

COMPARACIÓN ENTRE EL MÉTODO DE CÁLCULO DE RUIDO DE TRÁFICO RODADO NMPB'96 Y SU POSTERIOR ACTUALIZACIÓN NMPB'08 EN UN CASO PRÁCTICO DE ESTUDIO

REF PACS.: 43.50.Rq

Gené Miralles, Anna; Valero González, Xavier.
GTM - Grup de Tecnologies Mèdia, La Salle – Universitat Ramon Llull.
Quatre Camins, 2, 08022.
Barcelona
España
+34 93 290 24 40
agenmir@gmail.com; xvalero@salle.url.edu.

ABSTRACT

This present work focuses on the study of two road traffic noise prediction methods. The French method NMPB'96 and its subsequent update NMPB'08. This work is a part of an actual case of a national road passing through a city.

In this context, noise levels have been calculated with both methods and they have been compared with field measurements made at the location of the study. The results indicate that field measurements are closer to the updated method than the previous one. Noise levels in the old method are slightly overestimated.

RESUMEN

La presente comunicación se centra en el estudio de dos métodos de cálculo de tráfico rodado: el método francés NMPB'96 y su posterior actualización NMPB'08. El trabajo se enmarca en un caso real de una carretera nacional a su paso por una población. En dicho contexto, se han calculado experimentalmente los niveles de ruido mediante ambos modelos, y se han comparado con mediciones de campo efectuadas en la ubicación de estudio. Los resultados indican que el modelo actualizado proporciona unos niveles de ruido más cercanos a las medidas de campo, mientras que con el método anterior los niveles de ruido se sobrestiman ligeramente.

INTRODUCCIÓN

El campo de la Acústica Medioambiental centra su estudio en la mejora de la calidad de vida y protección ciudadana respecto a las diferentes fuentes de ruido ambiental existentes en una ciudad. Debido al incremento de vehículos en las ciudades, hay ciertas zonas que están saturadas de ruido y es necesaria la creación de un mapa acústico de la zona con la finalidad de obtener una representación de los niveles de ruido a los que se ven sometidos los ciudadanos. Con el cumplimiento de los máximos niveles de ruido permitidos se pretende garantizar una buena calidad de vida de todos los ciudadanos.

Frecuentemente, dichos mapas acústicos se construyen en base a simulaciones por ordenador, con el fin de predecir el ruido existente sin necesidad de efectuar medidas de campo. Los programas de ordenador implementan métodos de cálculo de ruido para cada tipo de fuente de ruido ambiental. En concreto, para el tráfico rodado de carretera la Directiva Europea de Ruido Ambiental [1] recomienda el uso del método francés NMPB'96.

Recientemente, dicho método de cálculo ha recibido una actualización, la NMPB'08. Esta comunicación se centra en la aplicación de ambos métodos de cálculo de tráfico rodado en un caso concreto de estudio, y su posterior comparación respecto a los resultados de medidas de campo.

Debido a que el interés de este trabajo es analizar la diferencia entre los dos métodos, se han aplicado directamente las ecuaciones definidas en cada uno de ellos sin la utilización de ningún software de predicción de ruido, con el fin de poder controlar todas las variables de cada método y poder garantizar que se han seguido los mismos criterios y condiciones en ambos.

DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE TRÁFICO RODADO

Método NMPB'96

Este método hace referencia a la *Guide du Bruit 1980* [2] como modelo de emisión de tráfico rodado, el cual define el nivel de emisión de ruido E como el nivel sonoro equivalente en dBA producido por un vehículo/hora. Este valor de E depende del tipo de tráfico, tipo de pendiente de la carretera y velocidad del vehículo, y se calcula mediante la expresión:

$$E = E_0 + a \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) \quad (1)$$

donde $v_0 = 20\text{km/h}$, mientras que E_0 y a son valores tabulados según las condiciones de tráfico existentes [3]. La Figura 1 resume los valores de emisión resultantes de aplicar (1) para vehículos ligeros (E_{LV}) y vehículos pesados (E_{HV}) en diferentes condiciones de tráfico.

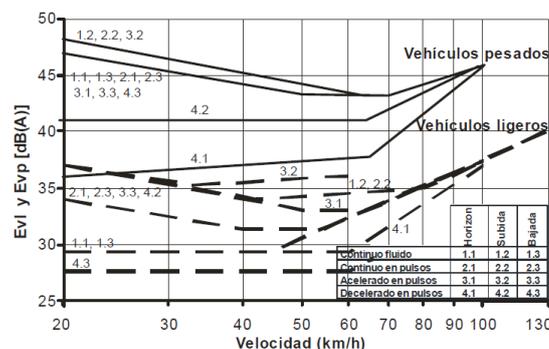


Figura 1. Valores de emisión de la *Guide du Bruit 1980* para vehículos ligeros y pesados en función de diversas condiciones de tráfico. [4]

El nivel de potencia acústica por metro de vía en dBAs se calcula como:

$$L_{Aw/m} = 10 \cdot \log (10^{0.1 \cdot (E_{LV} + 10 \log(Q_{LV}))} + 10^{0.1 \cdot (E_{HV} + 10 \log(Q_{HV}))}) + 20 \quad (2)$$

donde Q_{LV} y Q_{HV} son el número de vehículos ligeros y pesados por hora. Finalmente el cálculo del nivel de potencia acústica producido por una fuente compleja es:

$$L_{Awi} = L_{Aw/m} + 10 \cdot \log(l_i) + R + \psi \quad (3)$$

donde R es la corrección por banda de octava, en función del espectro normalizado del ruido de tráfico [2] l_i es la longitud del tramo de vía caracterizado por la fuente puntual i y Ψ es la corrección para el tipo de pavimento.

Una vez se ha definido la emisión de la carretera se requiere de un modelo de propagación [5]. A pesar de que las vías de tráfico rodado son fuentes de ruido lineales, el modelo las descompone en un conjunto de fuentes puntuales siguiendo alguno de los criterios propuestos: equiangular, de longitud constante o de longitud variable [3]. A continuación se buscan todos los caminos de propagación entre receptor y emisor, y para cada uno de ellos, se calculan las atenuaciones en condiciones favorables (A_F) y condiciones homogéneas (A_H). El valor del nivel de ruido a largo plazo $L_{i,LT}$ para cada fuente puntual i , será una media ponderada según el tiempo total en que se producirán condiciones favorables (p) u homogéneas ($1-p$).

$$L_{i,LT} = 10 \cdot \log (p_i \cdot 10^{0.1L_{i,F}} + (1 - p_i) \cdot 10^{0.1L_{i,H}}) \quad (4)$$

$$L_F = L_{Aw} - A_F \quad \text{donde } A_F = A_{div} + A_{atm} + A_{gnd,F} + A_{dif,F}$$

$$L_H = L_{Aw} - A_H \quad \text{donde } A_H = A_{div} + A_{atm} + A_{gnd,H} + A_{dif,H}$$

donde: A_{div} es la atenuación por divergencia.

A_{atm} es la atenuación por absorción atmosférica.

A_{gnd} es la atenuación por absorción del suelo.

A_{dif} es la atenuación por difracción.

Método NMPB'08

El método actualizado NMPB'08 toma como referencia una versión renovada del modelo de emisión, la *Guide du Bruit 2008* [6]. En este caso, las emisiones se expresan a partir de dos términos independientes: la contribución de la unidad de potencia o motor del vehículo y la contribución del ruido de rodadura. La componente motor ($L_{mw/m}$) depende de la velocidad, la aceleración y el pendiente de la carretera. Para vehículos ligeros (LV) su contribución se calcula como:

$$L_{mw/m,LV}(v) = L_{LV}(90) + b \cdot \log\left(\frac{v}{90}\right) \quad (5)$$

donde $L_{p,LV}(90)$ y b son diferentes según velocidad constante, acelerada o desacelerada [6]. Mientras que para vehículos pesados (HV) se obtiene mediante la ecuación (6), siendo los valores $L_{p,HV}(80)$ y b tabulados y recogidos en la misma guía.

$$L_{mw/m,HV}(v) = L_{HV}(80) + b \cdot \log\left(\frac{v}{80}\right) \quad (6)$$

La componente de rodadura ($L_{r,w/m}$) depende de la velocidad del vehículo y del tipo de superficie de la carretera. Las superficies se clasifican en 3 tipos (R1, R2, R3) según las características del asfalto. La Tabla 1 muestra las ecuaciones para el cálculo del nivel sonoro debido a la componente de rodadura en función de la velocidad del vehículo.

| Tipo de superficie | $L_{r,LV}$ | $L_{r,HV}$ |
|--------------------|--------------------------------|------------------------------|
| R1 | $53,4 + 21 \cdot \log(v/90)$ | $61,5 + 20 \cdot \log(v/80)$ |
| R2 | $55,4 + 20,1 \cdot \log(v/90)$ | $63,3 + 20 \cdot \log(v/80)$ |
| R3 | $55,7 + 21,4 \cdot \log(v/90)$ | $64,1 + 20 \cdot \log(v/80)$ |

Tabla 1. Nivel de emisión debido a la componente de rodadura para vehículos ligeros y pesados

Obtenemos el nivel de emisión por unidad de vehículo calculando la suma energética de ambas contribuciones, tal y como describe la ecuación (7).

$$L_{w/m} = L_{m w/m} \oplus L_{r w/m} = 10 \cdot \log(10^{0,1L_{m w/m}} + 10^{0,1L_{r w/m}}) \quad (7)$$

Finalmente, el nivel de potencia sonora ponderado A debido a un flujo de tráfico para cada fuente puntual i (LA_{wi}) se calcula con la siguiente expresión:

$$LA_{wi} = [L_{w/m LV} + 10 \log(Q_{LV})] \oplus (L_{w/m HV} + 10 \log(Q_{HV})) + 10 \log(l_i) + R(j) \quad (8)$$

donde $R(j)$ es el valor del espectro en tercios de octava del ruido de tráfico estandarizado a 0dB y ponderado A [6].

El modelo de propagación NMPB'08 [7] guarda una gran similitud con su predecesor NMPB'96, recayendo las principales diferencias en algunos aspectos concretos de cálculo. El detalle del análisis frecuencial del ruido calculado aumenta, ya que tanto la emisión como la propagación del NMPB'08 son calculados con bandas de tercio de octava, a diferencia de su predecesor, que usaba bandas de octava. Otra diferencia radica en la altura de las fuentes puntuales en que se descompone la carretera: pasan de estar definidas a una altura de 0.5 m a ser situadas a ras de suelo (0.05 m). Finalmente, existen diferencias a la hora de calcular la atenuación por difracción (cuyo cálculo es reformulado para tener en cuenta barreras de poca altura) así como en el tratamiento de la refracción y la absorción del suelo.

CASO DE ESTUDIO

Ubicación

Los métodos de predicción de tráfico rodado se han evaluado para las carreteras N-II y C31-D en su paso por Mataró, localidad de la provincia de Barcelona. Ambas vías se caracterizan por su elevado flujo de tráfico.

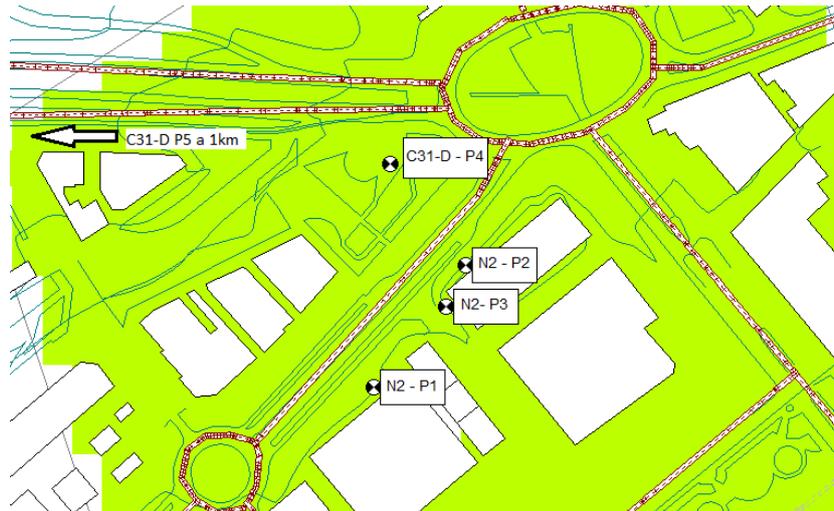


Figura 2. Situación de los puntos de cálculo y de medidas de campo.

El tramo de la N-2 estudiado tiene una longitud de 230 metros, mientras que para la C31-D se consideró un tramo de 300 metros. Los puntos concretos elegidos como receptores para los cálculos y para las medidas de campo se muestran en la Figura 2. Con el fin de facilitar la aplicación del método, estos puntos se han escogido de forma que hubiera un campo de visión directo entre la carretera y el receptor.

Medidas De Campo

Se ha llevado a cabo una campaña de medidas para poder comparar los resultados obtenidos mediante los métodos de cálculo con los valores de inmisión medidos en los receptores. Se tomaron medidas en dos días diferenciados, siguiendo en cada caso la pauta de la norma UNE-EN ISO 1996 [8].

- El día 14 de junio a las 17:00h. La temperatura medida era de 25°C con una humedad relativa del 60% y una velocidad del viento inferior a 5m/s. Sonómetro utilizado: Cesva SC-310.
- El día 5 de julio a las 18:00h. La temperatura medida era de 26°C con una humedad relativa del 64% y una velocidad del viento inferior a 5m/s. Sonómetro utilizado: Bruel&Kjaer 2250.

Los niveles de ruido promedios obtenidos en cada punto fueron:

| Nivel medido (dBA) | N-2 | | | C31-D |
|--------------------|------|------|------|-------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 |
| | 60,4 | 63,1 | 59,6 | 56,3 |

Tabla 2. Niveles de ruido medidos en los puntos de estudio.

Modelización Mediante Métodos De Cálculo

Para la aplicación de los métodos de cálculo descritos en la sección anterior, se procedió a la recogida de los datos de entrada de los modelos según las condiciones ambientales y de tráfico encontradas en los periodos en que se efectuaron las mediciones de campo. Todos los datos vienen recogidos en la Tabla 3. Cabe mencionar que los contajes de vehículos se realizaron de forma manual, mediante muestreos de 10 minutos de duración, extrapolarlo los conteos obtenidos a los pertinentes valores horarios (Q).

En relación a la modelización de los tramos de carretera estudiados, se efectuó una descomposición de los mismos en fuentes puntuales equiespaciadas (de longitud constante). El número de fuentes puntuales por tramo de carretera ha sido escogido siguiendo el criterio de que la distancia entre fuentes puntuales fuese inferior a la mitad de la distancia ortogonal entre la carretera y el receptor [3].

La altura de las fuentes viene dada por cada método (0.5m para la NMPB'96 y 0.05 m para la NMPB'08), mientras que el receptor se sitúa a una altura de 1.2 m, con la finalidad de comparar los resultados con las medidas de campo efectuadas. Se ha calculado el camino de propagación de cada fuente puntual hasta el receptor considerado, efectuándose el cálculo para todos los receptores de la Figura 2.

En referencia a los factores climatológicos, se escogió una ponderación $p=0,5$ de condiciones favorables a la propagación durante el periodo diurno, siguiendo la recomendación en [5]. No se ha considerado la atenuación por difracción (despreciable al no haber obstáculos significativos en el camino de propagación) y para el cálculo de la atenuación por efecto del suelo, se ha considerado un valor de $G=0$, debido a la prácticamente nula absorción del suelo comprendido entre la carretera y el receptor.

| PARÁMETROS | N-2 | | | C31-D | | |
|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | P1 | P2 | P3 | P4a | P4b | P5 |
| Contaje vehículos ligeros/ h | 1690 | 1675 | 1700 | 230 | 255 | 708 |
| Contaje vehículos pesados/ h | 36 | 40 | 43 | 7 | 7 | 38 |
| Flujo de tráfico | Pulsado continuo | Pulsado continuo | Pulsado continuo | Acelerado | Decelerado | Pulsado continuo |
| Velocidad media (km/h) | 40 | 40 | 40 | 50 | 70 | 100 |
| Pendiente (%) | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| Superficie vía según NMPB 96/08 | Asfalto liso /R3 | Asfalto liso/R3 |

Tabla 3. Parámetros considerados en la modelización de las carreteras N-2 y C31-D.

Se debe especificar que para el cálculo del nivel de ruido en el punto P4, se ha dividido la modelización del tráfico de la C31-D en dos carriles, debido a que este tramo conduce a una rotonda, definiéndose un carril con tráfico acelerado y el otro decelerado. El resultado final se ha computado como la suma energética de las contribuciones de cada carril. En este mismo punto P4 no se tomó en cuenta la N-2, ya que, a pesar de su cercanía, la orografía del terreno impedía que su contribución fuese significativa (durante las medidas de campo no se percibió ruido proveniente de dicha carretera).

RESULTADOS

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos mediante los dos métodos de predicción junto con el resultado de las mediciones de campo efectuadas. Puede observarse que en los puntos P1 y P2 los resultados predichos por el método NMPB'96 son más elevados que los obtenidos con NMPB'08. El valor de las medidas de campo se encuentra entre los valores de los dos métodos y más próximo a la guía nueva. En cambio en los puntos P4 y P5 los resultados son muy parecidos y en el caso del P4 concuerda perfectamente con la medida.

En general, el método NMPB'08 y medida coinciden excepto en el P3. La razón podría venir dada por la metodología de modelización escogida: los rayos entre carretera y receptor sin visión directa no fueron considerados en el cálculo. No obstante, dichos rayos también tienen una contribución al nivel de inmisión en el receptor P3, por efecto de difracción con el edificio colindante a P3. Dicho efecto podría ser causa de una subestimación en los niveles predichos por ambos métodos de cálculo.

| Método | N-2 | | | C31-D | |
|---------|------|------|------|-------|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 |
| NMPB'96 | 63 | 65.2 | 60.7 | 56.6 | 64.8 |
| NMPB'08 | 60,4 | 62.3 | 57.9 | 56.4 | 64.7 |
| Medida | 60,4 | 63,1 | 59.4 | 56.3 | - |

Tabla 4. Comparativa de valores de inmisión en dBAs en el receptor en los puntos de la figura 2 para la carretera N-2 y C31-D.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos parecen indicar que aquellos casos en que la velocidad del tráfico es inferior (P1, P2 y P3), el método NMPB'08 estima unos valores de ruido más cercanos a las medidas, mientras que la NMPB'96 los sobreestima ligeramente. En cambio, dicho efecto no se observa en los casos en que la velocidad es superior (P4 y P5), casos en que ambos métodos obtienen niveles sonoros muy parecidos.

Con la finalidad de corroborar dicha hipótesis, se han realizado cálculos de nivel de inmisión sobre el punto P1, tomando la carretera N-2 como referencia y cambiando su velocidad media, sin modificar ninguna otra condición del tráfico. Tanto para el caso de los vehículos ligeros como para los pesados, se puede observar cómo, efectivamente, los niveles de inmisión predichos por la NMPB'96 son superiores a aquellos computados con la NMPB'08 para velocidades bajas. A partir de los 50-60 km /h, la diferencia entre métodos se reduce (ver Figura 3).

Estas diferencias entre métodos son atribuibles al modelo de emisión usado. Las medidas de emisión de la Guide du Bruit'80 de la NMPB'96 fueron tomadas en los años 70, cuando los motores de los vehículos eran mucho más ruidosos que hoy en día. Parece coherente pues, que el método NMPB'96 sobreestime los niveles de ruido a velocidades bajas, donde predomina el ruido motor del vehículo. En cambio, a velocidades elevadas, donde predomina el ruido de rodadura, los niveles de ruido calculados por ambos métodos se igualan. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este trabajo son coherentes con la actualización del modelo de emisión [9].

Como ya hemos comentado, los dos métodos de cálculo difieren en diferentes aspectos (modelo de emisión, tratamiento de la difracción, absorción del suelo, refracción, etc.). No obstante, para el caso específico de estudio (con visión directa entre carretera y receptor), el

efecto de éstas últimas es pequeño, por lo que se puede pensar que el modelo de emisión es el principal responsable de las diferencias entre métodos. Para corroborar este hecho, se han tomado aquellos puntos donde la diferencia de niveles de inmisión calculados por ambos métodos era significativa (P1, P2 y P3) y se han analizado las diferencias en términos de nivel de emisión para cada uno de los puntos. En promedio, las diferencias entre niveles de emisión predichos por ambos métodos es de 3 dBA, muy cercano a la diferencia promedio en términos de nivel de inmisión (2.7 dBA), confirmando así la hipótesis inicial.

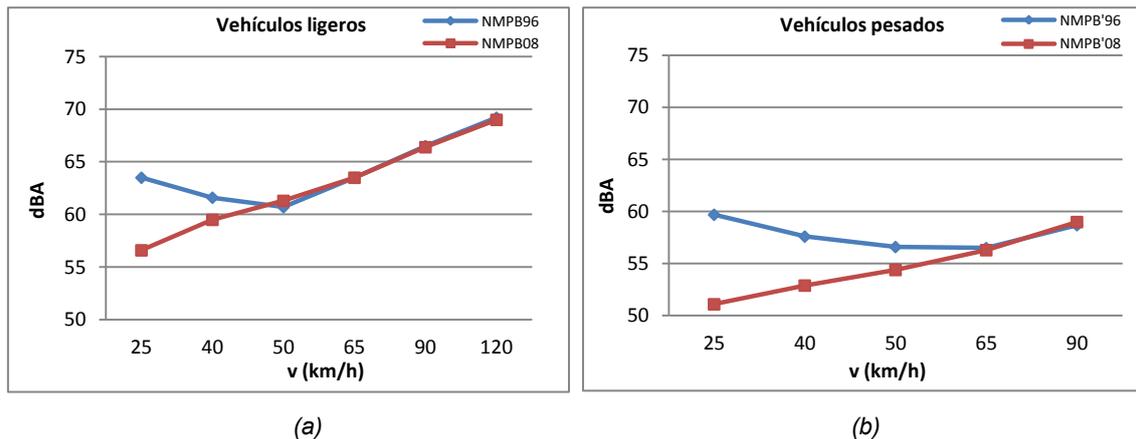


Figura 3. Nivel de inmisión en el punto 1 variando la velocidad de los vehículos (a) ligeros y (b) pesados.

CONCLUSIONES

En esta comunicación se han comparado experimentalmente dos métodos de predicción de tráfico rodado: el método NMPB'96 y su actualización NMPB'08. Para ello se han estudiado dos carreteras (C31-D y N-2) en su paso por una localidad de la provincia de Barcelona. Se ha llevado a cabo también una campaña de medidas y se han comparado con los resultados calculados por los métodos.

Los resultados extraídos muestran una clara concordancia entre el método NMPB'08 y las medidas de campo. También se ha observado que el método NMPB'96 a velocidades bajas sobrestima los valores de inmisión, ya que como se ha explicado el ruido motor de los vehículos en esta guía está basado en medidas obsoletas. Por lo tanto, el método NMPB'08 es el que mejor predice el nivel de tráfico existente en una ciudad. A velocidades altas los dos métodos se igualan y ambos métodos proporcionan un resultado fiable.

Una futura línea a seguir como continuación de este estudio es la extensión de la comparativa entre los dos métodos en zonas de visión indirecta entre vía y receptor, caso en que debería tomarse en cuenta la contribución de las ondas reflejadas y la difracción en obstáculos.

AGRADECIMIENTOS

Este presente estudio se enmarca dentro del trabajo de Máster de Acústica Arquitectónica y Medioambiental de La Salle (Barcelona). Agradecer a los profesores Josep Martí y Jeroen Paymans por la información y experiencia aportadas, así como a la compañera Laura Rodríguez por su participación en el trabajo. Finalmente, agradecer a la Sociedad Española de Acústica (SEA) la bolsa de viaje proporcionada para la presentación de esta comunicación.

REFERENCIAS

- [1] EU Directive: Directive 2002/49/EC of the European parliament and the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. Official Journal of the European Communities, L 189/12, July 2002.
- [2] Guide du Bruit des Transports Terrestres. Prevision des niveaux sonores. Paris, CETUR; 1980.
- [3] European Comission, DG Environment "Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping" March 2003.
- [4] Joaquín Fernandez Francos, "Ruido en los medios de transporte", Universidad de Extremadura, 2008.
- [5] NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB).
- [6] "Road noise prediction. 1-Calculating sound emissions from road traffic". Paris, SETRA; 2009.
- [7] "Road noise prediction. 2-Noise propagation computation method including meteorological effects (NMPB 2008)". Paris, SETRA; 2009.
- [8] ISO 1996 Acoustics - Description, assessment and measurement of environmental noise.
- [9] Jean-François Hamet, Francis Besnard, Sonia Doisy, Joel Lelong, Emmanuel le Duc. "New vehicle noise emission for French traffic noise prediction. 2008".