

## **Avances en el campo de los reciclados. Reciclado mixto con emulsión y cemento**

JUAN JOSÉ POTTI  
*DIRECTOR TÉCNICO, PROBISA*  
MARIA MARTINEZ  
*ADJUNTA AL DIRECTOR TÉCNICO, PROBISA*  
JAVIER MANCEBO  
*DEPARTAMENTO DE DESARROLLO CORPORATIVO*

### **RESUMEN**

Existen varias clases de reciclado de pavimentos: mediante técnicas en frío o en caliente, con emulsión, con cemento, o mixtos, in situ o en central....

El reciclado objeto de esta publicación, es reciclado en frío in situ con emulsión y un pequeño porcentaje de cemento, en torno al 0.5% en peso sobre el árido, pues ésta adición en pequeñas cantidades, permite seguir manteniendo las propiedades flexibles de un material tratado con ligante bituminoso a la vez que se complementa con las de un ligante hidráulico, tales como conseguir que la mezcla reciclada adquiera resistencia mucho antes, y sea menos susceptible al agua, es decir, se aseguran resistencias conservadas en torno al 80%, mayores que las que exige el artículo 20 “Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas” del PG-4, en la Orden Circular 8/2001

Se comentarán así mismo las pequeñas diferencias en la formulación de la mezcla, ejecución y puesta en obra con respecto al reciclado con emulsión tradicional.

### **1.- RECICLADO MIXTO. GENERALIDADES**

Las diferentes técnicas de reciclado de firmes, ya sean “en frío” o “en caliente”, “in situ” o “en central”, se utilizan en numerosos países en un porcentaje pequeño dentro de las técnicas de rehabilitación de carreteras. Sin embargo, en el contexto actual, donde cada vez es más evidente la disminución de las materias primas, las preocupaciones económicas, medioambientales y legislativas, el Sector (Administraciones y Empresas) se ve empujado a prever de manera más sistemática las diferentes técnicas existentes para reconstruir o reciclar sus firmes.

Una de estas técnicas consiste en reciclar en frío el firme utilizando una combinación de emulsión bituminosa y cemento. Esta técnica se ha desarrollado ampliamente en Canadá, República Checa o Japón, y lleva en general, a la utilización de una cantidad importante de cemento.

Basándose en esta técnica, y aprovechando su amplia experiencia en técnicas en frío con emulsión bituminosa, PROBISA ha desarrollado un tipo de reciclado mixto (con emulsión y cemento) con unas características diferentes a los anteriormente expuestos y adaptada a las características españolas, en cuanto a cumplimiento de Normativa vigente.

## 2.- NORMATIVA VIGENTE

- Orden Circular 8/2001 “Reciclado de firmes” del Ministerio de Fomento, en vigor desde enero de 2002. En su artículo 20 “ Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas”, define este tipo de reciclado como:

“Mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de mezcla bituminosa de un firme existente en un espesor comprendido entre seis y doce centímetros, emulsión bituminosa, agua y, eventualmente, aditivos. Todo el proceso de ejecución de esta unidad de obra se realizará a temperatura ambiente y sobre la misma superficie a tratar.”

A efectos de aplicación de este artículo el material definido en el apartado anterior sólo se considerará válido cuando el 90% o más del espesor de las capas a reciclar sean mezclas con ligantes hidrocarbonados”

**Tabla 1. Valores mínimos de resistencias en inmersión – compresión (NLT-162)**

<b>Categoría del tráfico pesado</b>	<b>En seco (Mpa)</b>	<b>Tras inmersión (Mpa)</b>	<b>Conservada (%)</b>
T1 (sólo capas de base) y T2	3	2.5	75
T3, T4 y arcenes	2.5	2	70

- “Dimensionamiento de firmes de la Junta de Andalucía”  
 Reciclado tipo I: Cuando el 75% o más del espesor de las capas a reciclar sean mezclas con ligantes hidrocarbonados  
 Reciclado tipo II: Cuando el menos del 75% del espesor de las capas a reciclar sean mezclas con ligantes hidrocarbonados

**Tabla 2. Valores mínimos de resistencias en inmersión – compresión (NLT-162)**

Categoría del tráfico pesado	En seco (Mpa)	Tras inmersión (Mpa)	Conservada (%)	En seco (Mpa)	Tras inmersión (Mpa)	Conservada (%)
	Tipo I			Tipo II		
T0,T1 y T2	3	2.5	75	1.8	1.5	75
T3	2.5	2	60	1.2	1	60
T4	2	1.5	50	0.9	0.7	50

- Guía de dimensionamiento elaborada por Probisa, “Guía para el dimensionamiento de firmes reciclados in situ en frío” (Del Val, 1998). Define tres clases de reciclado con emulsión:

**Tabla 3**

Clase (Reciclado con emulsión)	I	II	III
Contenido en ligante	4-7%	3-5%	2-4%
Firme a tratar	Materiales bituminosos (<5cm) y capa de base granular	Materiales bituminosos (<10cm) y capa de base granular	Materiales bituminosos
Espesor tratado (cm)	8-15	8-15	5-15
Objetivos	Estabilización y regularización del firme		Regeneración de la mezcla

### 3.- FORMULACIÓN DEL RECICLADO MIXTO

Probisa aplica una filosofía de formulación diferente a las que se utilizan habitualmente basada en:

- El empleo de ligantes más duros
- La incorporación de una pequeña cantidad de cemento.

#### 3.1. Cohesión inicial.

Generalmente, el reciclado de un firme tiene como objetivo devolverle su cohesión. La resistencia en seco del material in situ, antes del tratamiento, es pequeña (ver gráfico 1, punto A). Esto ha llevado a regenerar el ligante envejecido con una emulsión formulada

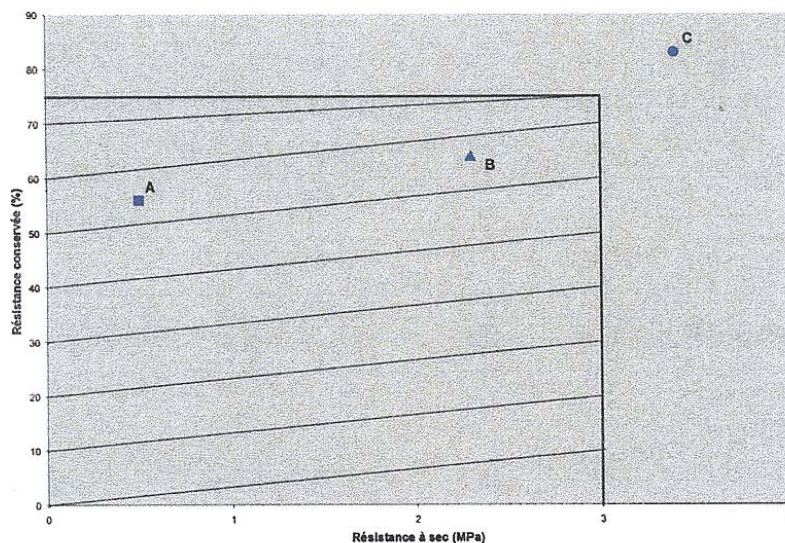
con betún enriquecido con agentes rejuvenecedores. Además el betún base de esta emulsión, es normalmente un betún blando con alta penetración (alrededor de 250 dmm) muy susceptible al calor.

Se pretendía así una interacción entre el betún nuevo y el envejecido, y obtener como resultado un betún con unas características adecuadas para el buen comportamiento de la mezcla reciclada de manera análoga al fin perseguido por el reciclado en caliente en central.

La experiencia ha demostrado que aplicando estos principios, la cohesión de la mezcla a corto plazo en general, es mala y las eficiencias mecánicas a corto y medio plazo son limitadas. En estas condiciones, el uso de una emulsión con un betún de base más duro (con una penetración del orden de 80 dmm) permite aumentar la cohesión de la mezcla y además el valor de la resistencia en seco (gráfico 1 punto B).

Sin embargo, la incorporación de una emulsión no permite disminuir la susceptibilidad al agua de la mezcla y la resistencia conservada suele ser inferior a los valores fijados por las Normas. La incorporación de una pequeña cantidad de cemento (0,5 % en peso), permite disminuir el contenido de agua de la mezcla, y por lo tanto, aumentar su densidad. La resistencia en seco no aumenta, pero la resistencia después de inmersión sí lo hace sensiblemente (gráfico 1, punto C)

**Gráfico 1. Evolución de las características de la mezcla reciclada en función de la incorporación de cemento.**



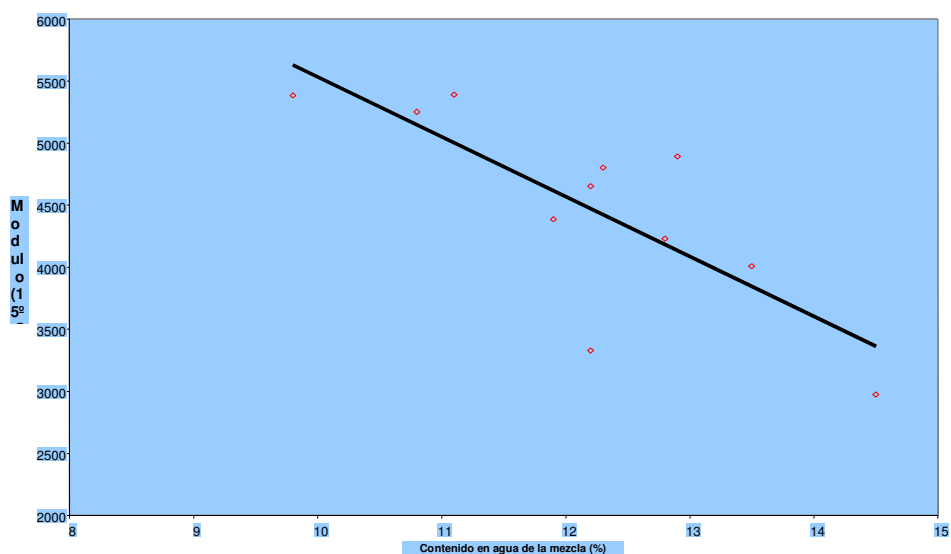
### 3.2. Comportamiento a medio y largo plazo. Módulo.

Habida cuenta que en el reciclado in situ el proceso de fabricación y extensión se realizan en una sola operación, uno de los aspectos clave no sólo en el comportamiento inicial, toma de cohesión inicial de la mezcla, sino en las características finales de la mezcla, es el contenido en agua de la mezcla.

El agua es un líquido incompresible y por ello ni siquiera con elementos de compactación más energéticos se consigue desplazar esta agua. El contenido de huecos final de la mezcla dependerá no sólo del esqueleto mineral sino también del contenido en agua de la mezcla. Finalmente, las propiedades mecánicas finales de la mezcla dependen del contenido en huecos. De todo ello se deduce la importancia de reducir al máximo ese contenido en agua durante el proceso de reciclado haciéndolo compatible con las condiciones de humedad que necesita la operación de fresado y la humedad mínima que precisa el proceso de envuelta. Por estos motivos, esta misma Orden Circular, 8/2001, limita los espesores del reciclado in situ con emulsión a un mínimo de 6 cm y un máximo de 12 cm.

Probisa ha analizado testigos extraídos de sus obras de reciclado mixto en el Laboratorio de Dourdan de Eurovia (Matriz del Grupo), mediante ensayos de compresión diametral a la temperatura de 15° C según las frecuencias 0.1-1-4 y 10 Hz y el contenido en huecos de los diferentes testigos ha sido determinado por banco gamma según la norma NFP 98-250-5.

**Gráfico 2. Evolución de los valores de módulo en función del contenido en huecos de la mezcla reciclada.**



Según se observa en este gráfico, una reducción del contenido de huecos en un dos por ciento se traduce en el aumento del 25% del módulo.

Esta es otra circunstancia muy favorable a la incorporación de un pequeño porcentaje de cemento, pues a medio plazo (los testigos se extraen normalmente a los 15 o 30 días de la ejecución del reciclado) se pueden verificar valores de módulo superiores a los que se aceptaban hasta ahora (2.500 Mpa a 20°C según la Norma Andaluza).

Por lo tanto, la posibilidad de extraer testigos a las pocas semanas de la puesta en obra, demuestra la influencia positiva de la incorporación de pequeñas cantidades de cemento en cuanto a cohesión inicial de la mezcla, además los valores obtenidos de resistencia conservada y módulo confirman el interés en esta incorporación.

Todos estos aspectos están siendo estudiados a través de proyecto de investigación europeo Score ([www.score-project.org](http://www.score-project.org))

Además del tipo y porcentaje de emulsión y cemento (respecto a la masa total del material a reciclar en seco), para una correcta formulación de esta mezcla es necesario aportar los siguientes datos en la fórmula de trabajo:

- Espesor de reciclado in situ con emulsión y cemento
- Granulometría del material fresado
- Proporción en masa, respecto a la masa total del material a reciclar en seco, de agua que se vaya a aportar.
- Humedad óptima de compactación.
- Valor mínimo de la densidad a obtener en el tramo de prueba.

#### **4.- EJECUCIÓN Y CONTROL DE OBRA**

Tras la formulación y el preceptivo tramo de prueba, las diferentes operaciones necesarias para la ejecución del reciclado in situ en frío con emulsión y cemento pueden resumirse así:

##### **4.1. Fresado**

Antes de esta operación, se puede realizar si es necesario un ajuste de los perfiles transversales y longitudinales del firme.

El ancho del tambor de fresado, es normalmente más pequeño que el ancho de vía a tratar, por lo tanto los trabajos deberán ejecutarse por pasadas prestando especial atención a la junta longitudinal.

De manera general, se puede considerar que el recubrimiento de las pasadas corresponderá a 1,5 o 2 veces el espesor de la capa a tratar y será mínimo de 150 mm.

Las juntas transversales se ejecutarán fresando entre 1 m y 1,5 m de la parte ya tratada.

Estas juntas deberán colocarse en lugares estratégicos de la calzada para evitar una degradación demasiado rápida de estos puntos “flojos”. Por lo tanto, habrá que evitar que las juntas longitudinales se sitúen en las zonas de rodada de los vehículos y que las transversales coincidan con intersecciones u otro punto de detención de los vehículos.

Las picas del tambor deberán ser verificadas regularmente para garantizar la obtención de un material cuya curva granulométrica corresponda a la tenida en cuenta para la fórmula de trabajo.

#### **4.2. Corrección granulométrica.**

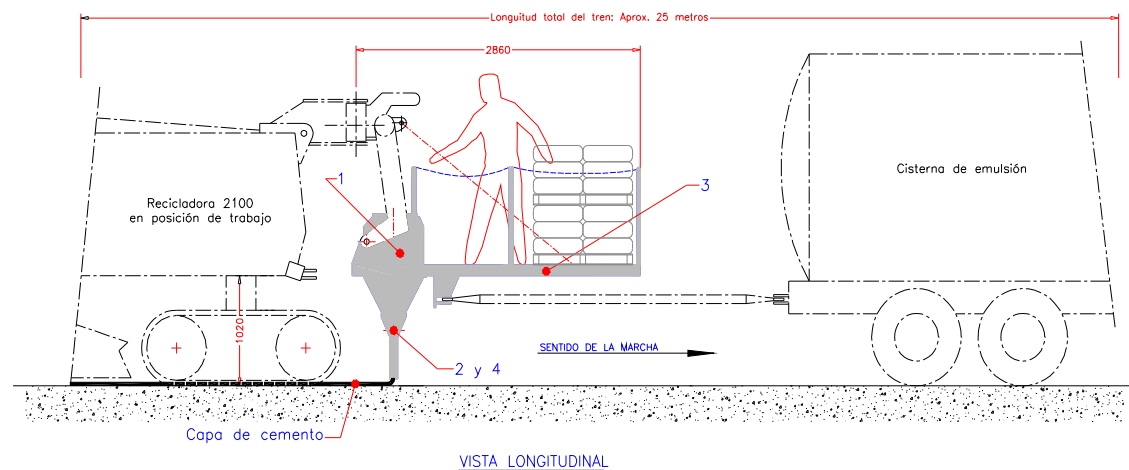
Si es necesario, la curva granulométrica del material fresado puede ser corregida mediante la incorporación de áridos nuevos, especialmente si faltan una o varias fracciones.

#### **4.3. Incorporación del cemento.**

La adición del cemento debe ser en polvo, en cantidades muy bajas en torno al 0,5%, y sin provocar los problemas ya conocidos de adición de un polvo que puede estar expuesto al viento o a su dispersión en las zonas colindantes. Por ello se pensó en un dosificador anejo a la máquina de reciclado, diseñado por el Departamento de Maquinaria de Probisa siguiendo los siguientes criterios:

1. Unidad compacta, de forma que ocupe el menor espacio posible dentro del conjunto del tren de reciclado, no dificulte ni interfiriera las distintas maniobras de trabajo.
2. Acoplable a la máquina Wirtgen 2100 y a la vez independiente de la misma, de manera que una vez desmontado no queden en ésta elementos que dificulten otras aplicaciones.
3. Acoplamiento fácil y sencillo en las maniobras de montaje y desmontaje a la máquina con el fin de no dificultar y retrasar los cambios en las obras.

4. Al objeto de simplificar el diseño y la construcción, la fuerza motriz debería proceder de la máquina Wirtgen 2100.
5. Hacer que la dosificación del producto sea regulable con objeto de adaptarse a las necesidades de cada obra.
6. Capacidad para una carga paletizada de cemento de 2000 Kg, esta cantidad corresponde al consumo de media jornada de trabajo.
7. Extendido del cemento por vía seca, lo más próximo posible al tambor de reciclado evitando así la posibilidad de dispersión y contaminación del entorno por acción del viento.



**Gráfico 3. Base de funcionamiento del dispositivo dosificador de cemento**

#### 4.4. Incorporación de la emulsión y el agua.

La emulsión y el agua son añadidas directamente en la cámara de mezclado de la máquina, una mezcla eficaz, garantizará un reparto homogéneo.

Conviene recordar que un exceso de agua favorece el proceso de envuelta, pero conlleva un aumento de huecos en la mezcla y por lo tanto, una reducción de la densidad. La dosificación debe ser por este motivo, precisa.



#### 4.5. Extendido y compactación.

El extendido se realiza mediante la regla que lleva incorporada la recicladora. La compactación se llevará a cabo utilizando los compactadores más potentes que permitan compactar enérgicamente la mezcla. Los trenes de compactación serán variables y dependerán del objetivo a alcanzar

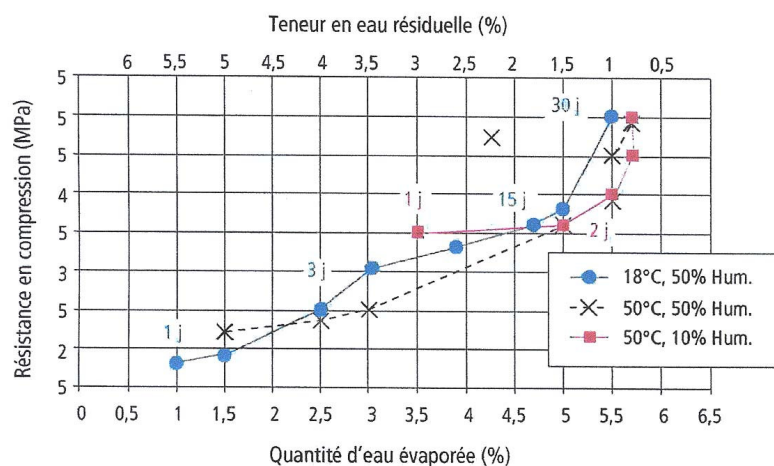
Tras este proceso se recomienda aplicar una capa de sellado para proteger el material reciclado de la lluvia o del tráfico, se aplicará una emulsión de rotura rápida a razón de 250 a 350 gr/m<sup>2</sup> de ligante residual, seguido de la extensión de un árido 4/6 ó 2/4 en una dotación de 2 a 3 l/m<sup>2</sup>.

#### 4.6. Aplicación de la capa de refuerzo.

La extensión de la capa de refuerzo se ejecutará después de un tiempo mínimo para que la cohesión de la mezcla y la evaporación del agua sean suficientes. Este contenido en agua debe ser inferior al 1% tras haber transcurrido al menos 7 días del reciclado.

Los trabajos realizados durante el proyecto OPTTEL han permitido demostrar que existe un contenido en agua mínimo que tras un largo proceso de maduración no puede ser reducido. Sin embargo, el proceso de fijación del betón sobre los áridos continúa y la resistencia en seco de la mezcla reciclada sigue aumentando. Así la incorporación de cemento permitirá obtener una mezcla más seca y por lo tanto mejores resistencias a corto y largo plazo.

**Gráfico 4. Evolución de las resistencias a compresión en función del contenido en agua de las diferentes fases de maduración.**



## **5.- CONCLUSIONES.**

1) Para mejorar la cohesión inicial de la mezcla y por tanto, reducir los tiempos de apertura al tráfico, el papel del cemento en polvo, es triple:

- Modifica bruscamente el ph de la fase acuosa provocando el inicio de la rotura de la emulsión y facilitando la toma de cohesión inicial
- Añade un material con alta capacidad de absorción de agua, reduciendo por tanto la consistencia final de la mezcla, se obtienen así resistencias conservadas del 80%
- Aporta las propiedades adicionales de un ligante hidráulico.

2) El análisis de los testigos extraídos a los 15 o 30 días de la ejecución del reciclado puede verificar valores de módulo superiores a los que se aceptaban hasta ahora (2.500 Mpa a 20°C según la Norma Andaluza), debido a la acción del cemento que reduce el contenido en agua y por lo tanto en huecos de la mezcla. Una reducción del contenido de huecos en un dos por ciento se traduce en el aumento del 25% del módulo.

## **6.- ALGUNAS OBRAS DE RECICLADO MIXTO EJECUTADAS POR PROBISA**

### Obra: Aya (Guipúzcoa)

Esta obra consistió en el reciclado de la capa de rodadura en 8 cm de espesor y refuerzo posterior en la carretera Gi-2631. Esta actuación se llevó a cabo debido al deterioro del pavimento por agotamiento estructural, estimado por inspección visual, con fisuras, hundimientos, deformación del perfil longitudinal y transversal, además de la presencia de grietas y cuarteos, en el tramo comprendido entre los p.k. 10+640 y 17+772. Posteriormente se extendió una capa de lechada bituminosa como rodadura.

Los trabajos fueron realizados para la Diputación de Guipúzcoa. El Jefe de Obra asignado por Probisa fue D. Iñaki Guezala bajo la dirección de D. Alberto Zabala Delegado del País Vasco.

### Obra: Navacerrada –Cotos

Esta obra consistió en el reciclado de firme (conforme al proyecto) de la carretera M-604 entre los PK 41+790 y 48+500, el firme presentaba evidentes signos de fatiga, tales como piel de cocodrilo acusada.

El reciclado se realizó con el 3% de emulsión y 0.5% de cemento, en una profundidad de 8 cm, y en una superficie de 50.500 m<sup>2</sup>. Posteriormente a la ejecución de esta capa y antes de su apertura la tráfico se selló el reciclado con emulsión tipo ECR-1 sin árido de cubrición.

**Foto 1**



Los trabajos fueron realizados para la empresa Trabit, que posteriormente procedió a extender una capa de rodadura con mezcla bituminosa en caliente. La Propiedad es la Comunidad de Madrid, y el Jefe de Obra asignado por Probisa fue D. Mariano Aguilar, Jefe de Grupo de Obras de la Zona Centro.

#### Loeches – Nuevo Batzan.

Probisa ejecutó para la empresa Virton, un reciclado mixto en 7 cm de espesor en la carretera M-219 perteneciente a la Comunidad de Madrid, entre las localidades de Loeches y Nuevo Batzan, en una longitud de 15 Km.

Se trata de un proyecto modificado, pues el original trataba la rehabilitación de la M-219 mediante fresado y reposición en los tramos más fatigados y un refuerzo posterior.

Probisa diseñó la solución de reciclado que finalmente ha sido aceptada.

## 7.- BIBLIOGRAFÍA

- (1) Del Val, M.A. “Guía para el dimensionamiento de firmes reciclados in situ en frío”, Probisa 1998.
- (2) Potti, J.J., Martínez, M. Mancebo, J. “Últimos avances en la estabilización y reciclado de pavimentos in situ.” Ingeopres Marzo 2003.
- (3) Potti, J.J. “Experiencias con reciclados mixtos emulsión bituminosa – cemento”, 1er simposio internacional sobre estabilización de explanadas y reciclado in situ de firmes con cemento. Salamanca 2001.
- (4) Potti, J.J., Lesueur, D., Eckmann, B. «Vers une méthode rationnelle de formulation des enrobés à froid: les apports du projet OPTTEL», RGA n° 805, avril 2002.
- (5) Potti, J.J., Le Bec, S., Lesueur, D., Le Roux, C., Brion, Y. «Caractérisation des enrobés à froid vis-à-vis de la mise en oeuvre et de la montée en cohésion», RGRA n° 802, janvier 2002.