

## 6.4. Los aglomerados drenantes a la calzada enteramente porosa para luchar contra las molestias sonoras en medio urbano

Alain Sainton  
Director técnico del Grupo TRACSA-BEUGNET

### Preámbulo

La presente comunicación trata de un aglomerado drenante a base de ligante betún caucho (DRAINOCHAPE) estudiado y concebido por el Grupo BEUGNET en Francia que tras 7 años de experiencia (y más de 3.000.000 m<sup>2</sup>) ha demostrado su éxito tanto en el plano mecánico (estabilidad bajo tráfico pesado como bajo en ángulo de la reducción del ruido de rodamiento –este es el punto particular que será evocado aquí– hablaremos también de un nuevo concepto de firme que por su espesor y porosidad se comporta como un punto medio fuertemente absorbente acústicamente y parece ser la solución óptima para resolver el difícil problema de la “polución sonora” en medio urbano.

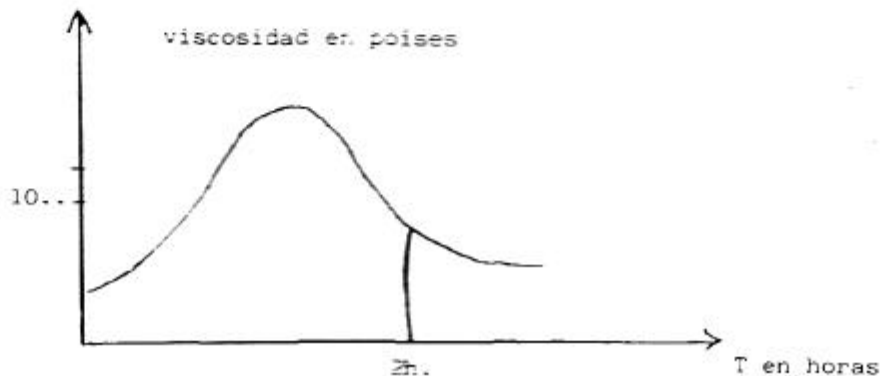
### 1. Resultados de las medidas de ruido de rodamiento efectuadas sobre los aglomerados drenantes drainochape

#### 1.1. Descripción del ligante betún-caucho Flexochape

Los ligantes FLEXOCHAPE están obtenidos por mezcla a alta temperatura (200 °C) de partículas de caucho (10 a 20 % en peso) con el betún, en presencia de un agente compatibilizante (2 a 10 % de fracción compatibilizante): el betún de base es frecuentemente un betún de clase 80/100 cuya procedencia ha sido cuidadosamente seleccionada. El agente es una fracción de petróleo pesado de carácter muy aromático, particularmente adaptada a la extensión y a la puesta en obra de elastómeros, no saturados como el polibutadieno y el poliisopreno, principales componentes de las partículas que entran en la elaboración del ligante FLEXOCHAPE.

Las partículas de caucho proceden de la trituración de los neumáticos usados o de desechos de recauchutado. Está principalmente constituida por una parte (optimizada en laboratorio) de caucho natural y de caucho sintético; siendo la otra unas cargas estabilizantes y anti-oxidantes: su granulometría entra en un huso de especificaciones elaborado a partir de estudios de laboratorio.

La mezcla en caliente va acompañada de una elevación importante de viscosidad (fase de hinchamiento de las partículas de caucho), seguido de una caída que se retarda progresivamente (fase de desvulcanización). Al cabo de una hora y media, la viscosidad dinámica se estabiliza alrededor de 10 poises y el ligante está entonces listo para emplear.



#### *Principales características físicas del ligante*

- Penetración a 25 °C en 1/10 mm . . . . . 50 a 80
- Punto de reblandecimiento bola y anillo . . . . . 60 °C
- Índice de penetrabilidad (LCPC) . . . . . +1,5 a +5
- Densidad a 18 °C . . . . . 1,03

### **1.2. ¿Por qué aglomerados drenantes con betún caucho?**

Los betunes ordinarios no tienen ni cohesión ni flexibilidad suficientes para permitir constituir aglomerados drenantes bajo tráfico pesado. La dosificación en betún debe estar limitada a 4,5-5 % so pena de tener aglomerados fluidos. Con tales dosificaciones la adhesión de los granos se realiza, pero la resistencia a la fatiga es débil y la durabilidad limitada. A notar, por otra parte, que la película delgada de betún, sometida a la acción del aire, envejece rápidamente.

Los betunes modificados por elastómeros termoplásticos aportan, a corto plazo, mejoras notables en las propiedades reológicas del betún; pero éstas no son estables con el tiempo y el envejecimiento de estos productos donde el mecanismo de oxidación prepondera, vuelve, a medio plazo, el ligante frágil a baja temperatura.

Los betunes-caucho FLEXOCHAPE conllevan:

- Una cohesión muy elevada.
- Una gran flexibilidad a baja temperatura.
- Una fuerte resistencia a las temperaturas de bola y anillo que va de 60 a 75 °C.
- Una resistencia al envejecimiento notablemente ligada a la ausencia de fluidificantes y a la presencia de elementos antioxidantes en las partículas.

Además, habida cuenta de la fuerte viscosidad del ligante, es posible adoptar *dosificaciones elevadas*, muy favorables por:

- La solidez entre áridos.
- La resistencia en fatiga.
- La resistencia al envejecimiento (película gruesa).

### **1.3. Formulación de los aglomerados drenantes DRAINOCHEAPE y resultados de laboratorio**

Los estudios nos han conducido a las siguientes conclusiones:

- Una granulometría 0/10.
- Un porcentaje de vacíos 20 % (densidad del orden de 2 T/m<sup>3</sup>).
- Un contenido de ligante comprendido entre 6,5 y 7% según las solicitudes previstas (espesor, estado estructural del soporte, tráfico, clima).

A título de ejemplo, indicamos, para un aglomerado drenante a aplicar en 4 cm sobre un soporte de débil deflexión y bajo tráfico pesado.

Formulación:	
6/10 pórfido	88 %
0/2 pórfido	11 %
Fino de aportación	2 %
Ligante betún caucho	6,8 %
Porcentaje de vacíos	20 %
Densidad	2,02

## 2. Experiencia en ciudad de Lille en el norte de Francia en 1985

### 2.1. Objeto de las medidas

El objeto de las medidas efectuadas era obtener una comparación entre los niveles sonoros producidos en medio urbano por el contacto neumático-firme antes y después de la puesta en obra del aglomerado drenante en la obra experimental del C.D. 48 en MARCQ-EN-BAROEUL.

### 2.2. Descripción del sitio

El C.D. 48 está situado en la comunidad de MARCQ-en-BAROEUL en medio urbano está constituido por una calzada de dos vías separadas por una mediana sembrada de césped.

Las medidas de ruido han sido realizadas en dos tramos cuyas características iniciales eran las siguientes:

*Tramo 1:* calzada de hormigón liso presentando losas rotas.

*Tramo 2:* capa de rodadura en hormigón bituminoso clásico y aglomerado drenante DRAINOCHEAPE.

### 2.3. Desarrollo de los ensayos

#### *Método empleado*

El método empleado es el definido por la red de los laboratorios de "Ponts et Chaussées" el título: "Método de medida del ruido de rodamientos de un vehículo ligero para la comparación entre capas de rodadura".

#### *Descripción*

El ensayo caracteriza una pareja neumático-revestimiento por la medida del nivel de presión sonora máximo, expresado en decibelios ponderados (A), producido por un vehículo pasante, con las ruedas libres y motor parado, sobre el revestimiento probado. El micrófono de medida está situado a 7,5 m del eje de trayectoria del vehículo y a 1,20 m por debajo del nivel de la carretera.

#### *Vehículo de ensayo*

Las dos series de ensayos se han realizado con un vehículo R5 equipado

con neumáticos de cubierta radial XZX con las presiones de inflado siguientes:

delante: 1,7 bars  
atrás: 1,9 bars

#### *Velocidad de ensayo*

La velocidad de ensayo registrada es 80 km/h.

La medida de la velocidad instantánea del vehículo se hace con un cinemómetro homologado desde que el vehículo se encuentra a la altura del micrófono.

Todo ensayo para el que la velocidad instantánea no está comprendida en el intervalo 78 a 82 km/h está anulado.

#### *Material acústico utilizado*

El ruido, para cada paso del vehículo, se registra en un magnetófono NAGRA IV S J regulado sobre la constante de tiempo rápido. La selección se realiza en laboratorio sobre un grabador gráfico de nivel de marca BRUEL y KLAER tipo 2305.

Este es el valor máximo ponderado A que se registra.

#### *Observaciones*

Para los dos tramos el micrófono ha sido implantado en la mediana, haciéndose el paso del vehículo por la vía de la izquierda, siendo la derecha ocupada por vehículos en estacionamiento.

Para el tramo 1 en fase inicial el micrófono se ha dispuesto entre dos fisuraciones de la calzada de hormigón (condiciones medias de emisión de ruido).

Se notará que el ruido engendrado por el tableteo de las juntas es, por su carácter impulsivo, más molesto para los vecinos que el ruido de rodamiento propiamente dicho.

## **2.4. Resultados de las medidas**

### *Presentación*

Los resultados obtenidos están presentados en cuatro fichas comportando:

- la localización del perfil de la medida
- la naturaleza del revestimiento
- el número de ensayo
- la velocidad del vehículo
- el nivel sonoro en dB(A)
- el número de medidas válidas
- la desviación estándar de la serie de medidas
- la media aritmética de la serie de medidas

- el intervalo de confianza
- las condiciones meteorológicas en el momento de los ensayos.

Tramo	Revestimiento	Nivel sonoro en dB(A) redondeado a la unidad
1	Antiguo: losa de hormigón liso	75
	Nuevo: hormigón bituminoso drenante	72
2	Antiguo: hormigón bituminoso clásico	72
	Nuevo: hormigón bituminoso drenante	71

## 2.5. Comentarios

Sobre el tramo 1 el hormigón bituminoso drenante aporta una mejora del orden de 3 dB(A) sobre el nivel global generado por un vehículo ligero circulando a 80 km/h en relación a una calzada en losa de hormigón liso.

El examen del espectro en tercios de octavo (cf. tablero a continuación) hace parecer que la ventaja es sobre todo importante (5 a 10 dB(A)) en las bandas de tercio de octavo situadas más allá de 1.600 Hz correspondiente a las frecuencias agudas.

En el tramo 2 el revestimiento inicial en hormigón bituminoso clásico induce a un nivel de ruido de 72 dB(A). Este revestimiento está ya a clasificar entre los revestimientos menos ruidosos.

En estas condiciones el hormigón bituminoso drenante no aporta más que una mejora poco sensible sea de 1 dB(A).

El corolario de la disminución del nivel sonoro constatado se observa una reducción del tiempo de emisión a partir de un umbral dado es así que el nivel 60 dB(A) es logrado o pasado durante 3,7 segundos para losa de hormigón liso y 2,4 segundos para el hormigón bituminoso drenante 0/10.

El tramo de hormigón bituminoso drenante Drainochape genera un ruido de contacto neumático-calzada de 71 dB(A) en medio urbano.

Este revestimiento se sitúa entre los más débiles generadores de ruidos de rodadura.

Banda de 1/3 de octavo Centro sur en Hz	1.ª intervención 3/7/85 Estado inicial Losas de hormigón liso	2.ª intervención el 5/9/85 Hormigón bituminoso drenante 0/10
100 Hz	74	70,5
125 Hz	74,5	74
160 Hz	68,5	66
200 Hz	65	69
250 Hz	66	64
400 Hz	63,5	61,5
500 Hz	62	59,5
630 Hz	62,5	63
800 Hz	66	66,5
1.000 Hz	70	69,5
1.250 Hz	68	68
1.600 Hz	66,5	63
2.000 Hz	65	58,5
2.500 Hz	63,5	53,5
3.150 Hz	60	51
4.000 Hz	59,5	48,0
5.000 Hz	56	48,0

### 3. Experiencia sobre vía rápida urbana en Dunkerque en el norte de Francia

#### Descripción del sitio

La vía de Courghain está situada en la comunidad de Grandesynthe. El perfil de medida está implantado a la derecha de la gasolinera entre el principio de la vía del Courghain y el Echangeur del Polígono Industrial del Moulin.

En esta zona la vía está al nivel del terreno natural.

En primera fase (antes de las obras) la vía está constituida de una calzada norte de 2 vías de circulación.

En segunda fase (después de las obras) la vía se compone de dos calzadas de dos vías de circulación.

El hábitat está situado al norte de la vía, se trata de una zona pabellonaria (R+1) parcialmente protegida por colinas de tierra.

El tráfico es muy elevado (tipo To en la clasificación SETRA-LCPC) con una tasa de pesos pesados del orden del 15 %.

#### Descripción del ensayo

El ensayo caracteriza una pareja neumático-revestimiento por la medida del nivel de presión sonora máxima, expresada en decibelios ponderado (A) producido por un vehículo pasante a motor parado sobre el revestimiento probado. El micrófono de medida está situado a 7,5 m del eje de la trayectoria del vehículo y a 1,20 m por debajo del nivel de la carretera.

### **Vehículos de ensayo**

Las tres series de ensayos han sido realizadas con un vehículo Super 5 Renault equipados de neumáticos de cubierta radial X 2 X con las presiones de hinchamiento siguientes:

Delante: 1,7 bars

Atrás: 1,9 bars

### **Velocidad de ensayo**

La velocidad de ensayo retenida es de 80 km/h.

La medida de la velocidad instantánea del vehículo está hecha por un cinemómetro homologado cuando el vehículo se encuentra a la derecha del micrófono.

Todo ensayo cuya velocidad instantánea no está comprendida en el intervalo 79 a 81 km/h es anulado.

### **Material acústico utilizado**

El ruido, para cada paso del vehículo es grabado en un magnetófono NAGRA IV S J regulado sobre la constante de tiempo rápido. El estudio se ha realizado en laboratorio sobre un grabador gráfico de marca BRUEL y KJAER tipo 2305.

Es el valor máximo ponderado A que es retenido.

### **Resultados de las medidas**

El tablero recapitulativo de aquí abajo retorna el nivel sonoro medio para cada serie de ensayos relativo a cada tipo de revestimiento.

Designación del ensayo	Revestimiento	Nivel sonoro en dB(A)
Fase 1. Antes obras calzada norte	Capa superficial gruesa monocapa 10/14	76,5
Fase 2. Después obras calzada norte	Hormigón bituminoso drenante 0/10 Drainochape (BEUGNET) betún-caucho	70,3

Para un vehículo aislado circulando a 80 km/h motor parado, tras mejoras aportadas por revestimientos en betún bituminoso drenantes son de 6,2 dB(A) para la calzada norte por referencia al revestimiento de origen.

#### **4. Calzadas experimentales enteramente porosas cerca de Lyon**

##### **4.1. Objeto de medidas**

En el cuadro de una reflexión llevada por D.D.E. (dirección departamental del Ministerio de Obras Públicas) del Ródano sobre el tema "Calzadas poco ruidosas", se han realizado en Toussieu, cuatro tramos experimentales de estructuras gruesas. Se ha definido un plan de experiencia multi-criterio.

El presente documento sintético conlleva resultados de medidas acústicas realizadas por los tres organismos siguientes: INRETS, LCPC Nantes y LRPC Estrasburgo.

##### **4.2. Plan de experiencia "acústico"**

Los ensayos han sido realizados en los cuatro tramos de estructuras gruesas puestas en obra en el CD 147 E.

###### *4.2.1. Tramos experimentales*

###### *Tramo 1*

Estructura drenante espesa de 52 cm.  
Ligante elastómero.  
-4 x 12 cm en capa base 0/20 drenante.  
-4 cm en capa de rodadura 0/10 drenante.

###### *Tramo 2*

Estructura drenante espesa de 40 cm.  
Betún puro modificado.  
-3 x 12 cm en capa de base 0/20 drenante.  
-4 cm en capa de rodadura 0/10 drenante.

###### *Tramo 3*

Estructura drenante espesa de 40 cm.  
Ligante elastómero.  
-3 x 12 cm en capa base 0/20 drenante.  
-4 cm de capa de rodadura drenante.

###### *Tramo 4*

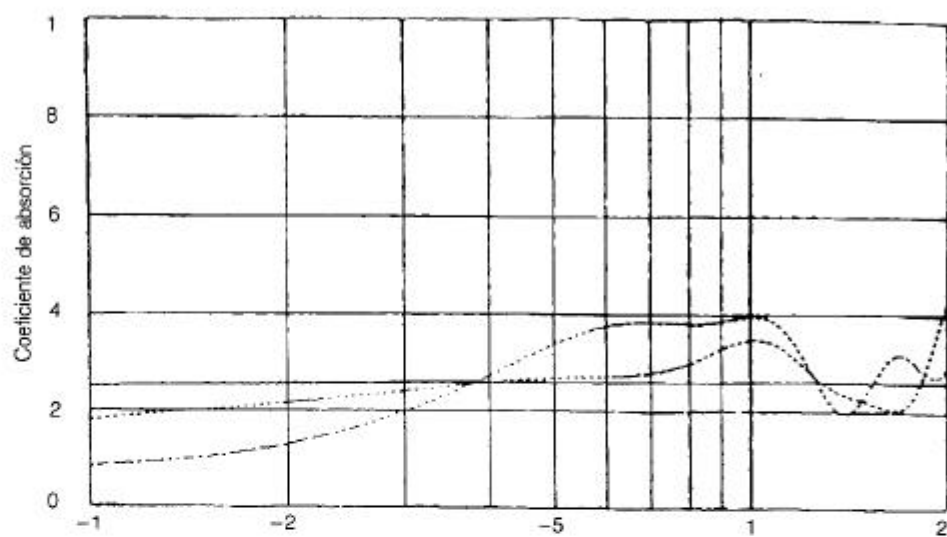
Estructura drenante espesa de 40 cm.  
Ligante hidráulico.  
-32 cm en hormigón de cemento poroso 0/20.  
-8 cm de hormigón de cemento poroso 0/10.

###### *4.2.2. Naturaleza de los ensayos realizados*

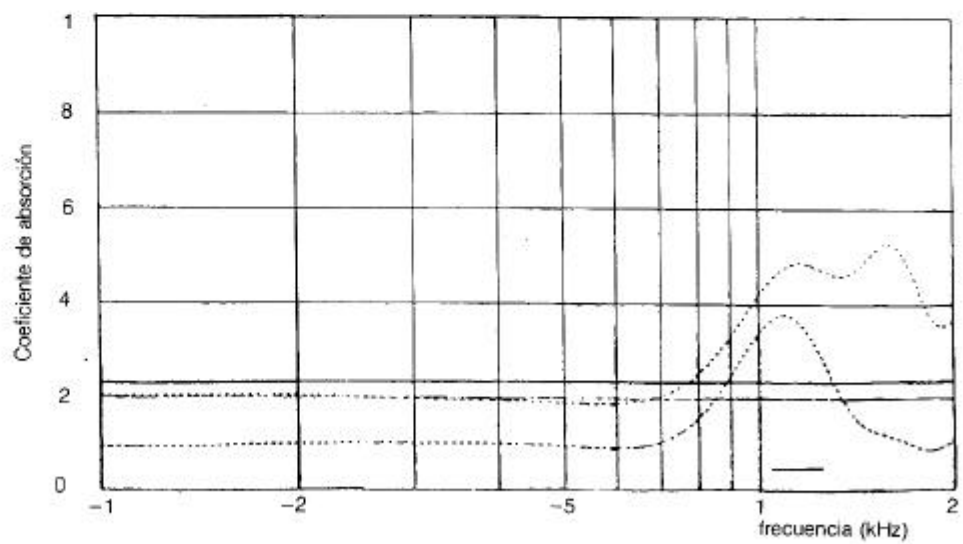
Se han realizado dos tipos de ensayo:



ABSORCION EN INCIDENCIA NORMAL



ABSORCION EN INCIDENCIA NORMAL



- De una parte las medidas de *absorción* dirigidas a evaluar el coeficiente de absorción de las estructuras probadas en incidencia normal.
- Por otra parte, *las medidas de nivel sonoro* debido al ruido del contacto neumático-calzada.

La totalidad de los ensayos han sido realizados entre el 20 y 30 de septiembre de 1989, en las mismas condiciones meteorológicas "ideales".

### **4.3. Resultados de las medidas**

#### *4.3.1. Coeficiente de absorción acústica en incidencia normal*

##### *4.3.1.1. Ensayos*

Los ensayos han sido realizados por el LCPC (Nantes), según el método "LCPC" basado en el tratamiento de señales transitorias producidas por una fuente impulsora. Este método es no destructivo y permite obtener un valor medio de absorción para una muestra vecina de 3 m.

##### *4.3.1. Resultados*

Los resultados de medidas están presentados a partir de las cuatro curvas que siguen. Las dos trazadas en puntos representan las medidas de absorción en dos puntos sobre cada uno de los tramos: el trazado en rasgo lleno representa el trazado teórico del comportamiento de "super espesor".

##### *4.3.1.3. Comentarios*

- El tramo 4 en hormigón poroso da resultados difícilmente interpretables.
- El tramo 2 no proporciona resultados homogéneos sobre la totalidad de la distancia.
- Los tramos 1 y 3 presentan resultados muy similares. Se resalta que, *la condición de super-espesor* correspondiente a la absorción máxima de la capa, *parece ser lograda a partir de 40 cm*. En efecto, pasar de 40 a 52 cm no importa el acrecentamiento del valor de coeficiente de absorción.

#### *4.3.2. Nivel de presión acústica ( $L_{pmax}$ ) al paso de los vehículos aislados para una velocidad de referencia fijada a 90 km/h*

##### *4.3.2.1. Ensayos*

Los ensayos han sido realizados en 2 tiempos por dos equipos.

- Ensayos INRETS por referencia al método Coast By (CB).
- Ensayos LRS por referencia al método franco-alemán (FA).

Sobre el fondo, los procedimientos se afirman en el mismo principio: medida de la señal sonora al paso de un vehículo aislado a una

distancia de 7,5 m. El método CB tiene en cuenta un único vehículo para velocidades bien definidas (media); el método FA necesita cuatro configuraciones vehículo-neumático: circulante de velocidades comprendidas entre 70 y 110 km/h (regresión).

Los resultados aquí presentados no tienen en cuenta los valores comparables, a saber:  $L_{pmax}$  para  $V = 90$  km/h.

#### 4.3.2.2. Resultados

Están expresados en dB(A).

$L_{pmax}$	Tramo 1 Aglomerado 52 cm	Tramo 2 Aglomerado 40 cm	Tramo 3 Aglomerado 40 cm	Tramo 4 Hormigón
INRETS	70,2	/	71,5	72,6
LRS	70,8	71,8	72,1	75

#### 4.3.2.3. Comentarios

Parece que las estructuras espesas 1, 2 y 3 son globalmente equivalentes; se releva que la diferencia de dB(A) en favor del tramo 1, la más gruesa es inferior a la incertidud de medida (menos de 2 dB(A)). Los resultados del tramo 4 (hormigón de cemento) indican valores en dB(A) más elevados sensiblemente idénticos a los mejores aglomerados drenantes puestos en obra en 4 cm –esta estructura muy original es pues, muy interesante.

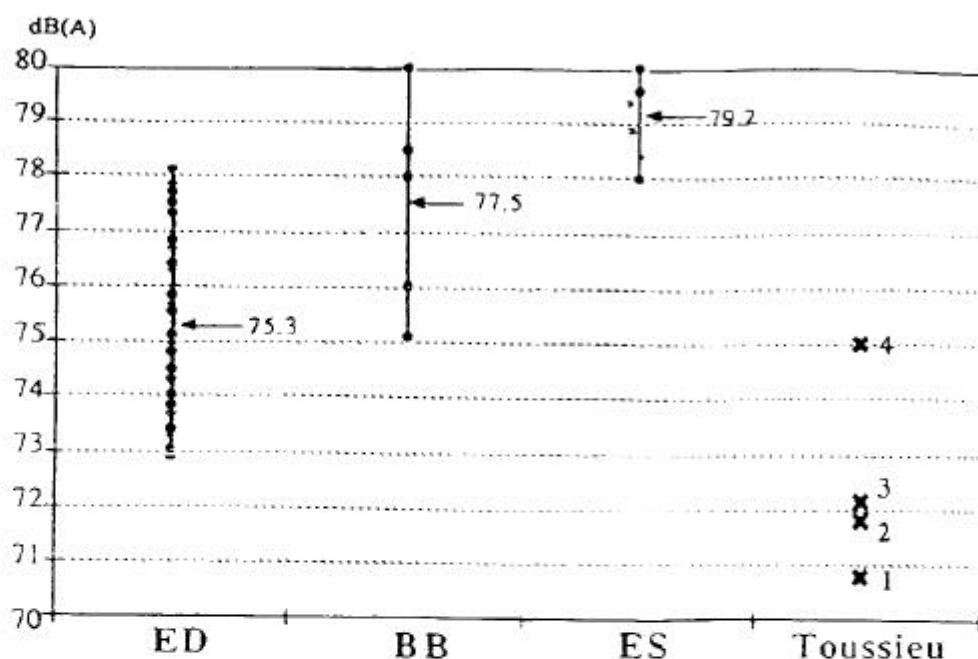
#### 4.4. Análisis de los resultados

La figura a continuación permite posicionar los resultados obtenidos (por referencia al método franco-alemán) para las estructuras gruesas en relación a otros revestimientos: aglomerados drenantes, hormigón bituminoso, capas superficiales.

Este gráfico muestra claramente que las estructuras espesas drenantes puestas en obra en Toussieu están particularmente logradas en término acústico.

Esta ventaja del tramo P1 es de 4 dB(A) en relación a la media de los aglomerados drenantes: de 7 dB(A) en relación a la media de los hormigones bituminosos y de 8 dB(A) en relación a la media de las capas superficiales.

La ganancia importante puede explicarse a la vez por el espesor de la estructura y por la elección de la fórmula 0/10; discontinua 2/6 que se ha revelado, además, como estando entre los más logrados.



## 5. Conclusión

Los aglomerados drenantes en capa de rodadura generalmente puestos en obra en 4 cm de espesor que aportan una solución particularmente interesante para resolver el problema de la seguridad de los usuarios en tiempos de lluvia, suprimen el riesgo del fenómeno de patinaje y evita las proyecciones de agua, sobre todo para los vehículos pesados, los que han arrastrado su desarrollo en grandes ejes de autoista, además evitan el reflejo de los faros y disminuyen el riesgo de deslumbramiento de noche sobre calzada mojada.

Pero poseen también una propiedad remarkable como disminuir considerablemente el ruido de rodamiento engendrado por el contacto neumático-calzada. Todas estas propiedades hacen que los aglomerados drenantes van a conocer un fuerte desarrollo en los años 90 —el Drainochape desarrollado por el Grupo Beugnet gracias a las características remarquables del ligante betún-caucho garantiza todas estas cualidades pero ofrece además la durabilidad en el tiempo.

La empresa TRACSA tiene además obras realizadas en Drainochape cerca de Barcelona en 1989, éstas aportarán la prueba rápidamente.

En el mismo tiempo, el Grupo Beugnet participa activamente en las investigaciones llevadas a cabo en Francia para la elaboración de calzadas porosas con mucho espesor, utilizando el concepto de una estructura absorbente antiruido y comportándose como una "calzada depósito" desde fuertes precipitaciones lluviosas. Será sin duda la calzada del año 2000.