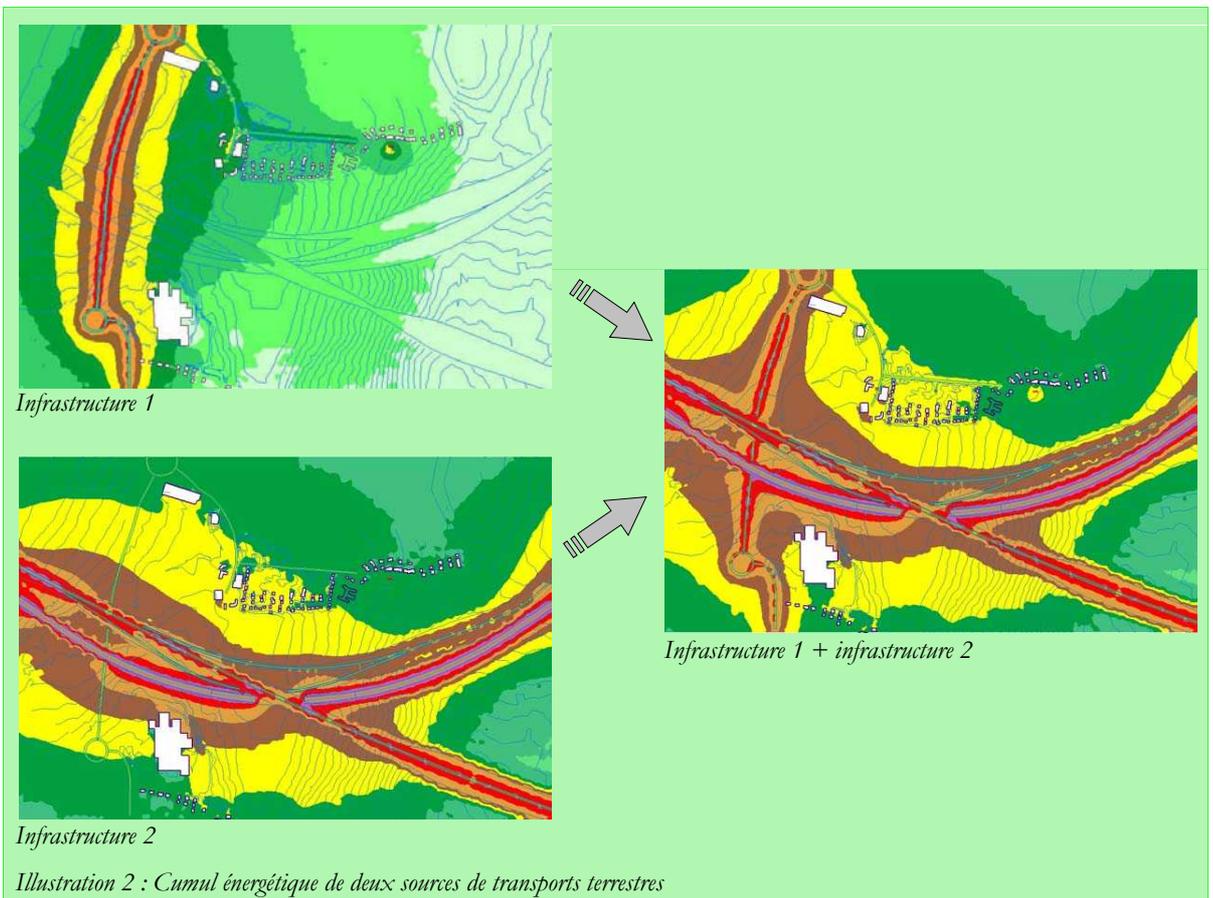
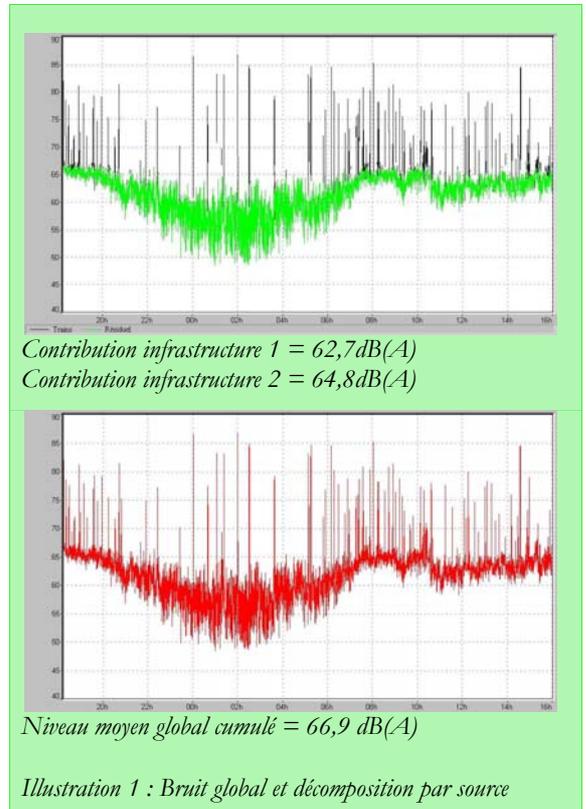
En conclusion, on peut en déduire qu'une évaluation de la multi-exposition n'est pas obligatoire au niveau des cartes de bruit, mais qu'elle sera utile notamment pour l'établissement des PPBE. Dans cette perspective elle n'est pas à réaliser systématiquement sur l'ensemble du territoire, mais localement, là où les enjeux le justifient.

► La multi-exposition, une approche physique simple

L'exposition aux différentes sources de bruit concernées par les cartes d'agglomération peut être aisément quantifiée par la mesure. L'unité de quantification utilisée, le décibel, est commun à toutes ces sources et sous réserve de mettre en œuvre un protocole adapté, il est généralement possible de dissocier la contribution des différentes sources par grandes familles.

L'exemple ci contre, montre sur le graphique du haut la décomposition par source (routier en vert et ferroviaire en noir) et sur le graphique du bas, en rouge, la mesure du bruit global.

De la même manière, les outils de modélisation permettent de calculer sans difficulté l'exposition due à chaque source et d'effectuer leur cumul énergétique en un point donné.



La multi-exposition, une approche psycho-acoustique complexe

Les sources de bruit présentes dans les agglomérations fluctuent en permanence et les niveaux physiques ne suffisent pas à caractériser l'exposition des populations sur une longue période. Il est essentiel d'introduire la dimension psychologique du bruit et ses effets en parlant en terme de gêne.

Quantifier la gêne acoustique nécessite de disposer de descripteurs adaptés, également appelés indices. Le Lden et le Ln sont les deux indices de base retenus par la directive européenne et sa transposition.

Il n'existe actuellement pas de document de référence pour quantifier les relations entre niveaux de bruit et proportion de population gênée (relations « doses-réponses »). Un groupe de travail a cependant été constitué par la Commission européenne afin d'apporter à cette dernière un support dans le développement de ces relations « doses-réponses ». Le travail de ce groupe a abouti à la production d'un « position paper » [12] reprenant notamment les relations entre l'indicateur Lden et la proportion de personnes gênées. Ces relations ont été établies sur base d'un ensemble d'études scientifiques réalisées en Europe, en Amérique du Nord et en Australie. Ce document ne constitue cependant pas une position officielle et n'a pas fait l'objet d'un consensus général au niveau de la Commission. Par ailleurs aucun document de référence n'a été jusqu'à présent produit sur ce sujet par l'OMS.

Les principales conclusions se présentent sous la forme d'un tableau et d'un graphique.

Lden	Bruit du trafic aérien		Bruit du trafic routier		Bruit du trafic ferroviaire	
	% gênés	% très gênés	% gênés	% très gênés	% gênés	% très gênés
45	11	1	6	1	3	0
50	19	5	11	4	5	1
55	28	10	18	6	10	2
60	38	17	26	10	15	5
65	48	26	35	16	23	9
70	60	37	47	25	34	14
75	73	49	61	37	47	23

Source : Commission européenne 2002, "Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance"

Illustration 3 : Pourcentage de population gênée

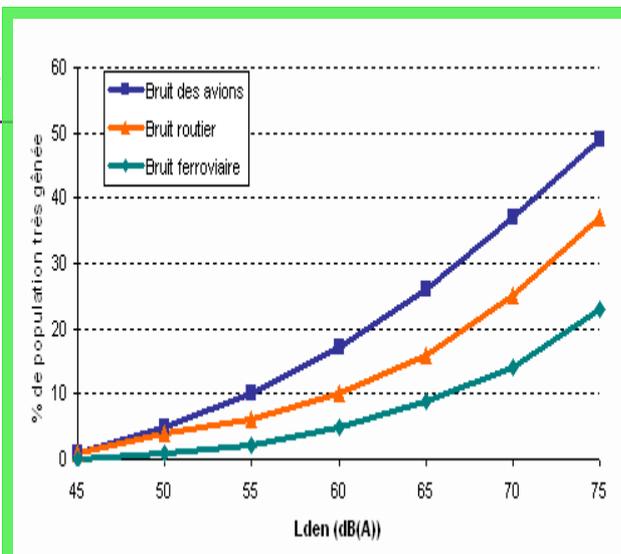


Illustration 4 : Courbes dose-réponse pour les sources route, fer, aérien (Miedema 2002)

Le bruit aérien apparaît à niveau Lden identique comme la source la plus gênante, devant le bruit routier et le bruit d'origine ferroviaire. Le bruit industriel n'apparaît pas dans les conclusions de ce travail.

La réglementation et la pratique française

Les textes de transposition de la directive s'inspirent des conclusions de ce groupe de travail européen. L'article 7 de l'arrêté du 4 avril 2006 fixe des valeurs limites pour les différentes sources de bruit.

VALEURS LIMITES, EN dB(A)				
Indicateurs de bruit	Aérodromes	Route et/ou ligne à grande vitesse	Voie ferrée conventionnelle	Activité industrielle
Lden	55	68	73	71
Ln		62	65	60

Illustration 5 : Valeurs limites pour les différentes sources de bruit pour les PPBE

Les circulaires du 12 juin 2001 et du 25 mai 2004 relatives aux observatoires du bruit [6] [7], fixent des valeurs seuils en LAeq(6-22h), LAeq(22-6h), Lden et Ln pour la définition des Points Noirs du Bruit, séparément pour les routes et les voies ferrées et globalement pour des multi-expositions route/fer.

Valeurs limites relatives aux contributions sonores dB(A) en façade			
(si une seule de ces valeurs est dépassée, le bâtiment peut être qualifié de point noir)			
Indicateurs de bruit	Route et/ou LGV (2)	Voie ferrée conventionnelle	Cumul Route et/ou LGV (2) \oplus Voie ferrée conventionnelle
L _{Aeq} (6h-22h) (1)	70	73 (4)	73 (5)
L _{Aeq} (22h-6h) (1)	65	68 (4)	68 (5)
L _{den} (3)	68	73	73 (5)
L _n ight (3)	62	65	65 (5)

Illustration 6 : Valeurs limites pour la résorption des points noirs routiers et ferroviaires

En cas de multi-exposition, ce texte considère le seuil le plus élevé comme le seuil à retenir. Ainsi un bâtiment exposé à 67dB(A) en L_{den} à une route et à 72dB(A) en L_{den} à une voie ferrée classique est éligible Point Noir Bruit du fait du cumul (67 \oplus 72 = 73,2).

Parallèlement, dans la réglementation française certaines sources possèdent leurs propres descripteurs qui trouvent leur place dans les études d'impact, d'où la difficulté d'avoir un descripteur unique pour représenter une évaluation globale:

- la route et les lignes ferroviaires à grande vitesse utilisent le L_{Aeq}(6-22h) et le L_{Aeq}(22-6h) [8] [9];
- les lignes ferroviaires classiques utilisent l'I_{f_jour} = L_{Aeq}(6-22h) – 3dB(A) et l'I_{f_nuit} = L_{Aeq}(22-6h) – 3dB(A) [9];
- les sources industrielles recourent aux émergences liées aux événements les plus bruyants [10];
- les sources aériennes se basent aujourd'hui sur le L_{den} et le L_n pour la cartographie du bruit [11] alors que l'EPNdB est le descripteur utilisé pour la certification acoustique des avions.

Des pistes pour la mise en œuvre de la directive européenne

La transposition française de la directive européenne impose une évaluation globale du bruit sur le territoire des agglomérations concernées. L'objectif de cette évaluation est de repérer les zones à fort enjeu, où des PPBE devront par exemple être établis.

Différentes méthodes existent ou peuvent être proposées pour cette évaluation globale, depuis une simple analyse commentée des différentes cartes produites séparément portant sur l'ensemble du territoire concerné, jusqu'à une

évaluation quantifiée de la multi-exposition, en passant par des représentations graphiques.

Ce chapitre vise à décrire succinctement des méthodes existantes et à proposer des pistes pratiques d'évaluation globale.

Des méthodes de calcul de la multi-exposition

L'absence de document de référence européen précisant les relations entre niveaux de bruit et population gênée traduit bien la difficulté d'aboutir aujourd'hui à un consensus sur le sujet. Or ces éléments de base restent indispensables pour bâtir une méthodologie de calcul de la multi-exposition.

Différentes méthodes peuvent cependant être envisagées avec chacune leurs limites et leurs domaines d'emploi. Les principes et les conclusions de différentes méthodes de prise en compte de la multi-exposition présentées lors du meeting organisé par l'OMS à Bonn en septembre 2002 [13] sont résumés ci-dessous.

Principe du cumul énergétique des niveaux des différentes sources de bruit

Cette méthode consiste à additionner (sommation des énergies) directement les niveaux acoustiques produits par les différentes sources, quelle que soit leur nature.

Par exemple pour les deux modes route+fer :

$$L_{den,eq}(route + fer) = 10 \log_{10} (10^{0,1L_{den,route}} + 10^{0,1L_{den,fer}})$$

D'un point de vue technique, cette carte est facile à réaliser avec les logiciels de simulation à disposition, mais il convient d'être très vigilant sur la pertinence d'une telle représentation.

En effet, dès le milieu des années 90, des travaux destinés à modéliser la gêne dans des situations de multi-exposition ont conclu au rejet d'un modèle de sommation des énergies acoustiques comme le fait un sonomètre, au profit de modèles de type « sommation-inhibition », dans lesquels la gêne due à une

source peut être inhibée par la présence d'une autre source ou de modèles basés sur la connaissance des processus psychologiques participant à la formation de la gêne plutôt que sur des constructions mathématiques.

Le manque de pertinence de ce principe simple, ne permet pas de le recommander pour la production de cartes de multi-exposition.

Principe de la source de bruit dominante

Cette méthode consiste à retenir comme niveau global, le niveau produit par la source conduisant à la gêne maximale.

Elle présente l'avantage d'intégrer la notion de gêne, mais sa principale limite est une totale insensibilité de l'indicateur aux variations des sources qui restent non-dominantes.

Principe de « gêne équivalente » produite par différentes sources de bruit

Cette méthode permet d'agrèger les niveaux d'exposition produits par des sources routières, ferroviaires ou aériennes en tenant compte des différentiels de perception. En utilisant un modèle « exposition-gêne » basé sur des résultats d'enquête (Illustration 4), il est possible de convertir les niveaux produits par chaque source en un niveau équivalent par rapport à une source de référence. Les niveaux équivalents obtenus peuvent ensuite être additionnés selon le principe du cumul énergétique présenté plus haut. La différence de perception de chaque source est alors bien prise en compte.

Présentation d'un exemple

A partir d'une relation linéaire entre niveau de gêne (A) et niveau d'exposition (Lden) on détermine, pour une source donnée, le niveau équivalent produisant la même gêne que la source de référence choisie. Les équations suivantes illustrent cette conversion pour un bruit ferroviaire, par rapport à une référence routière.

$$A_{\text{route}} = 2,22 L_{\text{den,route}} - 107$$

$$A_{\text{fer}} = 2,10 L_{\text{den,fer}} - 110,1$$

Puis, on obtient un niveau de bruit équivalent pour la source fer, qui produirait la même gêne qu'un bruit d'origine routière :

$$L_{\text{den,fer}}^{\text{eq}} = (A_{\text{fer}} + 107,0)/2,22 = (2,10 L_{\text{den,fer}} - 3,1)/2,22$$

Les coefficients sont issus des travaux de Miedema.

Pour deux sources fer et route, le niveau équivalent cumulé est au final:

$$L_{\text{den}}^{\text{eq}}_{\text{fer+route}} = 10 \log_{10} (10^{0,1L_{\text{den,route}}} + 10^{0,1L_{\text{den,fer}}^{\text{eq}}})$$

Dans cette méthode, le différentiel de gêne entre sources n'est pas constant, mais dépend du niveau d'exposition.

L'indice If, fixé par la réglementation française, dérive de ce principe, à la différence que le bonus ferroviaire est constant et indépendant du niveau d'exposition (5 dB(A) en Lden, 3 dB(A) en LAeq).

Compte tenu des limites des enquêtes sur lesquelles cette méthode est basée, il n'existe pas à ce jour de courbe dose-réponse pour les sources industrielles, ce qui limite son usage pour la mise en œuvre de la directive.

En conclusion, l'examen des différentes méthodes nous incite à proposer des solutions alternatives pratiques, couvrant l'ensemble des sources retenues par la directive. Ces méthodes finalement adaptées et construites, pour la détection des zones où les valeurs limites sont dépassées, trouveront tout leur sens au moment de l'élaboration des PPBE.

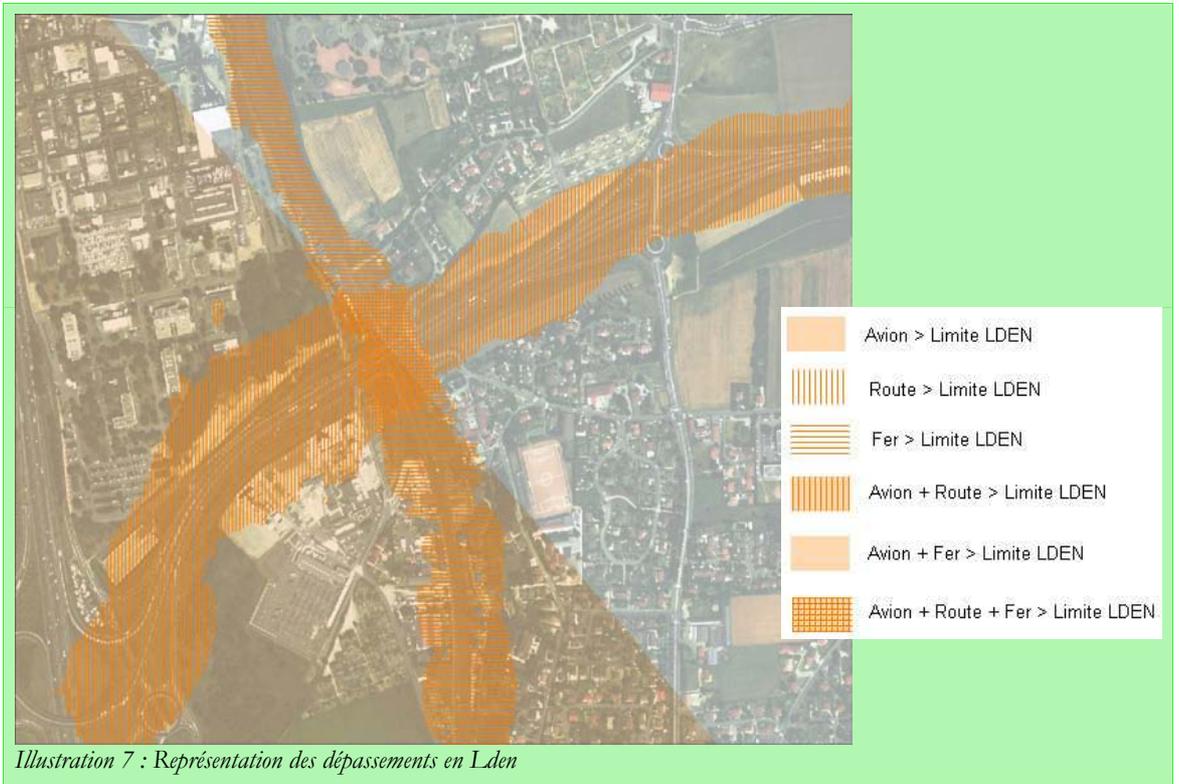
► Méthode proposée 1: zonage qualitatif des dépassements

Le principe de cette première méthode est de représenter les secteurs exposés au delà des valeurs limites, voire en cumul au delà de plusieurs valeurs limites, sans quantifier ces dépassements.

La technique proposée consiste en une juxtaposition de zones tramées et hachurées faisant apparaître pour chaque grande famille de sources routière, ferroviaire, aérienne et industrielle, les parties de territoire situées en dépassement des valeurs limites.

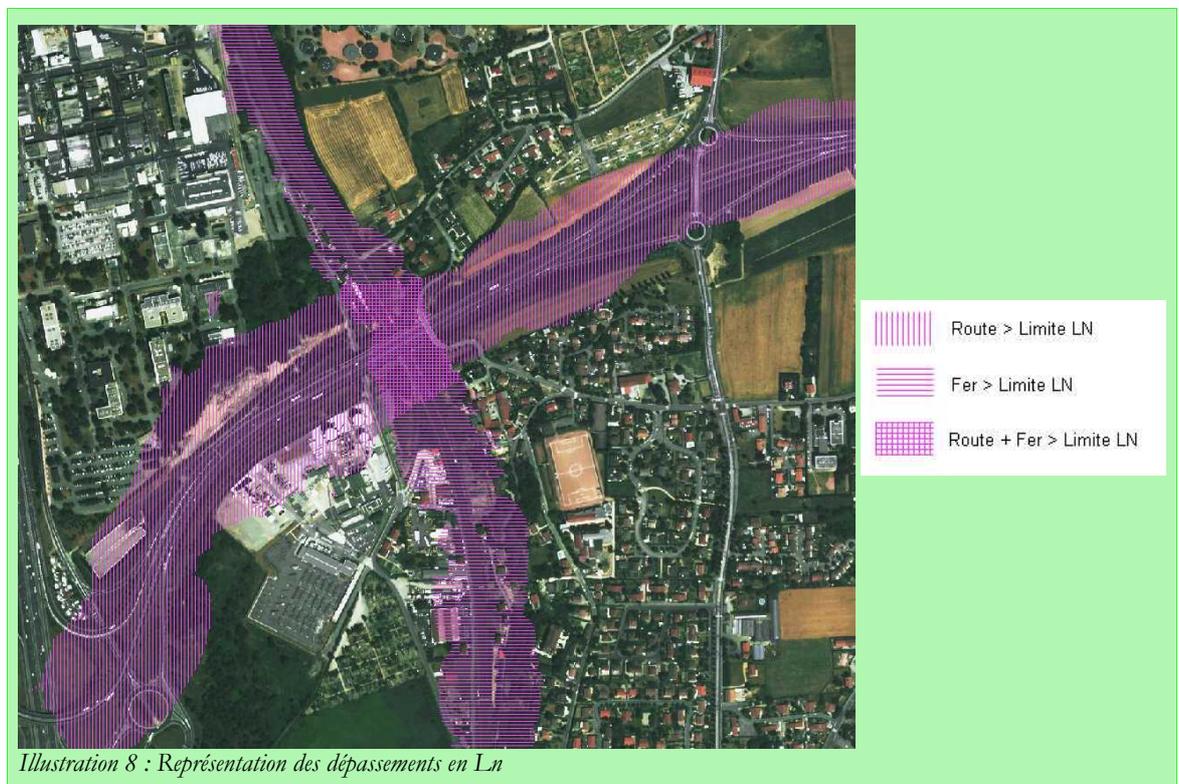
Le premier exemple est basé sur les couleurs utilisées pour matérialiser les dépassements de valeurs limites (orange pour le Lden et violet pour le Ln). Le choix d'une trame pour l'aérien se justifie du fait des vastes secteurs concernés. Par contre les hachures paraissent mieux adaptées au routier et au ferroviaire. Si des cas de dépassement pour l'industriel venaient à apparaître, une simple localisation de l'industrie pourrait suffire.





En cas d'utilisation de photos aériennes, il est nécessaire de rendre transparente cette dernière, de placer la trame en dessous et les hachures au dessus.

Il n'y a pas de valeur limite en Ln pour l'aérien ce qui évite d'utiliser une trame. Si on souhaite cependant l'intégrer à la représentation graphique, on pourra prendre comme limite, par exemple, l'isophone Ln50.



Le second exemple se base sur une représentation de type schématique basée sur une seule couleur.

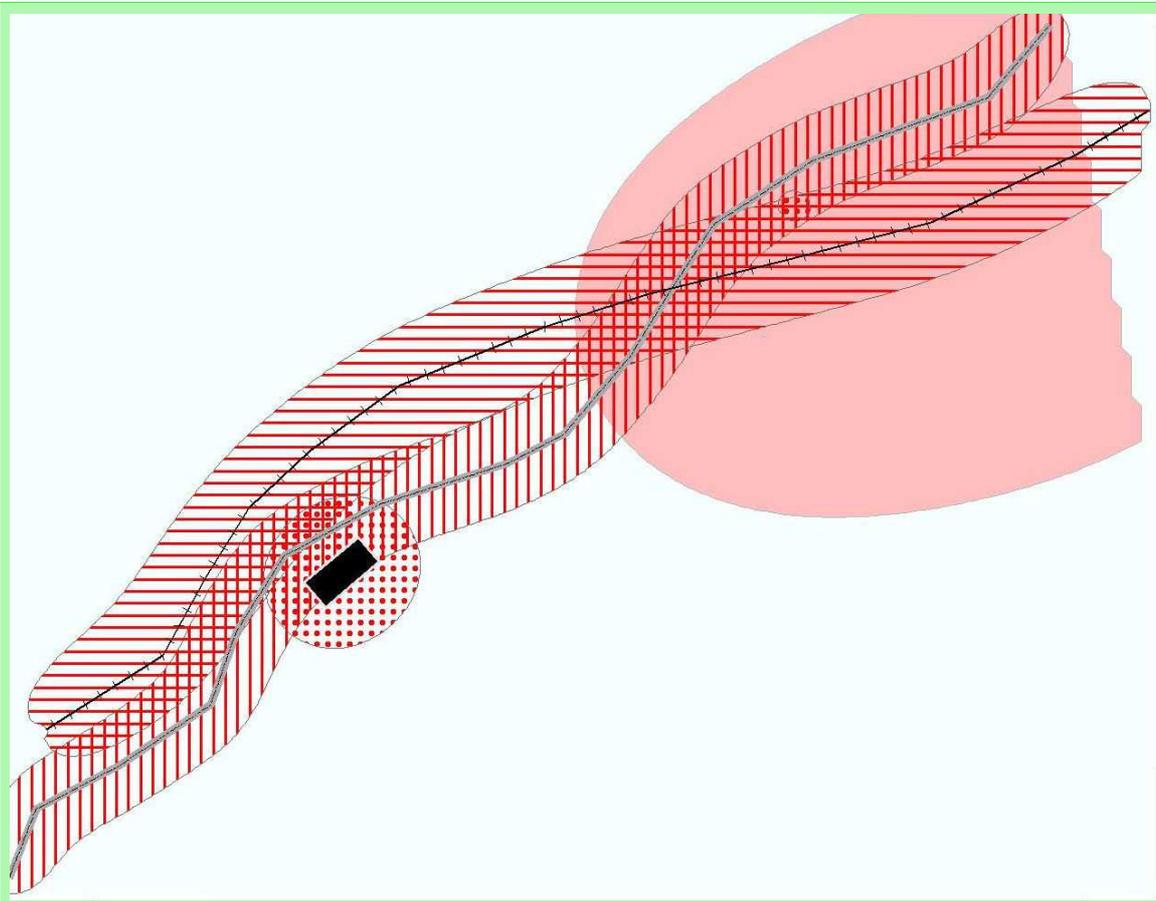


Illustration 9 : Représentation des dépassements en Lden avec une couleur unique

Cette approche, facile à mettre en œuvre est particulièrement adaptée et intéressante pour hiérarchiser le territoire et identifier les secteurs à traiter en priorité.

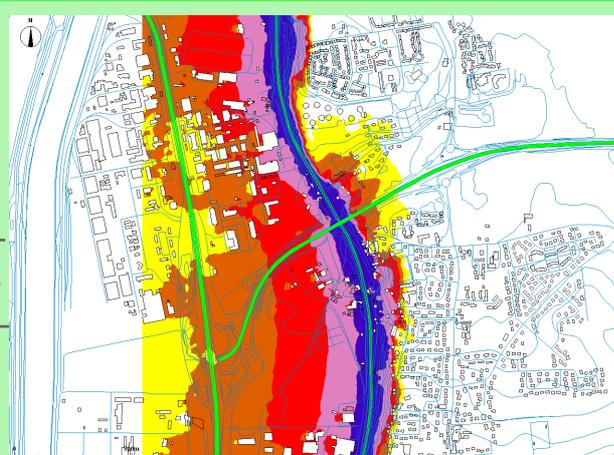
► **Méthode proposée 2 :**
sommation des différentiels
entre niveaux d'exposition
mono-source et valeurs limites
associées

Le principe de cette seconde méthode consiste à afficher non seulement les secteurs en dépassement ou en cumul de dépassements mais également à quantifier la valeur globale de ce dépassement.

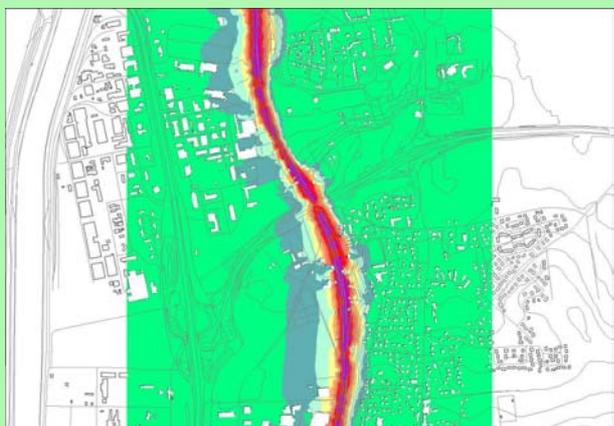
Elle consiste à effectuer une sommation énergétique des différentiels entre niveaux d'exposition mono-source et valeurs limites associées qui existent pour les quatre types de sources.

En partant du principe que les valeurs limites sont fondées sur les différentiels de perception entre sources, cette méthode s'inspire finalement de la méthode d'agrégation de Miedema, en considérant des bonus/malus constants.

On présente ci-après une première visualisation de ce principe réalisée sur un secteur de multi-exposition route/fer au sud de l'agglomération lyonnaise.



Carte d'isophones en Lden ferroviaire



Carte de variation des écarts entre niveaux d'exposition Lden et valeur limite fer 73 dB(A)

Illustration 10 : Variation quantifiée progressive des écarts entre niveaux d'exposition Lden et valeur limite – exemple ferroviaire



Cette première illustration fait apparaître les écarts selon une échelle progressive graduée de 1 en 1 dB(A).



Carte de dépassement des valeurs limites en Lden ferroviaire

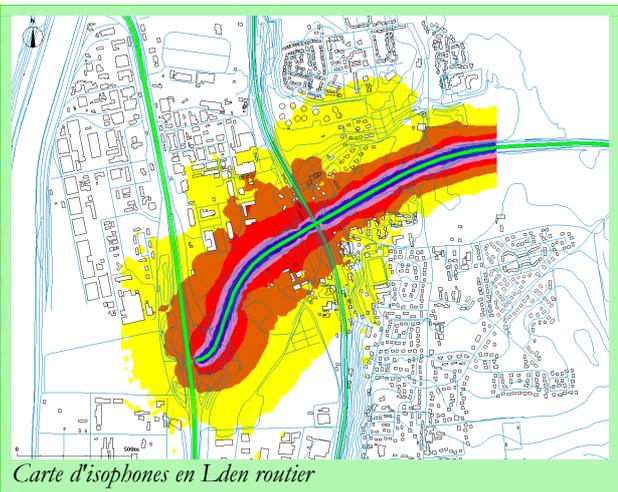


Carte de variation des écarts entre niveaux d'exposition Lden et valeur limite fer 73 dB(A)

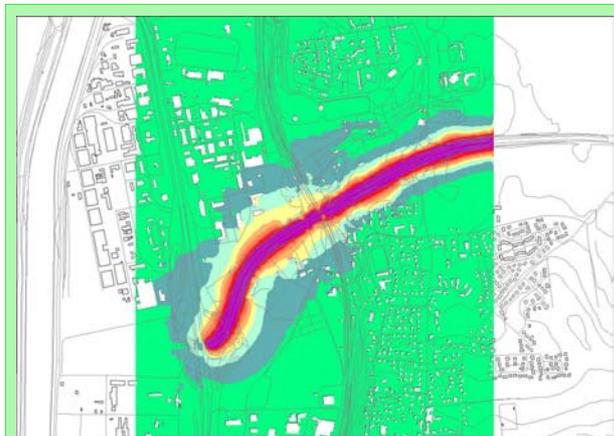
Illustration 11 : Variation quantifiée en 2 catégories des écarts entre niveaux d'exposition Lden et valeur limite ferroviaire

Cette seconde illustration représente les écarts en 2 grandes catégories, écarts positifs (secteurs en dépassement de la valeur limite) et écarts négatifs (secteurs exposés en deçà de la valeur limite).

A partir des cartes d'isophones et de dépassement des valeurs limites pour une source routière, on obtient des cartes similaires aux exemples précédents.

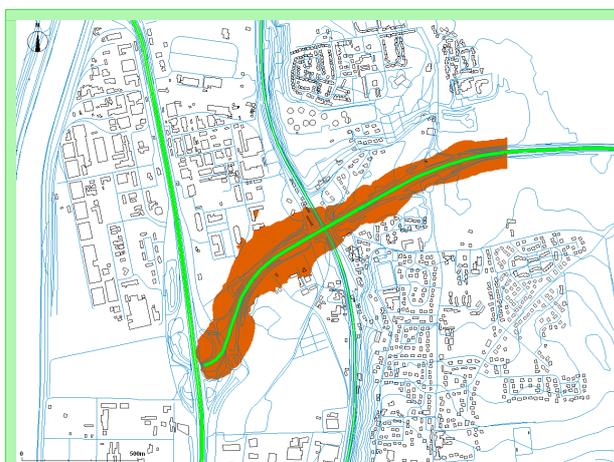


Carte d'isophones en Lden routier



Carte de variation des écarts entre niveaux d'exposition Lden et valeur limite route 68 dB(A)

Illustration 12 : Variation quantifiée progressive des écarts entre niveaux d'exposition Lden et valeur limite route 68 dB(A)



Carte de dépassement des valeurs limites en Lden routier



Carte de variation des écarts entre niveaux d'exposition Lden et valeur limite route 68 dB(A)

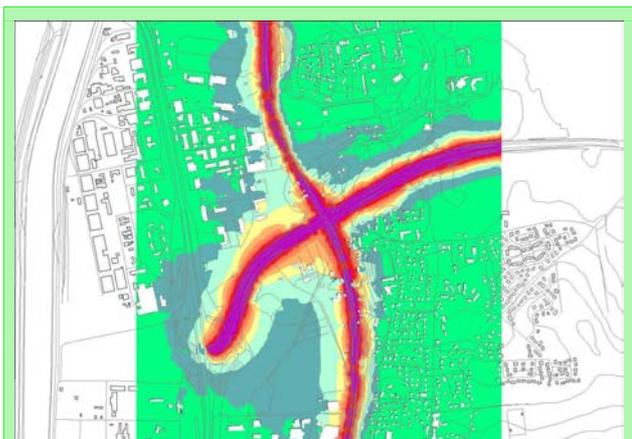
Illustration 13 : Variation quantifiée en 2 catégories des écarts entre niveaux d'exposition Lden et valeur limite routière

Les 2 cartes ci-dessus sont similaires à celles de l'illustration 11 mais pour une source routière. Le contour de la carte du bas est similaire à la carte du haut pour le type de source considérée, mais propose en plus une quantification de l'écart avec notamment une visualisation des secteurs exposés en deçà de la valeur limite.

Cette méthode de quantification permet d'aller plus loin en réalisant le cumul énergétique des

cartes de variation des écarts pour l'ensemble des types de sources.

On obtient les visualisations suivantes :



Cartes de cumul énergétique des écarts quantifiés progressifs



Carte de cumul énergétique des écarts quantifiés en 2 catégories

Illustration 14 : Cumul énergétique des variations des écarts pour l'ensemble des différents types de sources

Le principe est d'obtenir à partir des périmètres « mono-sources » une nouvelle représentation des écarts sur la base d'un périmètre « multi-source ».

Cette carte basée sur des valeurs limites différentes entre source routière et ferroviaire rend bien compte du différentiel de perception. On trouve également en rouge foncé, les zones qui prises individuellement ne dépassent aucune valeur limite, mais pour lesquelles le cumul énergétique des écarts nous fait basculer au delà d'une valeur limite globale théorique.

L'exemple précédent montre que cette méthode peut être utilisée au niveau de la carte, mais elle peut également, et c'est tout son intérêt pour les PPBE, être utilisée au niveau du bâtiment.

D'autres types de représentation peuvent être envisagés et notamment comme présenté ci-après, une représentation de type schématique réalisée sur un secteur fictif.

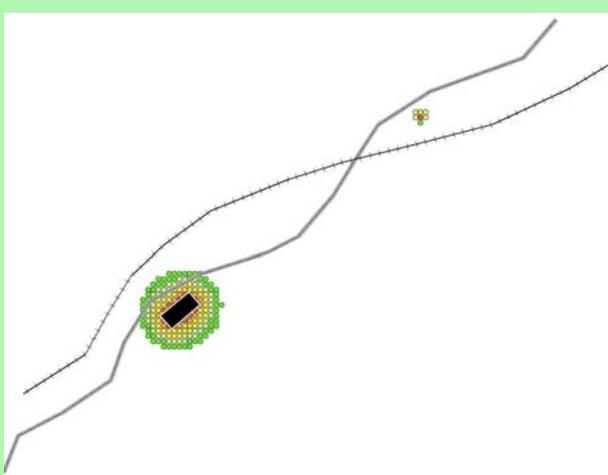
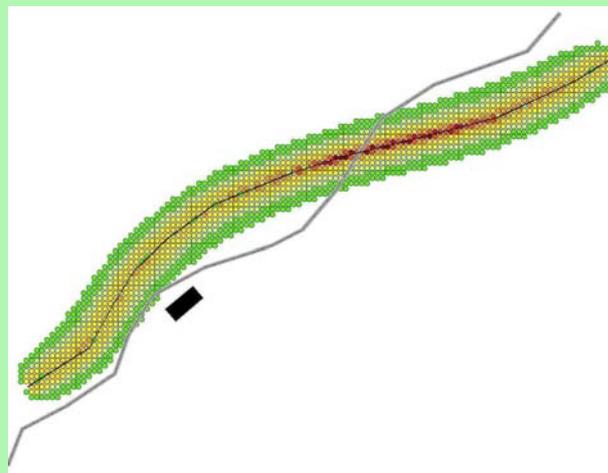
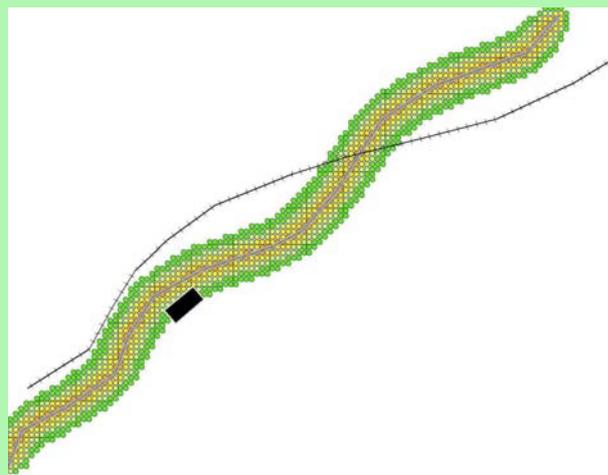
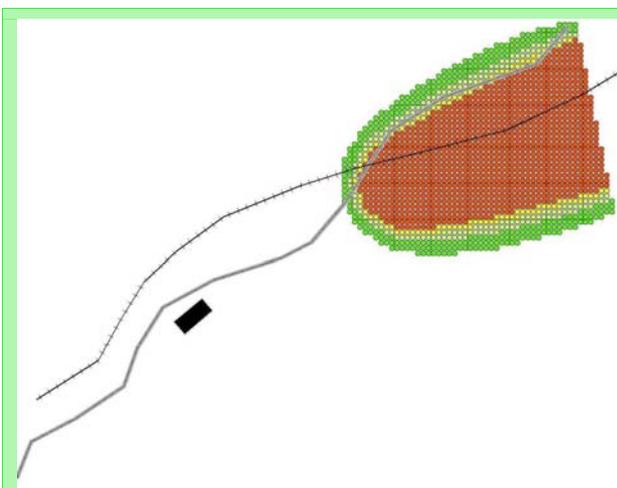
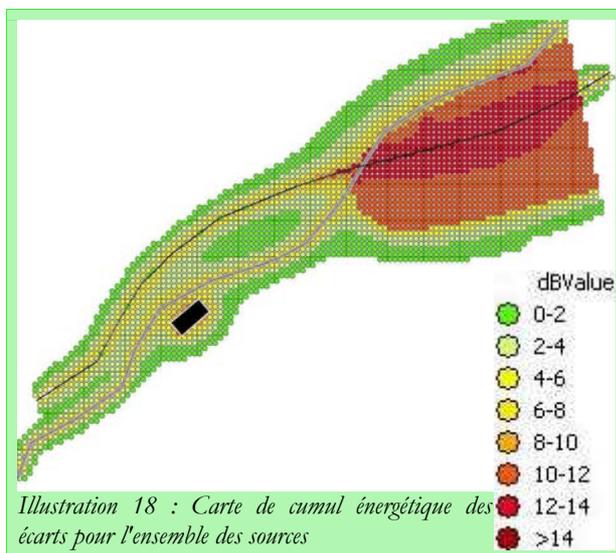


Illustration 15 : Carte de dépassement pour l'aérien, le routier, le ferroviaire et l'industriel



Si on effectue le cumul énergétique des écarts, on obtient la carte globale ci-contre.

On constate finalement que ces deux méthodes sont applicables aux zones où les valeurs limites sont dépassées ou potentiellement dépassées du fait d'un cumul. Ce sont justement les zones où les Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement sont requis. En revanche elles ne permettent pas d'identifier d'éventuelles zones de calme. Pour ces zones, une superposition des calques d'exposition mono-source peut constituer une première étape de détection.



POUR EN SAVOIR PLUS...

- [1] Guide méthodologique « Comment réaliser les cartes de bruit stratégiques en agglomération », Certu, décembre 2006, 20€
- [2] Directive 2002/49/CE du 25 juin 2002 pour l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement
- [3] Article L572-1 à L572-11 du code de l'Environnement
- [4] Article R572-1 à R572-11 du code de l'Environnement reprenant le Décret n°2006-361 du 24 mars 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement
- [5] Arrêté du 4 avril 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement
- [6] Circulaire du 12 juin 2001 relative aux observatoires du bruit des transports terrestres et à la résorption des points noirs du bruit des transports terrestres
- [7] Circulaire du 25 mai 2004 relative au bruit des infrastructures de transports terrestres
- [8] Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières
- [9] Arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires
- [10] Arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits des installations classées
- [11] Article R147-1 du Code de l'Urbanisme
- [12] Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, EU Commission WG2, 20 feb 2002
- [13] Relationships between exposure to single or multiple transportation noise sources and noise annoyance, Miedema sept 2002.

POUR DES QUESTIONS SUR...

- le contenu de la fiche : Cete de Lyon - B.Miège - 04 74 27 51 32 - bernard.miege@developpement-durable.gouv.fr ou X.Olny - 04 74 27 51 74 - xavier.olny@developpement-durable.gouv.fr
- les travaux du groupe de travail : Certu - N.Fürst - 04 72 74 59 08 - nathalie.furst@developpement-durable.gouv.fr

Certu

Centre d'Études
sur les réseaux,
les transports,
l'urbanisme et
les constructions
publiques

9, rue Juliette Récamier
69456 Lyon Cedex 06

Tél.: 04 72 74 58 00
Fax: 04 72 74 59 00
www.certu.fr

Rédaction : Ces fiches ont été élaborées par un groupe de travail piloté par N.Fürst (Certu) et réunissant B.Vincent (Acoucté), F.Mietlicki et D.Guérin (Bruitparif), J.Saurat (Certu), B.Miège et X.Olny (Cete de Lyon), J.Larivé (DPPR/Mission Bruit et Agents Physiques), C.Lamouroux-Kuhn (LRPC de Strasbourg) et E.Thibier (Ademe). Elles n'auraient pu voir le jour sans la matière fournie par plusieurs collectivités locales, que le groupe de travail tient particulièrement à remercier pour la mise à disposition de documents et de données.

Illustrations: Sources Cete Lyon et Bruitparif

© Certu 2008

La reproduction totale du document est libre de droit. En cas de reproduction partielle, l'accord préalable du Certu devra être demandé.