



(22) **Date de dépôt/Filing Date:** 2014/06/30

(41) **Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.:** 2015/12/30

(51) **Cl.Int./Int.Cl.** **C04B 26/26** (2006.01),
C04B 18/16 (2006.01), **C04B 26/04** (2006.01),
C10C 3/14 (2006.01), **E01C 19/05** (2006.01)

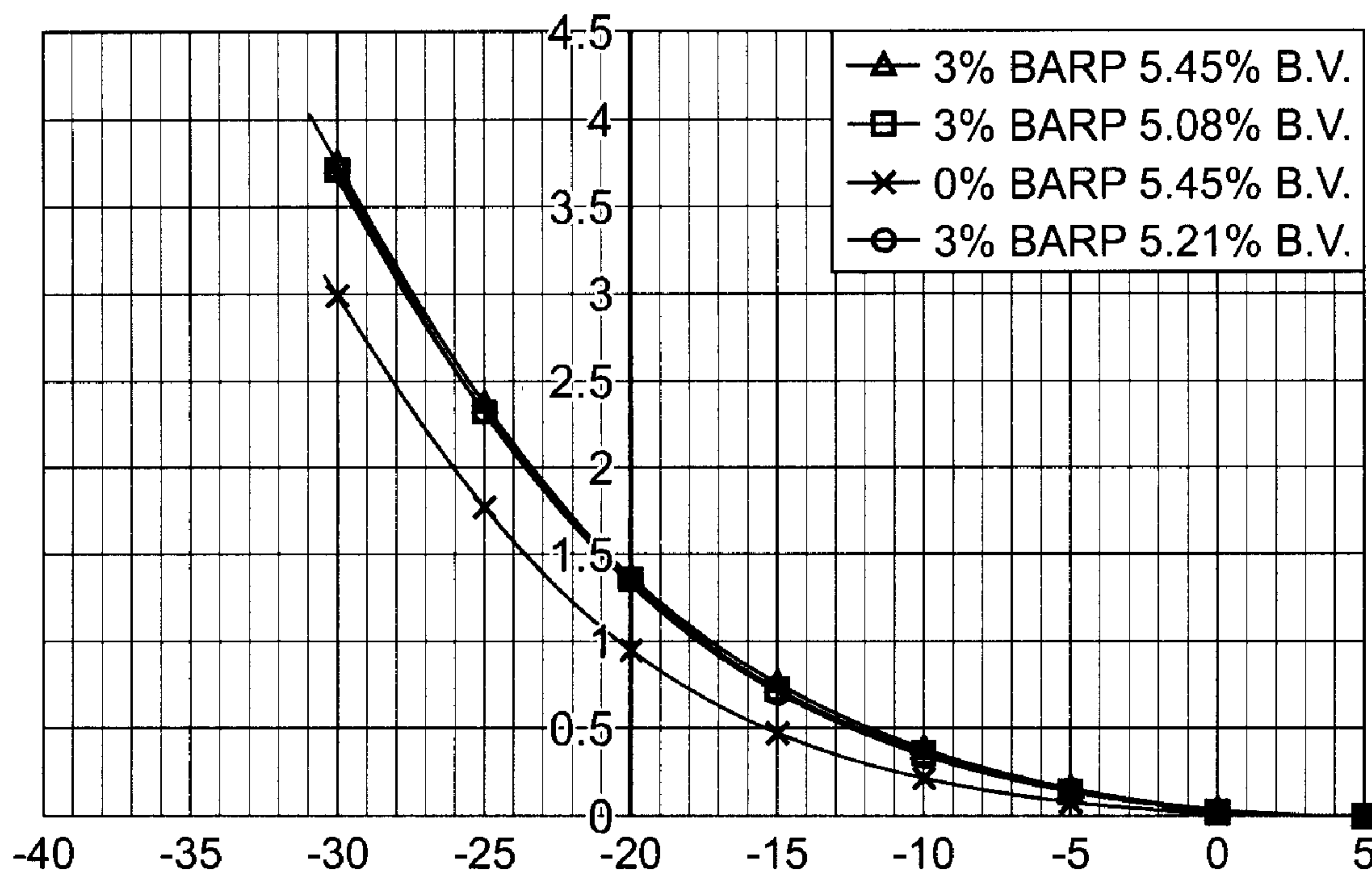
(71) **Demandeur/Applicant:**
COLASCANADA INC., CA

(72) **Inventeur/Inventor:**
NOEL, FREDERIC, CA

(74) **Agent:** GOWLING LAFLEUR HENDERSON LLP

(54) **Titre : ENROBE BITUMINEUX COMPRENANT DES SABLE DE BARDEAUX D'ASPHALTE RECYCLES**

(54) **Title: BITUMINOUS COATING CONTAINING SAND FROM RECYCLED ASPHALT SHINGLES**



(57) **Abrégé/Abstract:**

La présente invention concerne un enrobé bitumineux comprenant un liant bitumineux vierge et des granulats minéraux naturels comportant des fines, des gravillons et du sable vierge, caractérisé en ce que l'enrobé comprend du sable de bardeaux issu de bardeaux d'asphalte présentant la composition suivante en poids par rapport au poids total de sable de bardeaux: de 13 à 50% de bitume, de 50 à 85% de charge minérale présentant une granulométrie égale ou inférieure à 2,5 mm et moins de 2 % de fibres de verre ou de cellulose. La présente invention concerne également le procédé de fabrication dudit enrobé bitumineux, ainsi qu'un revêtement obtenu à partir de celui-ci.

ABREGE

TITRE:

ENROBÉ BITUMINEUX COMPRENANT DES SABLE DE BARDEAUX D'ASPHALTE
RECYCLÉS

DEPOSANT:

COLASCANADA INC.

La présente invention concerne un enrobé bitumineux comprenant un liant bitumineux vierge et des granulats minéraux naturels comportant des fines, des gravillons et du sable vierge, caractérisé en ce que l'enrobé comprend du sable de bardeaux issu de bardeaux d'asphalte présentant la composition suivante en poids par rapport au poids total de sable de bardeaux: de 13 à 50% de bitume, de 50 à 85% de charge minérale présentant une granulométrie égale ou inférieure à 2,5 mm et moins de 2 % de fibres de verre ou de cellulose.

La présente invention concerne également le procédé de fabrication dudit enrobé bitumineux, ainsi qu'un revêtement obtenu à partir de celui-ci.

Domaine de l'invention

La présente invention se rapporte au domaine des enrobés bitumineux et plus particulièrement aux enrobés comprenant des matériaux issus de vieux bardeaux d'asphalte ou de bardeaux de rejet issue de la fabrication de bardeaux neufs.

5 En particulier la présente invention concerne un enrobé bitumineux comprenant des granulats minéraux à base de fines (filler), de sables et de gravillons, et un liant bitumineux, dans lequel au moins une partie du liant est substitué par le liant provenant des sables de bardeaux recyclés.

La présente concerne également un procédé de mise en œuvre dudit enrobé.

10

Etat de la technique

Les chaussées routières en enrobés sont composées de plusieurs couches : fondations, bases, liaisons et roulement. Ces différentes couches formant la chaussée, se composent d'un mélange de différentes fractions de granulats, tels que des gravillons, des sables et des fillers et
15 utilisent généralement du bitume comme liant.

De façon connue, le liant peut-être par exemple un liant « neuf » et correspond à un mélange de bitume naturel ou du bitume de l'industrie pétrolière pur ou modifié. Le liant neuf peut en effet comprendre divers additifs, tels que des polymères ou des élastomères permettant de modifier ses propriétés (viscosité, etc). Par souci d'économie et afin de mieux répondre aux
20 exigences environnementales, le liant utilisé dans les enrobés correspond le plus souvent à un mélange de liants issus de matériaux recyclés, dit « liant vieilli » et d'un liant neuf tel que susmentionné, appelé ci-après « liant vierge ».

Il est en effet courant d'utiliser dans une composition d'enrobé des matériaux bitumineux recyclés provenant du recyclage de couches bitumineuses dégradées par relevage en plaques des
25 enrobés ou par fraisage de ceux-ci. Ces matériaux de récupération sont ensuite concassés/criblés afin de disposer de lots granulométriquement homogènes.

Les matériaux bitumineux recyclés ainsi produits sont appelés Agrégats d'Enrobés (AE). La réutilisation des AE dans les enrobés bitumineux est une pratique courante dans la plupart des pays d'Europe (normes EN 13108-8 et CEN 2005a) et en Amérique du Nord où elle a été
30 incorporée dans la méthode « Standard Specification for Superpave Volumetric Mix-design » (AASHTO M 323). Les AE ont en effet une composition moyenne similaire à celle des enrobés bitumineux couramment produits et mis en place dans les chaussées, soit une teneur massique moyenne en bitume comprise entre 3% et 6% par rapport à la masse totale d'AE, le reste de la composition étant constitué d'un mélange minéral de gravillons, de sables et de fines.

35 Cependant, le bitume présent dans les AE a subi un processus de vieillissement dès les étapes de production et de construction, puis progressivement dans l'enrobé en place par des phénomènes d'oxydation et d'évolution chimique. Ce vieillissement qui se traduit par une perte des

éléments volatils, et donc par un durcissement qui est observable par simple mesure des propriétés rhéologiques du liant des AE, une fois celui-ci extrait des AE. Ainsi, le liant d'un AE issu d'une chaussée localisée dans une zone géographique pour laquelle le liant de base est de grade PG 64-22 peut correspondre à un liant plus dur, par exemples à un liant de grade PG 82-16 ou PG 88-10, voire de grades plus durs.

Plus récemment, des bardeaux d'asphalte recyclés (BAR) ont été utilisés, comme matériaux bitumineux recyclés. Ces bardeaux d'asphalte recyclés (BAR) provient soit de lots de bardeaux d'asphalte défectueux rejetés dès leur fabrication, soit de bardeaux d'asphalte enlevés lors de la réfection des toitures. Par exemple, en 2006, entre 150 000 à 200 000 tonnes de vieux bardeaux d'asphalte provenant de toiture étaient enfouis au Québec à un coût variant entre 25 et 30 \$ la tonne. Une fois débarrassés des débris qui peuvent les accompagner (bois, clous...), les bardeaux récupérés sont finement déchiquetés et criblés afin de faciliter leur incorporation dans les enrobés hydrocarbonés.

Les bardeaux d'asphalte recyclés ainsi obtenus sont généralement composés de 25 à 30% en poids de bitume, de 25 à 30% d'une charge minérale fine, de 30 à 35% de granulats minéraux et de 5 à 10% de fibres de verre ou de cellulose.

L'approche de recyclage du bardeau dans les enrobés s'apparente de très près à l'approche de recyclage des agrégats d'enrobé AE susmentionnés. Ainsi, la charge minéral présent dans le bardeau bitumeux dit « complet » (c'est à dire tel que décrit ci-dessus) permet de retrancher une partie de la charge minéral nécessaire à l'élaboration de l'enrobé final et le bitume du bardeau permet également de retrancher une partie du bitume neuf permettant de fabriquer l'enrobé final. Par conséquent, plus la teneur en bardeaux augmente, plus on retranche de bitume neuf.

Le bitume des BAR a cependant subi un processus de vieillissement plus important que les agrégats d'enrobés susmentionnés; il est donc en général plus dur que ceux habituellement utilisés en applications routières. Ainsi le bitume du bardeau étant dur, l'enrobé devient maigre en bitume mou et est ainsi plus fragile. De plus, la densité relative du bardeau complet est relativement basse ce qui affecte l'obtention de bonne densités.

C'est pourquoi, les BAR ne représente généralement pas plus de 5 % d'une composition d'enrobé. Au-delà, il est en effet connu que l'enrobé devient cassant et fragile.

Néanmoins, afin de palier le problème de dureté des enrobés comprenant des BAR, il est connu d'ajouter à la composition d'enrobé une huile régénérante.

Le document US 6,186,700 décrit par exemple un procédé de fabrication d'un revêtement routier comprenant les étapes suivantes : (a) la mise sous forme de granules de bardeaux d'asphalte (2,54 cm maximum de diamètre), (b) l'ajout et le mélange de granulats ou d'autres matières recyclés aux granules de bardeaux d'asphalte, (c) l'ajout et le mélange d'un émulsifiant au mélange obtenu à l'issue de l'étape (b), le chauffage du mélange ci-dessus, (d) l'épandage et le

compactage du mélange afin de former un revêtement routier. Ce document décrit ainsi un revêtement pouvant comprendre en poids 0 à 95% d'agrégats d'enrobé (AE), 5 à 95% de granules de bardeaux d'asphalte, 0,01 à 0,3% d'un émulsifiant et 1 à 10% d'une huile régénérante.

Ce document décrit ainsi un procédé de recyclage de chaussées vieilles ou de recyclage de bardeaux d'asphalte complet nécessitant l'emploi d'une huile régénérante permettant de modifier la rhéologie des enrobés comprenant des BAR. La viabilité de cette technique est ainsi fortement liée à l'effet régénérant de l'huile qui peut-être variable. De plus, la densité relative du bardeau complet nuit fortement à l'obtention de bonne densité et ainsi risque de réduire fortement les performances mécanique de l'enrobé ainsi obtenu.

Le document US 5,217,530 décrit un revêtement d'enrobé comprenant 3 à 8 parties en poids de liant bitumeux, 62 à 96 parties en poids de granulats, et environ 0,5 à 30 parties en poids de bardeaux d'asphalte recyclés. Il est indiqué que ces bardeaux d'asphalte comprennent des charges stabilisantes (40 à 70% en poids par rapport au poids des bardeaux d'asphalte), ainsi que des fibres de renforcement (5 à 15% en poids par rapport au poids des bardeaux d'asphalte) améliorant les performances du revêtement d'enrobé. Les bardeaux d'asphalte présentent une taille inférieure à 1 mm et de préférence une taille entre 0,21 et 0,85 mm.

Ce document décrit procédé de recyclage de chaussées vieilles ou de recyclage de bardeaux d'asphalte complet présentant les inconvénients associés à la densité relative du bardeau complet lorsque ce dernier est incorporé à de fort pourcentage. Il semble aussi que le bardeau doit être non seulement déchiqueté, mais aussi broyé de façon à obtenir de très fines particules, ce qui est difficile à mettre en œuvre. Ce document n'indique pas comment cette étape est réalisée. En outre, ce document ne mentionne pas les propriétés mécaniques des enrobés ainsi produits.

Il existe donc un besoin réel de valoriser les vieux bardeaux d'asphalte et de fournir notamment une composition d'enrobé alternative permettant d'éviter tout ou partie des inconvénients précités.

En particulier, il est souhaitable de fournir une composition d'enrobé comprenant des bardeaux d'asphalte en quantité importante, qui n'entraîne pas de modifications des propriétés mécaniques et rhéologiques dudit enrobé, à savoir qu'il ne soit pas cassant malgré sa haute teneur en bardeaux d'asphalte.

Résumé de l'invention

A cet effet, la présente invention a pour objet un enrobé bitumeux comprenant un liant bitumineux vierge et des granulats minéraux naturels comportant des fines, des gravillons et du sable naturels, caractérisé en ce que l'enrobé comprend du sable de bardeaux issu de bardeaux d'asphalte présentant la composition suivante, en poids, par rapport au poids total dudit sable de

bardeaux: de 13 à 50% de bitume, de 50 à 85% de charge minérale présentant une granulométrie égale ou inférieure à 2,5 mm et moins de 2% (borne comprise) de fibres de verre ou de cellulose.

Pour le reste de la description, à moins qu'il n'en soit spécifié autrement, l'indication d'un intervalle de valeurs « de X à Y » ou « entre X et Y », dans la présente invention, s'entend comme incluant les valeurs X et Y.

Selon l'invention, le sable de bardeaux est issu du criblage des produits de déchiquetage de bardeaux d'asphalte complets tels que décrits ci-dessus.

Selon l'invention, la dimension d'une particule, et plus généralement d'un constituant d'un mélange granulaire, correspond à son diamètre si ce constituant est de forme sphérique. Si le constituant n'a pas une forme sphérique, sa dimension correspond à la longueur de son axe primaire, c'est-à-dire la plus longue ligne droite qui peut être dessinée entre une extrémité de ce constituant et une extrémité opposée.

Egalement, selon l'invention, on entend par « bitume », un composé susceptible de durcir et de lier entre eux des matériaux granulaires.

Par granulats minéraux naturels (gravillons, sables ou fines naturels), on entend des granulats non issus de matériaux recyclés, à savoir d'agrégats d'enrobé ou de bardeaux d'asphalte.

La présente invention a également pour objet un procédé de préparation de la composition d'enrobé bitumineux décrite ci-dessus, comprenant les étapes suivantes :

(a) on chauffe les granulats minéraux naturels à une température allant de 150 à 200°C, typiquement de l'ordre de 180°C

(b) on incorpore les sables de bardeaux au mélange précédent,

(c) on ajoute le liant bitumeux vierge à une température allant par exemple de 120°C à 190°C,

(d) on malaxe le mélange obtenu à l'étape (c), de sorte à obtenir une composition d'enrobé.

Un autre objet de l'invention est un revêtement bitumineux obtenu à partir de la composition d'enrobé bitumineux décrite ci-dessus.

Enfin, la présente invention a pour objet un procédé de mise en œuvre d'un revêtement bitumineux, comprenant les étapes successives suivantes :

(i) on prépare une composition d'enrobé bitumineux selon les étapes définies ci-dessus;

(ii) on répand la composition d'enrobé bitumineux issu de l'étape (i) ;

(iii) on compacte le mélange répandu, et

(iv) on laisse refroidir le mélange compacté.

Sur le dessin :

- la figure 1 représente le résultat des essais de retrait thermique empêché pour des compositions d'enrobé selon l'invention comprenant 3% de sable de bardeaux avec

différents pourcentages en poids de bitume vierge : 5,45%, 5,21% et de 5,08%, et pour une composition d'enrobé selon l'art antérieur ne comprenant pas de sable de bardeaux ;

- la figure 2 représente le résultat des essais de retrait thermique empêché pour des compositions d'enrobé selon l'invention comprenant 15% de sable de bardeaux avec différents pourcentages en poids de bitume vierge : 5,45%, 5,24% et de 5,08%, et pour une composition d'enrobé selon l'art antérieur ne comprenant pas de sable de bardeaux ;

- la figure 3 représente le résultat des essais de retrait thermique empêché pour des compositions d'enrobé selon l'invention comprenant 15% de sable de bardeaux avec différents pourcentages en poids de bitume vierge : 5,45% et 5,08%, et pour une composition d'enrobé selon l'art antérieur ne comprenant pas de sable de bardeaux ;

- la figure 4 représente le résultat des essais de mesure de fatigue selon l'essai mis au point par le Département de génie civil et de bâtiment (DGCB) de l'École nationale de travaux publics de l'état (l'ÉNTPE) en France pour des compositions d'enrobé selon l'invention comprenant 4% ou 15% de sable de bardeaux, et pour une composition d'enrobé selon l'art antérieur ne comprenant pas de sable de bardeaux.

- la figure 5 représente le résultat des essais de mesure de fatigue selon l'essai mis au point par le Département de génie civil et de bâtiment (DGCB) pour une composition d'enrobé selon l'invention comprenant 15% de sable de bardeaux, et pour une composition d'enrobé selon l'art antérieur ne comprenant pas de sable de bardeaux ; et

- la figure 6 représente le résultat des essais de mesure d'orniérage selon la norme NF EN 12697-22 (profondeur d'ornières en mm en fonction du nombre de cycles d'orniérage) pour des compositions d'enrobé selon l'invention comprenant 15% de sable de bardeaux avec différents grades de bitumes, et pour des compositions d'enrobé selon l'art antérieur ne comprenant pas de sable de bardeaux.

Description détaillée de l'invention

Le Demandeur s'est attaché au développement d'une nouvelle composition d'enrobé permettant de diminuer la consommation de matières premières et notamment la quantité de bitume vierge et de sable dans les compositions d'enrobé, tout en permettant d'obtenir un enrobé présentant de bonnes propriétés mécaniques, comme une bonne résistance à la fatigue ou à l'orniérage tout en étant résistant aux basses températures.

Le Demandeur a montré qu'un enrobé bitumineux comprenant du sable de bardeaux issu de bardeaux d'asphalte recyclés était utilisable dans le domaine des revêtements routiers et permettait notamment de remplacer une partie du bitume vierge (bitume neuf), et une partie de la fraction granulaire 0-2.5mm dans les compositions d'enrobés.

Le Demandeur a démontré que de manière surprenante, il est possible de réaliser des enrobés comprenant de forte teneur en sable de bardeaux sans que cela n'affecte les propriétés

mécaniques de l'enrobé final au cours du temps, voire il a démontré qu'un enrobé selon l'invention comprenant 15% de sable de bardeaux d'asphalte avait une durée de vie améliorée par rapport à un enrobé de référence selon l'art antérieur ne comprenant pas de sable de bardeaux : les valeurs de résistance à la fatigue obtenues en laboratoire pour un enrobé modifié au sable de bardeaux d'asphalte sont de l'ordre de 30 fois celles obtenues pour un enrobé classique à une déformation imposée de forme sinusoïdale d'une fréquence de 10 Hz à une température de 10°C pour une déformation imposée de 200µdef jusqu'à une perte de module de rigidité de 50 %.

De façon surprenante, la caractérisation en laboratoire des propriétés mécaniques de formulation d'enrobé contenant au-delà de 10% de sable de bardeaux d'asphalte a permis de déterminer que l'orniérage, la fissuration thermique et le module de rigidité de l'enrobé étaient proche des valeurs normalement obtenue pour la même formulation sans recyclage.

En outre, ce même enrobé permet de réaliser des couche de fondation de plus faible épaisseur par rapport à l'enrobé de référence (12 cm au lieu de 20 cm) et ce, pour une même durée de service.

L'enrobé selon l'invention présente ainsi l'avantage de revaloriser des déchets de l'industrie, tout en présentant les qualités requises d'un enrobé classique.

Ainsi, la présente invention a pour objet un enrobé bitumineux comprenant un liant bitumineux vierge et des granulats minéraux naturels comportant des fines, du sable et des gravillons, caractérisé en ce que l'enrobé comprend du sable de bardeaux de granulométrie égale ou inférieure à 2,5 mm, de préférence égale ou inférieure à 1mm, issu de bardeaux d'asphalte, dit « sable de bardeaux » dans la suite de la description. L'enrobé est notamment caractérisé en ce qu'il comprend du sable de bardeaux issu de bardeaux d'asphalte présentant la composition suivante, en poids, par rapport au poids total dudit sable de bardeaux: de 13 à 50% de bitume, de 50 à 85% de charge minérale présentant une granulométrie égale ou inférieure à 2,5 mm et moins de 2% de fibres de verre ou de cellulose.

Tel qu'indiqué ci-dessus, les particules de bardeaux d'asphalte complet/brut comprennent typiquement :

- 25 % à 30 % de bitume;
- 25 % à 30 % de filler (environ 90 % passant le tamis 0,15 mm et 70 % passant le tamis 0,08 mm) ;
- 30 % à 35 % de granulats minéraux (sable concassé);
- 5 % à 10 % de fibres de cellulose, de fibres de verre ou de fibres de feutre.

Ces particules habituellement utilisées sont issues du broyage/déchetage de bardeaux d'asphalte et présentent une dimension maximale de l'ordre de 12,5 mm.

L'enrobé selon l'invention ne comprend ainsi que la fraction sable/filler enrobé de bitume d'un bardeau d'asphalte, à savoir il est exempt de granulats minéraux présentant un diamètre moyen supérieur à 2,5 mm et de fibres de verre ou de cellulose/feutre, hormis à l'état de traces.

Généralement, le sable de bardeaux comprend en poids par rapport à son poids total: de 20 à 40%, de préférence de 20 à 30% et en particulier de 20% de bitume, et de 60 à 80%, de préférence de 70 à 80% et en général de 80% de charge minérale (sable/filler) présentant une granulométrie égale ou inférieure à 2,5 mm.

5 Par exemple, de manière à obtenir les sables de bardeaux selon l'invention, les particules de bardeaux bruts habituellement utilisées subissent un traitement supplémentaire. Elles sont généralement cribler de sorte à séparer les agglomérations fibres/bitume du sable de bardeaux. Ensuite, contrairement à la pratique actuelle de recyclage de bardeaux, seul le sable de bardeaux est recyclé dans l'enrobé selon l'invention afin de favoriser l'obtention d'un mélange complètement
10 homogène de densité comparable, voire supérieure au enrobés classiques.

De préférence, l'enrobé bitumineux comprend, en poids, par rapport à son poids totale de 3 à 50 % de sable de bardeaux, de manière encore plus préférée 5 à 20% de sable de bardeaux et typiquement de 6 à 15% de sable de bardeaux. En effet, et comme cela est démontré dans la partie exemple ci-dessous, de par leurs caractéristiques, le sable de bardeaux peut représenter
15 une forte teneur en masse de l'enrobé bitumineux.

Même à de telles proportions de recyclage, l'emploi de sable de bardeaux permet d'obtenir, pendant le malaxage, une composition d'enrobé homogène et dense, alors que l'incorporation des agglomérations fibres/bitume aurait pu nuire à une bonne homogénéité de l'enrobé final et également aurait pu nuire, voire empêcher une densification suffisante pour fournir des
20 performances mécaniques similaires aux enrobés classiques. Ce problème ne se rencontre pas dans le cas de recyclage de bardeaux d'asphalte complets selon l'art antérieur, c'est-à-dire avec agglomérations fibre/bitume, dans la mesure où le taux de recyclage est faible, de l'ordre de 0 à 5 %.

En outre, selon l'invention, la densité relative du sable de bardeaux est du même ordre que
25 la densité relative d'un agrégat d'enrobé AE, alors que la densité relative du bardeau d'asphalte complet (c'est-à-dire sable de bardeaux avec les flocons de fibres/cellulose) est beaucoup plus basse. La teneur en agglomération de particule de fibres/bitume est de l'ordre de 20 % en poids de la composition complète d'un bardeau d'asphalte et les flocons de fibres/bitume ont une densité relative de moins de 1.

30 Par conséquent, le sable de bardeau permet d'obtenir un enrobé final présentant une densité adéquat et ainsi de bonnes performances mécaniques.

En générale, l'enrobé bitumineux selon l'invention ne comprend pas de liant ou d'huile régénérante. En effet, il n'est pas nécessaire d'ajouter une huile régénérante afin d'obtenir un enrobé malléable lors de sa mise en œuvre et présentant des propriétés finales adéquates.

35 Par exemple, l'enrobé bitumineux selon l'invention, comprend en poids par rapport au poids total de l'enrobé bitumineux :

- de 1 à 10%, de préférence de 1 à 5% de liant bitumineux vierge

- de 3 à 50%, de préférence de 3 à 20% de sable de bardeaux, et
- de 40 à 97 %, de préférence de 75 à 97%, de granulats minéraux.

Le bitume provenant du sable de bardeaux permet de remplacer une certaine quantité de bitume vierge à la formule de l'enrobé comparativement à ce même enrobé si celui-ci ne contiendrait pas un ajout de sables de bardeaux.

Comme le montre les essais ci-dessous, le degré de remplacement en bitume vierge avec le bitume provenant du sable de bardeaux diminue en fonction du pourcentage d'ajout de sable de bardeaux. Ainsi, en augmentant la teneur en sable de bardeaux, il semble que la partie mortier de l'enrobé se transforme en un mélange de sable minéral/sable bardeaux (enrobé d'un bitume dur) le tout enrobé d'un bitume neuf (ou bitume vierge, à savoir un bitume non recyclé/utilisé et donc exempt de sables ou autres mélange granulaire) ayant des caractéristiques techniques proche du liant initial.

En particulier, les enrobés selon l'invention présentent des teneurs en bitume total (bitume vierge + bitume présent dans les sables de bardeaux) de l'ordre de 8 à 10% en poids par rapport au poids total de l'enrobé.

Cette forte teneur en bitume peut être séparée en une composante dure (3 à 5 %) provenant du sable de bardeaux et une composante molle (par exemple de l'ordre de 5 %) provenant du liant neuf.

Ainsi la résistance à la fatigue est fortement augmentée sans toutefois réduire la performance de l'enrobé en termes de résistance à l'orniérage, de résistance à la fissuration thermique et de module de rigidité.

Dans le cadre de la présente invention, le bitume vierge, voire également le bitume présent dans le sable de bardeaux, sont généralement un mélange de matières hydrocarbonées naturelles issues de la fraction lourde obtenue lors de la distillation du pétrole, ou provenant de gisements naturels se présentant sous forme solide ou liquide, de densité relative généralement comprise entre 0,8 et 1,2. Il peut être préparé par toute technique conventionnelle.

De préférence, le bitume vierge pourra notamment être choisis parmi les bitumes présentant un grade de 46-40, 52-40, 58-40, 46-34, 52-34, 58-34, 64-34, 58-28, 64-28, 70-28, 76-28, 64-22, 70-22, 76-22 ou un de leurs mélanges en toutes proportions. Ces classes normalisées correspondent à des grades déterminées selon la méthode AASHTO M 320.

Typiquement, le bitume vierge convenant pour la présente invention présente un grade 58-28 ou 52-34 ou leur mélange.

Le bitume vierge peut également être choisi parmi des bitumes purs ou modifiés par exemple les bitumes modifiés par incorporation d'additifs de toute nature, tels que des additifs en vue d'améliorer les caractéristiques d'adhésivité ou la tenue mécanique sous trafic élevé ou agressif. On peut citer les bitumes améliorés par incorporation d'élastomères synthétiques ou

naturels de type poudre de caoutchouc (polybutadiène, caoutchouc styrène-butadiène ou SBR). Il est également possible d'utiliser des mélanges de bitumes de différents types.

Préférentiellement, l'élastomère est un copolymère styrène-butadiène-styrène, de styrène-butadiène, ou de styrène-isoprène-styrène.

5 Selon l'invention, le terme « granulat naturel » désigne un granulat n'ayant subi aucune déformation autre que mécanique. Le terme « agrégats d'enrobés » désigne un granulat provenant de produits de démolition (comme des enrobés d'anciennes chaussées qui ont été concassés et/ou fraisés). Les granulats utilisés peuvent être des granulats routiers, répondant aux normes : NF EN 13043 en Europe et ASTM C33 en Amérique du Nord.

10 En général, les granulats naturels selon l'invention peuvent être, sans limitation, du gravier, des gravillons, des sables, des fillers, des sablons (sables à grains très fins), des poussières ou un de leurs mélanges.

Les fillers, également appelés fines, correspondent à une poudre minérale présentant généralement une granulométrie inférieure à 63 μm , tandis que les sables correspondent généralement à toute roche à l'état de petits grains non liés présentant une dimension allant jusqu'à 5 mm. La proportion de fines ou de sables dans la fraction granulaire sera adaptée par l'homme du métier.

20 Ces granulats ont en général une masse volumique réelle mesurée selon la norme NF EN 1097-6 supérieure à 2000 kg/m^3 et même supérieure à 2500 kg/m^3 et une densité relative en vrac mesurée selon la norme NF EN 1097-3 comprise entre 1,2 à 1,7 granulaires s'entendent au sens de la norme XP P18-545.

Avantageusement, lesdits granulats minéraux comprennent en poids par rapport à son poids :

- de 1 à 20% de fines de diamètre inférieur ou égale à 80 μm ;
- 25 - de 30 à 70% de gravillons fins de diamètre allant de 2,5 et 5mm ;
- de 20 à 69% de gros gravillons de diamètre allant de 5 à 10 mm.

Typiquement, lesdits granulats minéraux comprennent en poids par rapport à son poids :

- de 4 à 10% de fines de diamètre inférieur ou égale à 80 μm ;
- de 42 à 61% de gravillons fins de diamètre allant de 2,5 et 5mm ;
- 30 - de 29 à 58% de gros gravillons de diamètre allant de 5 à 10 mm.

Selon une caractéristique de l'invention, le liant vierge comprend un élastomère. Selon une autre caractéristique de l'invention, le liant vierge peut-être pur ou modifié, i.e. il ne comprend pas nécessairement un élastomère.

35 Selon une autre caractéristique de l'invention, la composition d'enrobé comprend en outre des agrégats d'enrobés (AE).

De préférence, l'agrégat d'enrobé AE représente de 0 à 40%, typiquement de 10 à 20% en poids du poids total de l'enrobé selon l'invention.

La présente invention a également pour objet, un procédé de préparation d'un enrobé bitumineux selon l'une quelconques de revendications précédentes, comprenant les étapes suivantes :

(a) on chauffe les granulats minéraux naturels à une température allant de 150 à 200°C, typiquement de l'ordre de 180°C

(b) on incorpore les sables de bardeaux au mélange précédent,

(c) on ajoute le liant bitumeux vierge à une température allant par exemple de 130°C à 190°C pour les enrobés à chaud et de 120°C à 155°C pour les enrobés tièdes,

(d) on malaxe le mélange obtenu à l'étape (c).

L'enrobé selon l'invention comprend ainsi tout d'abord une étape de chauffage des granulats naturels à des températures supérieures à 150°C, puis, le sable de bardeaux et le bitume vierge sont incorporés au mélange et malaxés afin d'obtenir un mélange homogène.

Un autre objet de la présente invention concerne un revêtement bitumineux obtenu à partir d'un enrobé bitumineux tel que définie ci-dessus.

Egalement, la présente invention a trait à un procédé de mise en œuvre d'un revêtement bitumineux défini ci-dessus, comprenant les étapes successives suivantes :

(i) on prépare un enrobé bitumineux tel que décrit ci-dessus ;

(ii) on répand l'enrobé bitumineux issu de l'étape (i) ;

(iii) on compacte le mélange répandu, et

(iv) on laisse refroidir le mélange compacté.

Le procédé de fabrication est connu de l'homme du métier. L'enrobé selon l'invention est fabriqué à des températures supérieures à 150°C pour un enrobé à chaud ou à des températures supérieures à 125°C pour des enrobés tièdes. L'enrobé est ensuite répandu sur les chaussées en une ou plusieurs couches d'épaisseur variable suivant le type de trafic routier prescrit, puis compactés entre 130 °C et 160 °C pour les enrobés à chaud ou 110 °C et 130 °C pour les enrobés tièdes. L'effet de prise est alors réalisé dès le refroidissement du mélange à des températures inférieures à 50 °C. La mise en circulation sur la chaussée de l'enrobé bitumineux est alors envisageable.

Ce procédé permet de fabriquer des enrobés présentant d'excellentes propriétés mécaniques en termes : de souplesse, de résistance à l'orniérage, à l'arrachement ou de résistance en fatigue, de tenue ou encore de cohésion de la surface.

Les exemples suivants, non limitatifs, illustrent la présente invention. A moins qu'il ne soit indiqué autrement dans les exemples, les pourcentages sont exprimés en poids.

Exemples

1. Procédures d'essai

5 Les procédures d'essais suivants ont été utilisées afin d'évaluer les caractéristiques du mortier-colle de l'invention :

a) Essais de retrait thermique empêché (TSRST)

10 Le principe de l'essai de retrait thermique empêché est décrit dans la norme AASHTO TP10-93 (Standard Test Method for Thermal Stress Restrained Specimen Tensile Strength). Les essais de retraits thermiques empêchés donne de l'information quant à la température à laquelle la contrainte interne dans l'enrobé est trop grande et qu'il y a fissuration de l'enrobé.

15 L'essai consiste à empêcher la déformation axiale d'une éprouvette d'enrobé (hauteur constante) pendant que la température de son environnement diminue progressivement. Le refroidissement incitera l'éprouvette à se contracter, mais la machine l'empêchera de se déformer. Des contraintes de tension se développent alors au sein de l'éprouvette et entraînent une rupture par retrait thermique empêché. La température à la rupture, ainsi que la contrainte correspondante, est déterminée.

20 Dans le cas présent, les enrobés sont conditionnés à 5°C durant 4 heures. Par la suite la température de l'enceinte est diminuée graduellement de 10°C à l'heure.

25 Les essais ont été réalisés à l'aide d'une presse hydraulique MTS 810 équipée d'une chambre thermique réglable. La chambre permet un refroidissement par un système mécanique jusqu'à -40 °C. Au-delà de cette température, il est nécessaire d'utiliser de l'azote liquide. La température haute de la chambre peut atteindre +60 °C. Au cours de l'essai, la température est mesurée directement à la surface de l'éprouvette et le contrôle du taux de refroidissement de la chambre est conditionné par la température de surface de l'éprouvette. Une valeur moyenne, des mesures des trois sondes thermiques utilisées, est considérée comme la température de surface de l'éprouvette.

30 Trois extensomètres sont placés sur l'éprouvette pour mesurer les déplacements axiaux. Ces extensomètres sont positionnés sur trois génératrices axiales espacées de 120° autour de l'éprouvette. Pendant l'essai de retrait thermique empêché, les extensomètres contrôlent la hauteur de l'éprouvette. Les éprouvettes testées ont une forme cylindrique. Le diamètre de la section est de 60 mm et la hauteur de l'éprouvette est de 250 mm.

35 Chaque extensomètre touche la surface de l'éprouvette en deux points de contact à l'aide de deux lames métalliques. Ces lames se déplacent suivant les déformations axiales subies par l'éprouvette. La distance entre les deux lames est de 165 mm dans le cas des essais de retrait

thermique empêché. Les mesures de déformation sont donc effectuées seulement dans la partie centrale de l'éprouvette, située entre les deux lames de contact, afin d'éliminer les effets de bord.

b) Essais de fatigue

5

Le phénomène de fatigue d'un matériau est la perte de rigidité de celui-ci, pouvant aller jusqu'à la rupture, suite à la déformation de ce matériaux de façon répétée. La déformation imposée est nécessairement plus petite que la déformation résultant à la rupture instantanée du matériau. Comme aucune méthode d'essai n'est encore établie par le Ministère des Transports du Québec, l'essai en traction compression développé par au Département de génie civil et de bâtiment (DGCB) de l'École nationale de travaux publics de l'état (l'ÉNTPE) en France a été utilisé pour la présente invention.

10

L'essai consiste à soumettre une éprouvette cylindrique à des sollicitations répétées de Traction-Compression (NF EN 12697-2). Elle permet entre autres de prédire la valeur de la durée de vie d'une éprouvette à partir d'un nombre de cycles de sollicitation restreint (300 000 cycles).

15

Pour la réalisation des mesures de fatigue, l'essai de Traction-Compression alternées a été mis en œuvre. Une presse hydraulique MTS a également été utilisée pour ces essais.

20

L'éprouvette d'enrobé a une forme cylindrique avec un diamètre de 80 mm et une hauteur de 120 mm. Elle est sollicitée selon son axe de révolution et sujette à une sollicitation cyclique sinusoïdale en force ou en déplacement. L'avantage principal de cet essai est l'état homogène des champs de contrainte et de déformation, signifiant que le couple de la contrainte et la déformation (σ , ϵ) est identique à tout point de l'éprouvette.

25

Le système de mesures des déformations axiales est composé de trois extensomètres. Ces extensomètres sont semblables à ceux utilisés pour les essais de retrait thermique empêché. La distance entre les lames de contact pour cet essai est de 50 mm. La valeur de la déformation est calculée directement à partir de la mesure de déplacement des lames de contact. Elle est égale au déplacement divisé par la distance entre les lames de 50 mm.

30

La mesure des modules rigidité est effectuée dans le domaine des petites déformations. La déformation imposée est de forme sinusoïdale et d'une fréquence de 10 Hz à une température de 10°C. Ces sollicitations sont imposées jusqu'à rupture du matériau, c'est-à-dire jusqu'à une perte de module de rigidité d'au moins 50%.

c) Résumé des essais TSRST et de fatigue

35

Les conditions des essais sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Essai	Norme/méthode	Dimensions des éprouvettes		Conditions d'essai
		D (mm)	L (mm)	
Retrait thermique empêché	AASHTO TP 10-93	60	250	• Pré-conditionnement à force nulle pendant 4 heures à 5°C. • Taux de variation de la température pendant le retrait empêché: 10°C/heure • Aucune sollicitation mécanique n'est appliquée
Essai de fatigue	DGCB (NF EN 12697-2)	80	120	• Chargement cyclique sinusoïdal • Traction/compression alternée ($\epsilon_{moyen} = 0$) • Mode: déformation imposée d'une amplitude de 50 μdef • Période de mise en température (hre): 6 • T°essais (°C): 35; 20; 10; 0; -10; -25; -35 • Fréquences (Hz): 10

d) Essais d'orniérage (norme NF EN 12697-22)

5 L'essai d'orniérage indique si un enrobé est résistant aux grandes déformations imposées par des charges répétées comparables aux sollicitations sur route.

Le principe de l'essai consiste à mesurer la profondeur de l'ornière (sans le bourrelet) en fonction du nombre de cycles (aller et retour) en pourcentage de l'épaisseur de la dalle.

Les conditions de l'essai sont régies par le type de mélange testé et le bitume vierge qui le compose. En particulier, elles sont les suivantes :

- 10
- 15
- pression du pneumatique : $P = 600 \pm 30$ kPa
 - charge roulante appliquée : $F = 5000 \text{ N} \pm 50 \text{ N}$
 - fréquence du roulement relatif : 1 Hz $\pm$ 0,1 Hz
 - température de l'essai : les éprouvettes sont conditionnées à 58°C ;
 - profondeur d'ornière mesurée à 1000, 3000 et 10 000 ;
 - les dalles soumises à l'essai d'orniérage sont de 50 mm d'épaisseur ;
 - le bitume vierge utilisé est de grade PG 58-28.

2. Matières premières

20 Les matières premières suivantes ont été testées pour réaliser les compositions d'enrobé selon l'invention :

Bitume vierge	Bitume de grade PG 58-28 ou 52-34
Granulats vierges	Carrière de Saint-Isidore de granulométrie 0-2,5 mm ; 0-5 mm et 5-10 mm
Sable de bardeaux	Issu de bardeaux d'asphalte ayant été broyés, puis criblés afin d'éliminer les fibres de verre ou de cellulose

Répartition granulométrique des granulats minéraux vierges utilisés pour les essais :

Classe	ID	Provenance	14	10	5	2,5	1,25	630	315	160	80
0-5	CL	St-Isidore	100	100	90	60	35	21	11	5	2
0-5	Sable de bardeaux	St-Isidore	100	100	100	97	77	49	38	29	21,3
Formule			100	100	92	66	41	25	15	9	4,9

5 Pour l'essai d'orniérage, l'enrobé sans sable de bardeaux selon l'invention a été fabriqué en utilisant les coupures granulaires 5-10, 0-5, 0-2.5 mm dans les proportions respectives de 47, 38 et 15%. La teneur en bitume pour ce mélange est de 5.45%. Pour tous les mélanges avec sable de bardeaux, une portion de la coupure granulométrique 0-2.5 mm a été remplacée par le sable de bardeaux. Les autres coupures sont restées dans les mêmes proportions.

3. Compositions des différents enrobés testés

10 Les compositions d'enrobés suivantes ont été utilisées pour réalisées :

a) *Essais de retrait thermique empêché TSRST (enrobés n°1 à 9)*

N. de l'enrobé	Nom de l'enrobé	% de sable de bardeaux	% de bitume vierge BV	% de bitume provenant du SdeB	% de bitume total	% de granulats minéraux
1	3%SdeB + 5,45BV 58-28	3	5,45	0.6	6.05	93.95
2	3%SdeB + 5,08BV 58-28	3	5,08	0.6	5.68	94.32
3	3%SdeB + 5,21BV 58-28	3	5,21	0.6	5.81	94.19
4	0%SdeB + 5,45BV 58-28	0	5,45	0	5,45	94,55
5	15%SdeB + 5,45BV 58-28	15	5,45	3.0	8.45	91.55
6	15%SdeB + 3,24BV 58-28	15	5,24	3.0	8.24	91.76
7	15%SdeB + 5,08BV 58-28	15	5,08	3.0	8.08	91.92
8	15%SdeB + 5,08BV 52-34	15	5,08	3.0	8.08	91.92
9	15%SdeB + 4,96BV 52-34	15	4,96	3.0	7.96	92.04

15 Des essais TSRST ont été réalisés sur un enrobé de référence n°4. Les résultats de ces essais sur l'enrobé 4 de référence serviront de comparatifs.

Pour cet enrobé 4 de référence, toutes les éprouvettes testées comprenaient 5.45% de bitume vierge. La compacité visée des éprouvettes était de 95%. La compacité moyenne obtenue est de 96.2%. Cette compacité a été mesurée par pesée hydrostatique.

Des essais TSRST ont aussi été réalisés sur les enrobés comprenant 3% de sable de bardeaux. Pour les enrobés avec 3% de sable de bardeaux, le bitume vierge de grade PG 58-28 a été ajouté à trois taux différents, 5.45, 5.21 et 5.08% (respectivement enrobés n°1, 2 et 3). D'un point de vue bitume de remplacement de bitume vierge, cela représente 0, 40 et 60% respectivement du bitume disponible dans le sable de bardeau. Les granulats provenant du sable de bardeaux sont directement retranchés de la coupure granulométrique 0-2.5mm de la formule initiale.

Des essais TSRST ont été réalisés sur les enrobés comprenant 15% de sable de bardeaux avec un bitume vierge de grade PG 58-28. Pour les enrobés avec 15% de sable de bardeaux, le bitume vierge de grade PG 58-28 a été ajouté à trois taux différents, 5.45, 5.21 et 5.08% de bitume vierge (respectivement enrobés 5, 6 et 7). D'un point de vue bitume de remplacement de bitume vierge, cela représente 0, 8 et 12% respectivement du bitume disponible dans le sable de bardeau. Ce bas taux de bitume de remplacement a été choisi compte tenu de la haute teneur en sable de bardeaux de 15%. Les granulats provenant du sable de bardeaux sont directement retranchés de la coupure granulométrique 0-2.5mm de la formule initiale.

Il a été remarqué que les enrobés avec 15% de sable de bardeaux sont toujours plus compactés que l'enrobé de référence malgré toutes les précautions prises. Les teneurs en vides des enrobés avec 15% de sable de bardeaux sont autour de 1 à 2% seulement.

Enfin, un autre enrobé, avec 15% de sable de bardeaux mais au bitume 58-34 a été fabriqué. Les éprouvettes ont été fabriquées de la même façon que les éprouvettes avec 15% de sable de bardeaux au 58-28, mais cette fois en utilisant un bitume de grade PG 52-34. Deux teneurs en bitume vierge ont été réalisées, 5.08 et 4.96%, donnant respectivement un remplacement de bitume vierge de 12 et 16% du bitume disponible dans le sable de bardeau (respectivement enrobés 8 et 9).

b) Essais de résistance à la fatigue (enrobés n° 4, 10 et 11)

N. de l'enrobé	Nom de l'enrobé	% de sable de bardeaux	% de bitume vierge BV	% de bitume provenant du sable de bardeaux	% de bitume total	% de granulats minéraux
4	0%SdeB + 5,45BV 58-28	0	5,45	0	5,45	94,55
10	15%SdeB + 5,21BV 58-28	15	5,21	3,00	8,21	91.79
11	4%SdeB + 5,00BV 58-28	4	5,00	0,80	5,80	94.20

Les enrobés qui ont été retenus pour réaliser les essais de fatigue sont l'enrobé de référence 4 et l'enrobé avec 4% et 15% de sable de bardeaux (enrobés n°10 et 11).

Les éprouvettes ont été fabriquées à partir d'une grosse plaque d'enrobé de 75 kg. L'enrobé 4 de référence comprends 5,45% de bitume vierge de grade 58-28. L'enrobé 11 avec 4% de sable de bardeaux a été fabriqué en utilisant 5.00% de bitume vierge de grade 58-28, tandis que l'enrobé 10 avec 15% de sable de bardeaux a été fabriqué avec 5,21% de bitume vierge de grade 58-28.

Les éprouvettes préparées et testées en fatigue ont une compacité élevée, autour de 98% en moyenne. Lors de la fabrication des plaques servant à préparer les éprouvettes, il a été observé que la compaction était très facile et rapide.

c) Essais d'orniérage

N. de l'enrobé	Nom de l'enrobé	% de sable de bardeaux	% de bitume vierge BV	% de bitume provenant du sable de bardeaux	% de bitume total	% de granulats minéraux
4	0%SdeB + 5,45BV 58-28	0	5,45	0	5,45	94,55
12	0%SdeB + 5,45BV 52-34	0	5,45	0	5,45	94,55
13	0%SdeB + 5,08BV 52-34	0	5,08	0	5,08	94,92
10	15%SdeB + 5,21BV 58-28	15	5,21	3,00	8,21	91.79
14	15%SdeB + 5,45BV 52-34	15	5,45	3.00	8.45	91.55

Les enrobés présentant 15% de sable de bardeaux, déjà testés au TSRST et en fatigue, ont été testés ensuite à l'essai d'orniérage.

Pour tous les mélanges avec sable de bardeaux, la coupure granulométrique 0-2.5 mm a été remplacée par le sable de bardeaux. Les autres coupures sont restées dans les mêmes proportions.

Les enrobés 4, 12 et 13 sans sable de bardeaux ont été fabriqués en utilisant les coupures granulaires 5-10, 0-5, 0-2.5 mm dans les proportions respectives de 47, 38 et 15%. La teneur en bitume étant de 5,45% (enrobés 4 et 12) ou 5,08% (enrobé 13).

L'enrobé 10 avec 15% de sable de bardeaux a été formulé en utilisant 5,21% de bitume vierge. En incorporant 15% de sable de bardeaux et 5.21% de bitume vierge, la teneur total en

bitume de cette enrobé devient donc de 8,26%. L'enrobé 14 avec 15% de sable de bardeaux été formulé en utilisant 5,45% de bitume vierge de grade 52-34.

4. Résultats

a) Essais TSRST (figures 1 à 3)

Comme le montrent les figures 1 à 3 et le tableau ci-après, les résultats d'essais sur l'enrobé de référence sans sable de bardeaux avec 5.45% de bitume 58-28 sont en moyenne de -30.4°C. Ce résultat est un résultat normal attendu pour un enrobé fabriqué avec ce type de bitume.

Les essais TSRST ont démontré que pour tous les enrobés 1 à 3 avec 3% de sable de bardeaux testés, les résultats de TSRST sont tous semblable à l'enrobé de référence sans sable de bardeaux. Ainsi, en incorporant 3% de sable de bardeaux tout en retranchant 0,37% de bitume vierge, les enrobés bitumineux 1 à 3 rupturent à la même température que l'enrobé de référence soit, -30°C.

N° d'enrobé	Bitume vierge (%)	Grade PG du bitume vierge	Sable de bardeaux (%)	% de bitume total	Température à la contrainte maximale (°C)	Contrainte maximale (MPa)	Compacité (%)
1	5.45	58-28	3	6.05	-31.0	4.1	97.6
2	5.08	58-28	3	5.68	-30,2	3.8	96.8
3	5.21	58-28	3	5.81	-29.6	3.7	97.3
4	5.45	58-28	0	5.45	-30.4	3.3	96.2
5	5.45	58-28	15	8.45	-28.2	3.5	99.2
6	5.21	58-28	15	8.21	-29.1	3.7	98.9
7	5.08	58-28	15	8.08	-25.5	3.2	98.6
8	5.08	52-34	15	8.08	-32.1	4.0	99.1
9	4.96	52-34	15	7.96	-31.2	4.2	99.1

Les résultats TSRST ont démontrés que le comportement pour les enrobés 5 à 7 avec 15% de sable de bardeaux à 5,45 et 5,21% de bitume vierge 58-28 se comportent de la même façon que l'enrobé de référence. C'est à dire que la température de fissuration est autour de -30°C. Par contre l'enrobé à 5,08% de bitume vierge 58-28 quand à lui a fissuré autour de -25°C.

Pour l'enrobé à 15% de sable de bardeaux et 5.08% de bitume vierge 52-34 (enrobés 8 et 9), les résultats de TSRST démontrent cette fois que ceux-ci résistent mieux aux basses températures que l'enrobé de référence au bitume de grade PG 58-28.

Ainsi les enrobés selon l'invention présentent une bonne résistance mécanique aux basses températures.

b) Essais de résistance à la fatigue (figures 4 et 5)

5

Les essais de fatigue sur l'enrobé 10 (15% sable de bardeaux 5.21% de bitume vierge) ont démontrés un comportement tout à fait différent de l'enrobé de référence sans sable de bardeaux.

10 L'enrobé 10 avec 15% de sable de bardeaux à 5.21% de bitume vierge a démontré une durée de vie d'au moins 31 fois plus grande. Pour une déformation imposée de 200 μ def, l'enrobé 10 à 15% de sable de bardeaux et 5.21% de bitume vierge a pu subir 1 245 000 cycles comparativement à 39 000 pour l'enrobé de référence, avant rupture.

En utilisant les équations des courbes de tendance il est possible d'approximer la déformation imposable pour une durée de vie de 1 millions de cycles (ε^6).

$$y = -7.5911x + 21.79 \quad \text{Équation 1}$$

15

$$y = -8.0961x + 24.62 \quad \text{Équation 2}$$

$$y = -8.3572x + 23.838 \quad \text{Équation 3}$$

En utilisant l'Équation 1, équation correspondante à la droite de Wöhler de l'enrobé sans sable de bardeaux, il est possible de déterminer qu'une déformation de 120 μ def est nécessaire pour obtenir une durée de vie de 1 million de cycles.

20

En utilisant l'Équation 2, équation correspondante à la droite de Wöhler de l'enrobé avec 15% de sable de bardeaux et 5.21% de bitume vierge, il est possible de déterminer qu'une déformation de 200 μ def est nécessaire pour obtenir une durée de vie de 1 million de cycles.

L'enrobé 10 présente ainsi une bonne résistance au retrait thermique empêché et bon comportement en fatigue.

25

En utilisant l'équation 3, une déformation de 136 μ def est nécessaire pour obtenir une durée de vie de 1 million de cycles.

Pour l'enrobé 11 à 4% de sable de bardeaux à 5.00% de bitume vierge de grade PG 58-28, la durée de vie est légèrement augmenté comparativement à l'enrobé de référence.

30 Une analyse de dimensionnement de chaussée a été faite, en utilisant les critères de fatigues connus de l'homme du métier, tels que la pente de courbe de Wöhler, le module de rigidité initiale et la déformation acceptable pour une résistance à 1 million de cycles.

Cette analyse a permis de déterminer des épaisseurs de couches en utilisant les différents matériaux (sol support à 50 MPa).

35

N° enrobé	Type de mélange	Module de rigidité initial (MPa)	ϵ_6 (μdef)	Pente de la droite de Wöhler	Épaisseur nécessaire de la couche en couche de fondation (cm)
4	ESG-10 sans SdeB 5.45% BV.	8 800	119	-7.55	20
11	ESG-10 4% SdeB 5.00% BV.	10 500	136	-8.35	16
10	ESG-10 15% SdeB 5.35% BV	8 200	199	-8.09	12

Comme le montre le tableau ci-dessus, pour un trafic de 200 poids lourds par jour, les dimensionnements passe de 20cm, pour l'enrobé 4 sans sable de bardeaux à 12 cm pour l'enrobé 10 avec 15% de sable de bardeaux.

5

c) Essais de résistance à l'orniérage (figure 6)

Grade du bitume			Ornière	Ornière	
Bitume vierge (%)	vierge	SdeB	après 1 000 cycles	après 3 000 cycles	Ornière après 10 000 cycles
5.45	58-28	0	4.8	6.9	10.6
5.21	58-28	15	9.7	12.4	15.3
5.08	52-34	15	8.0	11.1	13.3
5.45	52-34	0	6.3	9.3	13.9*
5.08	52-34	0	4.3	7.4	13.7*

Comme le démontre la figure 6 et le tableau ci-dessus, les résultats montrent que tous les enrobés selon l'invention sont conformes aux exigences de la norme NF EN 12697-22.

10

Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec un mode de réalisation particulier, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Enrobé bitumeux comprenant un liant bitumeux vierge et des granulats minéraux naturels comportant des fines, des gravillons et du sable naturels, caractérisé en ce que l'enrobé comprend du sable de bardeaux issu de bardeaux d'asphalte présentant la composition suivante en poids par rapport au poids total de sable de bardeaux: de 13 à 50% de bitume, de 50 à 85% de charge minérale présentant une granulométrie égale ou inférieure à 2,5 mm et moins 2 % de fibres de verre ou de cellulose.
2. Enrobé bitumineux selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend, en poids, par rapport à son poids totale de 3 à 50 % de sable de bardeaux.
3. Enrobé bitumineux selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend, en poids, par rapport à son poids totale de 5 à 20% de sable de bardeaux.
4. Enrobé bitumineux selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend, en poids, par rapport à son poids totale de 6 à 15% de sable de bardeaux.
5. Enrobé bitumineux selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en poids par rapport au poids total de l'enrobé bitumineux :
 - de 1 à 10% de liant bitumineux vierge,
 - de 3 à 50% de sable de bardeaux, et
 - de 40 à 97 % de granulats minéraux.
6. Enrobé bitumineux selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lesdits granulats minéraux comprennent en poids par rapport à son poids :
 - de 1 à 20% de fines de diamètre inférieur ou égale à 80 µm ;
 - de 30 à 70% de gravillons fins de diamètre allant de 2,5 et 5mm ;
 - de 20 à 69% de gros gravillons de diamètre allant de 5 à 10 mm.
7. Enrobé bitumineux selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lesdits granulats minéraux comprennent en poids par rapport à son poids :
 - de 4 à 10% de fines de diamètre inférieur ou égale à 80 µm ;
 - de 42 à 61% de gravillons fins de diamètre allant de 2,5 et 5mm ;
 - de 29 à 58% de gros gravillons de diamètre allant de 5 à 10 mm.
8. Enrobé bitumineux selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le liant vierge comprend un élastomère.
9. Enrobé bitumineux selon la revendication 8, dans lequel l'élastomère est un copolymère styrène-butadiène-styrène, de styrène-butadiène, ou de styrène-isoprène-styrène.
10. Enrobé bitumineux selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des agrégats d'enrobés (AE).
11. Procédé de préparation d'un enrobé bitumineux selon l'une quelconques de revendications précédentes, comprenant les étapes suivantes :

(a) on chauffe les granulats minéraux naturels à une température allant de 150 à 200°C, typiquement de l'ordre de 180°C

(b) on incorpore les sables de bardeaux au mélange précédent,

(c) on ajoute le liant bitumeux vierge à une température allant de 120°C à 190°C,

5 (d) on malaxe le mélange obtenu à l'étape (c).

12. Revêtement bitumineux obtenu à partir d'un enrobé bitumineux selon l'une des revendications 1 à 10.

13. Procédé de mise en œuvre d'un revêtement bitumineux selon la revendication 12, comprenant les étapes successives suivantes :

- 10 (i) on prépare un enrobé bitumineux selon les étapes définies à la revendication 11 ;
(ii) on répand l'enrobé bitumineux issu de l'étape (i) ;
(iii) on compacte le mélange répandu, et
(iv) on laisse refroidir le mélange compacté.

1/3

Fig.1

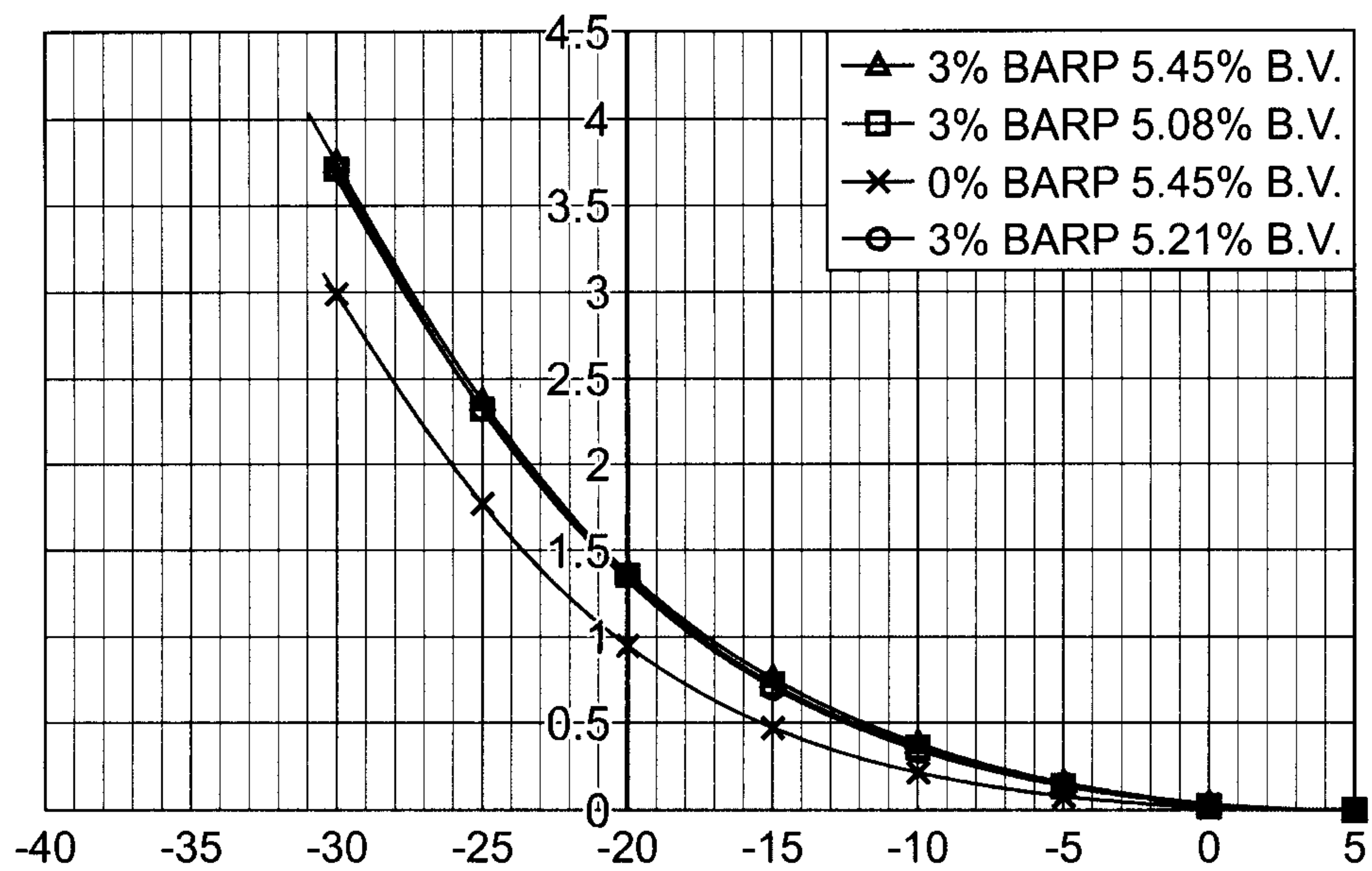
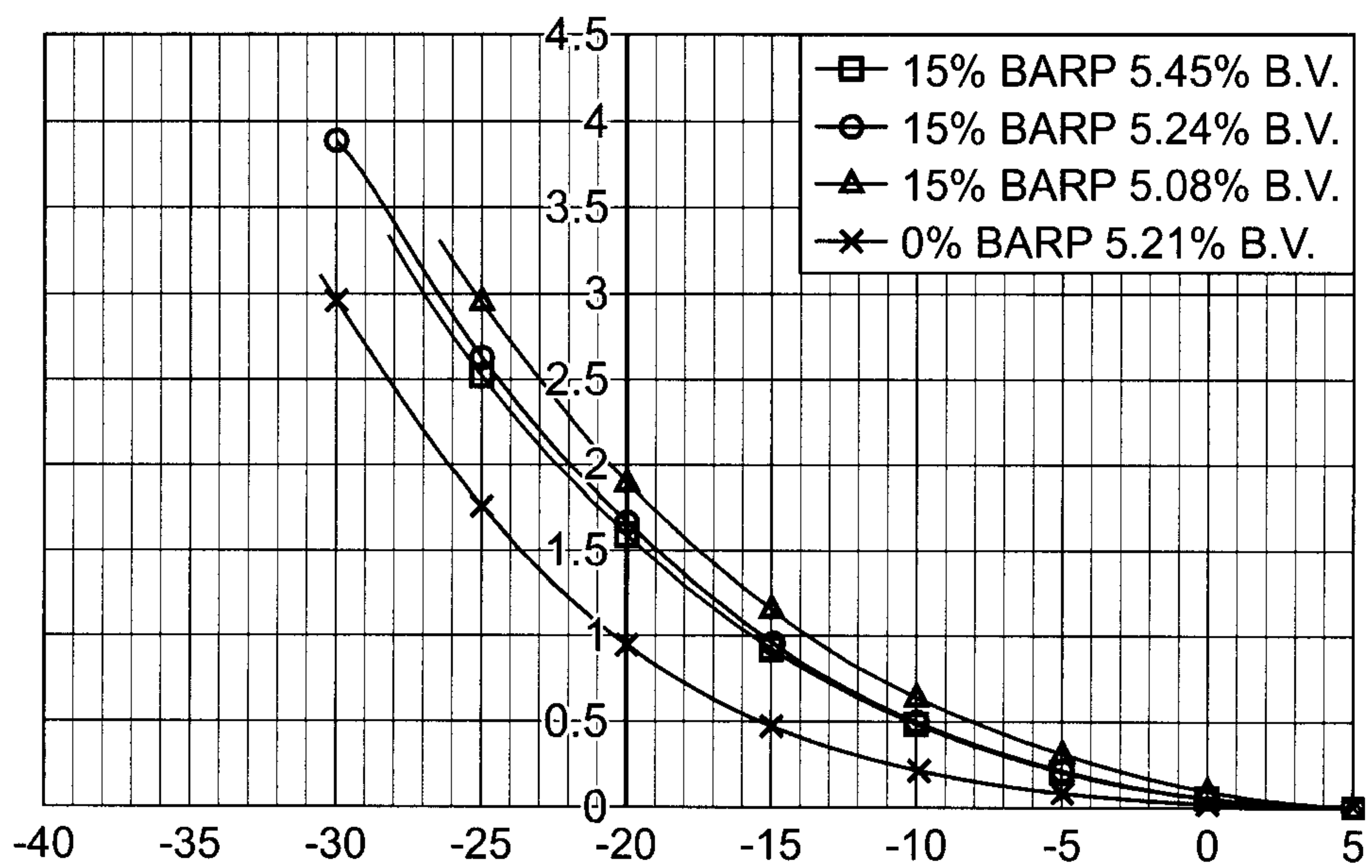


Fig.2



2/3

Fig.3

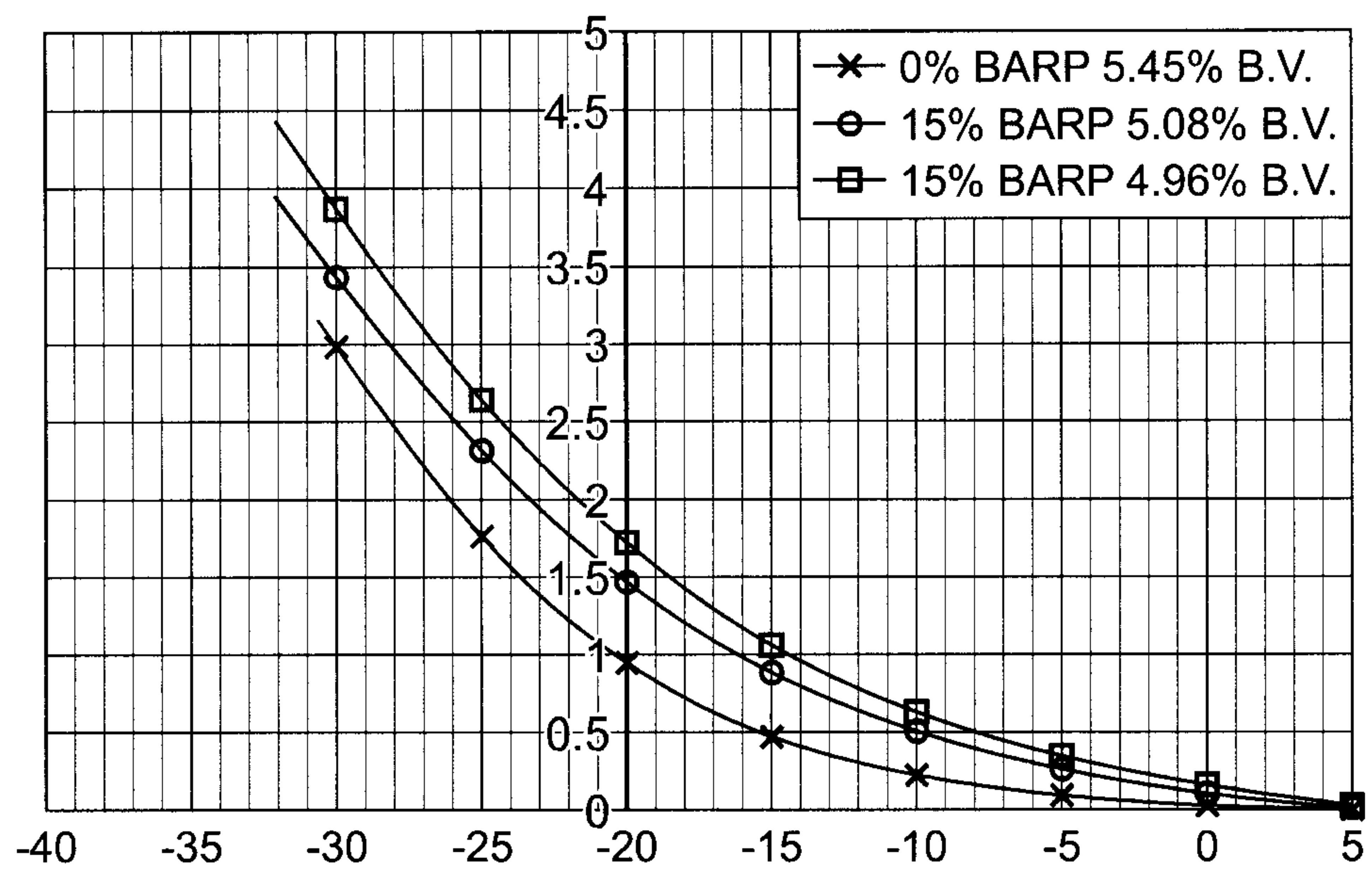
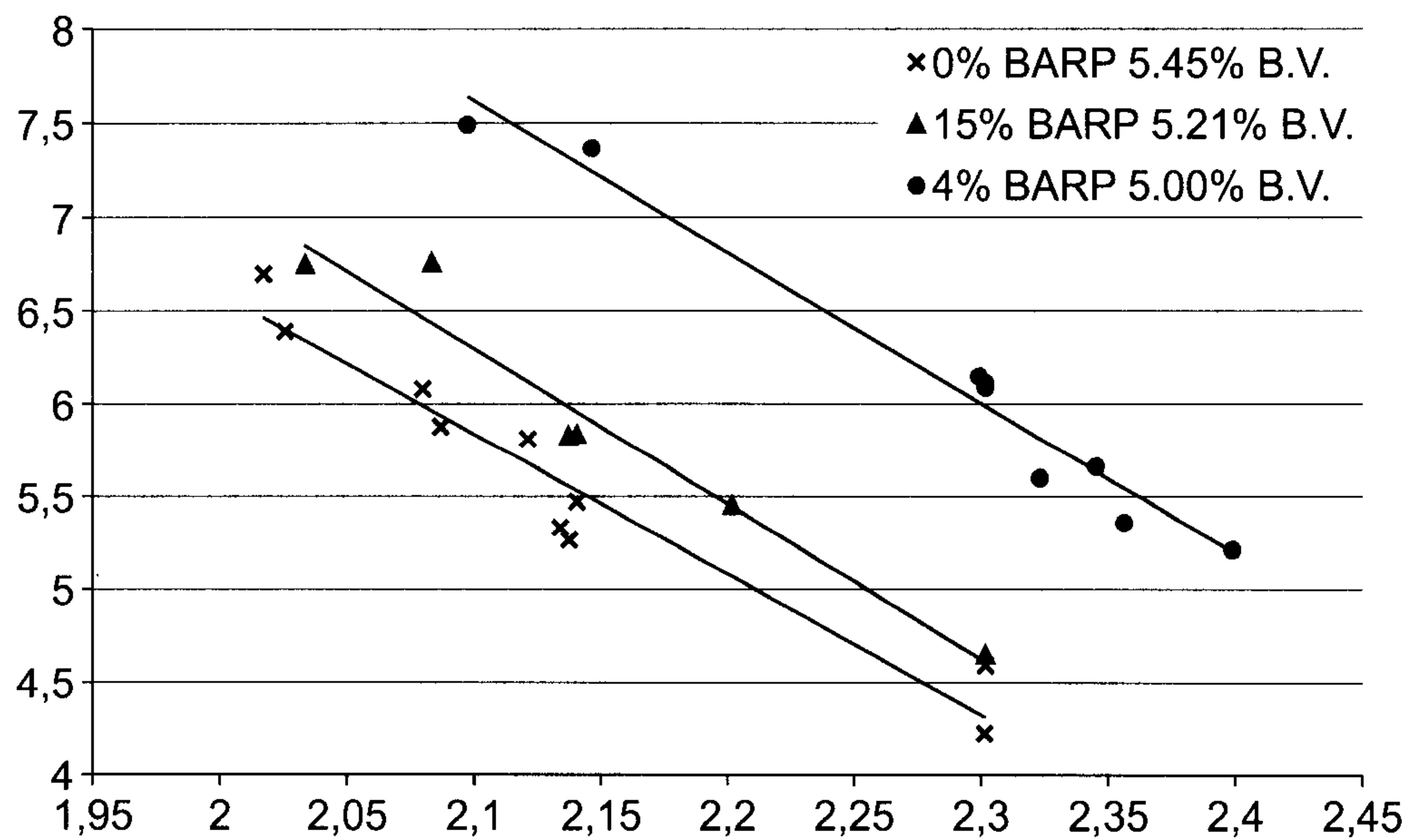


Fig.4



3/3

Fig.5

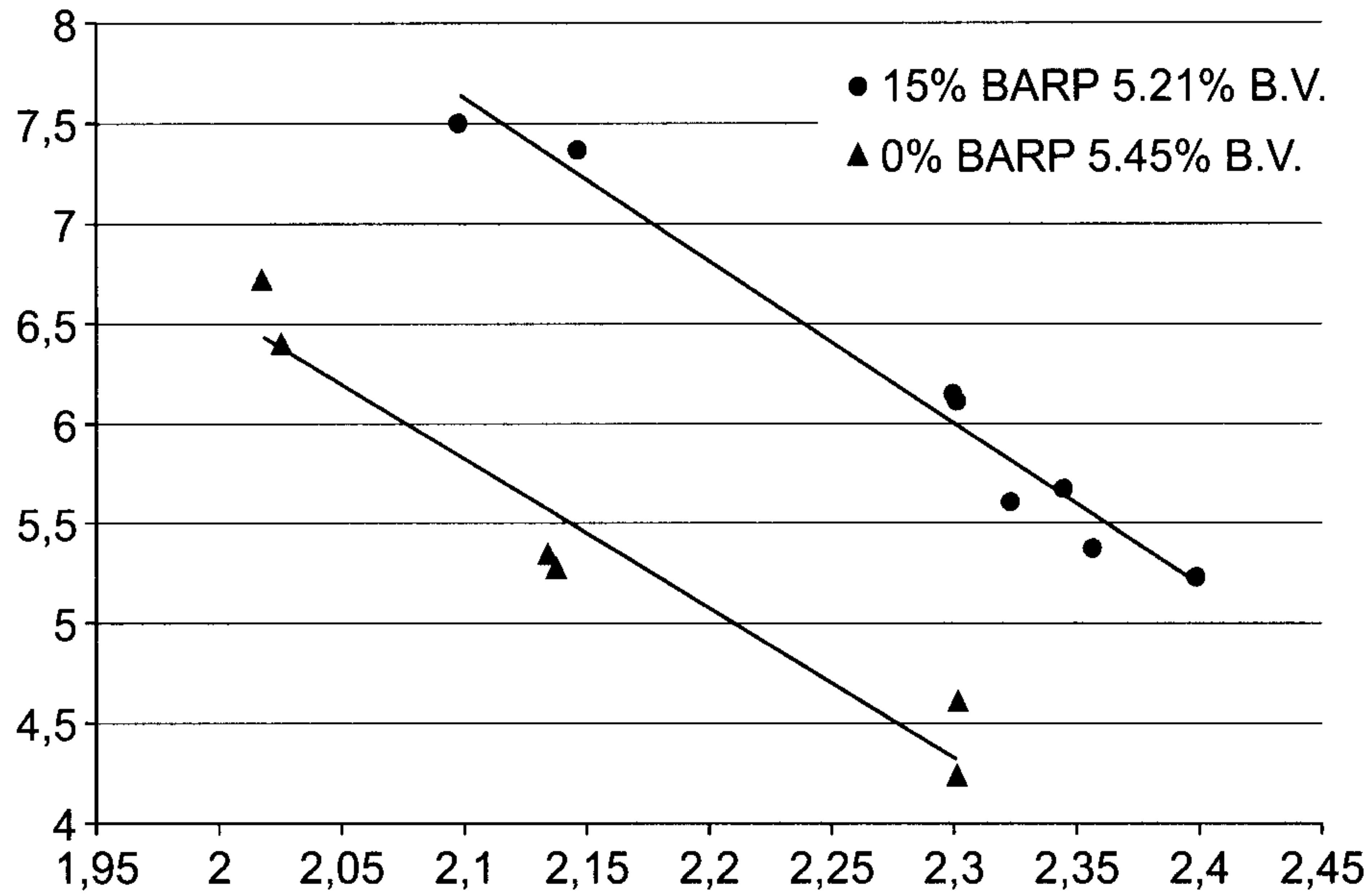


Fig.6

