

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



WIPO | PCT



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2018/055314 A2**

(43) Date de la publication internationale  
29 mars 2018 (29.03.2018)

(51) Classification internationale des brevets :  
E01C 11/26 (2006.01) F24J 3/08 (2006.01)  
F24J 2/04 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2017/052586

(22) Date de dépôt international :  
26 septembre 2017 (26.09.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1659054 26 septembre 2016 (26.09.2016) FR

(71) Déposant : EUROVIA [FR/FR] ; 18, place de l'Europe,  
92500 RUEIL MALMAISON (FR).

(72) Inventeurs : BERRADA, Kamal ; 23 lot les Fougères,  
33290 LE PIAN MEDOC (FR). POUTEAU, Bertrand  
; 8 rue Vital Lauba, 33160 SAINT MEDARD EN JAL-  
LES (FR). DROUADAINE, Ivan ; 23 rue Paul Valéry,  
33160 SAINT MEDARD EN JALLES (FR). VERGNE,  
Sandrine ; 26 ter rue Deluns Montaud, 33400 TALENCE  
(FR).

(74) Mandataire : REGIMBEAU ; 87 rue de Sèze, 69477  
LYON CEDEX 06 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,

AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,  
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,  
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,  
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,  
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,  
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,  
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,  
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,  
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM,  
KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM),  
européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES,  
FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,  
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI  
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

**Déclarations en vertu de la règle 4.17 :**

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17(iv))

**Publiée:**

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès  
réception de ce rapport (règle 48.2(g))

(54) Title: METHOD FOR THE HIGH-SPEED EMBEDDING OF A RECYCLABLE HEAT EXCHANGER IN LAND-BASED INFRASTRUCTURE

(54) Titre : PROCEDE D'INDENTATION D'UN ECHANGEUR THERMIQUE RECYCLABLE A HAUTE CADENCE DANS UNE INFRASTRUCTURE TERRESTRE

(57) Abstract: The present invention relates to a method for the production of a road surface, the surface of which comprises pipes of a heat exchanger device. The method is characterised in that it comprises the following steps: a) at a temperature below 160°C, spreading bituminous mixtures comprising a granular fraction, a bituminous binder, said bituminous mixtures being workable and having a workability of less than 400N, measured with a Nynas workability meter at the use temperature of the bituminous mixtures; subsequently, b) depositing pipes, said pipes having a compression strength greater than 3000N per linear metre of pipe at 100°C, thermal expansion of less than  $200 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  at 20°C, such that the pipes can be embedded even in the absence of a cooling means or pressure application means; subsequently, c) embedding the deposited pipes in the integration layer by compacting the bituminous mixtures during the workability period thereof, in order to form an integration layer comprising pipes of a heat exchanger device; and, subsequently, d) applying a surface layer thereabove for the road surface, in particular a surface course. The present invention also relates to a method for recycling a road surface.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un revêtement de voiries comprenant en surface des tuyaux d'un dispositif pour échangeur de chaleur, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes: a) répandage à une température inférieure à 160°C d'enrobés hydrocarbonés, comprenant une fraction granulaire, un liant hydrocarboné, lesdits enrobés hydrocarbonés étant maniables, ayant une maniabilité, mesurée avec un maniabilimètre Nynas à la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés, inférieure à 400N, puis b) dépôt de tuyaux, lesdits tuyaux ayant une résistance à l'écrasement supérieure à 3000N par mètre linéaire de tuyaux à 100°C, une dilatation thermique inférieure à  $200 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  à 20°C de sorte à permettre leur indentation même en l'absence de moyen de refroidissement ou de moyen de mise sous pression, puis c) indentation des tuyaux déposés dans ladite couche d'intégration par compactage desdits enrobés pendant la durée de maniabilité desdits enrobés, pour former une couche d'intégration comprenant des tuyaux d'un dispositif pour échangeur de chaleur, puis d) application au-dessus d'une couche de surface pour revêtement de voirie, en particulier une couche de roulement. La présente invention concerne également un procédé de recyclage d'un revêtement de voirie.



WO 2018/055314 A2

PROCEDE D'INDENTATION D'UN ECHANGEUR THERMIQUE RECYCLABLE A HAUTE CADENCE DANS  
UNE INFRASTRUCTURE TERRESTRE

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un revêtement de voiries comprenant  
5 en surface un dispositif pour échangeur de chaleur visant à récupérer de l'énergie thermique des  
chaussées de voirie ou à restituer de l'énergie thermique à la chaussée. L'invention concerne  
également un procédé de recyclage de telles voiries.

Ils existent à peu près 32 millions de kilomètres de routes revêtues dans le monde. Les  
10 chaussées sont des surfaces plus ou moins planes, généralement de couleur foncée, ce qui les  
rend intéressantes pour cette invention : leurs propriétés thermiques font qu'elles sont capables  
d'emmagasiner des quantités notables d'énergie thermique pendant la journée, grâce à  
l'ensoleillement reçu. Dans un contexte mondial de développement des énergies renouvelables, il  
semble tout à fait judicieux d'essayer de récupérer cette énergie gratuite captée par les  
15 chaussées.

Parmi les différents matériaux utilisés pour la construction des chaussées, en particulier  
l'asphalte coulé, les enrobés bitumineux, le béton, le macadam ou le sable, les enrobés  
bitumineux sont un des matériaux qui monte le plus en température au cours de la journée à  
cause de sa réflectivité moindre et de sa conductivité thermique modérée.

20 On connaît déjà l'utilisation des chaussées comme collecteurs thermiques pour de  
multiples emplois : refroidissement des chaussées pour éviter la déformation permanente  
susceptible d'apparaître en été, récupération de la chaleur emmagasinée pour apporter de  
l'énergie à des bâtiments adjacents.

On connaît également l'emploi de la géothermie pour réchauffer la chaussée, en  
25 particulier pour déneiger les routes en hiver (chaussées chauffantes).

Le brevet DE 20 2004 006 198 décrit un système pour la récupération de l'énergie  
thermique des chaussées dans lequel des tuyaux sont installés sous la route. Ce système nécessite  
une couche de protection des tuyaux qui impacte la performance énergétique. En effet, les tuyaux  
sont éloignés de la couche de roulement, qui constitue le collecteur thermique.

30 La demande de brevet WO99/34155 décrit un système pour la récupération de l'énergie  
thermique des chaussées dans lequel des tuyaux sont intégrés dans des enrobés bitumineux  
poreux chaud (110-160°C). Cette demande enseigne que les enrobés bitumineux doivent être  
poreux, voire très poreux, pour permettre l'intégration des tuyaux. Une couche adhésive est  
prévue pour combler les espaces vides entre les tuyaux et l'asphalte poreux. Les tuyaux doivent

être refroidis, par mise en circulation d'un agent refroidissant sous pression, pendant l'intégration et les phases de passage des machines de chantier. Le refroidissement des tuyaux et leur mise sous pression permet de les protéger thermiquement, mécaniquement et surtout d'éviter un retrait thermique lors de la pose des tuyaux dans un enrobé encore chaud. En outre, il convient également de contrôler l'angle des tuyaux avec l'axe des rouleaux du compacteur.

En chantier, il est coûteux et problématique d'avoir à refroidir et/ou mettre sous pression les tuyaux lors de la pose.

En outre, la couche adhésive, nécessaire pour combler les espaces vides, est défavorable aux propriétés mécaniques de l'enrobé.

Enfin, selon ce procédé, des moyens particuliers, coûteux, doivent être mis en œuvre lors du passage subséquent des chenilles des finisseurs ou autres machines de chantier.

L'invention vise à résoudre ces problèmes en proposant un procédé de fabrication d'un revêtement de voiries comprenant les tuyaux d'un échangeur de chaleur :

- 15 - Permettant d'indenter des tuyaux avec la géométrie retenue, quel que soit la courbure des tuyaux et pouvant ainsi comprendre des virages, des boucles, ...
- Ne laissant pas d'espaces vides entre les tuyaux et la couche les intégrant, ne nécessitant ainsi pas l'ajout d'une couche adhésive pour combler des espaces vides et/ou de produit de comblement ;
- 20 - Ne nécessitant pas de refroidissement des tuyaux par mise en circulation d'un agent refroidissant, pendant la pose et/ou l'indentation et/ou les étapes subséquentes de fabrication du revêtement de voiries y compris lors du passage des machines de chantier ;
- Ne nécessitant pas une mise sous pression des tuyaux pendant la pose et/ou
- 25 l'indentation et/ou les étapes subséquentes de fabrication du revêtement de voiries y compris lors du passage des machines de chantier ;
- Ne nécessitant pas un contrôle de l'angle des tuyaux avec l'axe du rouleau compacteur ;
- Economique, de mise en œuvre aisée, permettant
- 30
  - o l'installation à haute cadence d'un échangeur de chaleur
  - o de préparer un revêtement de voirie pouvant supporter tout trafic, y compris un fort trafic

Le procédé selon l'invention permet également un échange thermique optimisé, notamment en minimisant la quantité de vide autour des tuyaux de l'échangeur de chaleur.

Enfin, avantageusement, par le procédé selon l'invention, la présence du dispositif pour l'échangeur de chaleur ne limite pas le recyclage du revêtement de voirie.

5 Selon la norme NF P 98-149, juin 2002, on entend :

- par « recyclage », l'introduction, dans un cycle de fabrication d'enrobés à chaud ou tièdes, d'une proportion donnée d'enrobés de récupération (enrobés recyclés). Le recyclage peut être réalisé en centrale ou en place. Dans ce dernier cas, il peut être réalisé, soit par thermorecyclage, soit par fraisage à froid, malaxage à chaud des agrégats (fraisats) dans un matériel automoteur, et remise en place.

10 - par « thermorecyclage », recyclage en place par chauffage, fractionnement, malaxage de l'enrobé ancien avec les correctifs nécessaires (enrobé, granulats et liant de régénération) et remise en œuvre du mélange obtenu

15 - par « fraisage », une opération de désagrégation et d'enlèvement de matériaux liés à l'aide d'un tambour rotatif équipé d'outils adaptés (dents, pics, couteaux).

Ces problèmes techniques sont résolus en intégrant des tuyaux particuliers dans des enrobés hydrocarbonés particuliers par le procédé selon l'invention.

20 La présente invention a ainsi pour objet un procédé de fabrication d'un revêtement de voiries comprenant en surface des tuyaux d'un dispositif pour échangeur de chaleur, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

25 a) répandage à une température inférieure à 160°C d'enrobés hydrocarbonés, comprenant une fraction granulaire, un liant hydrocarboné, lesdits enrobés hydrocarbonés étant maniabiles, ayant une maniabilité, mesurée avec un maniabilimètre Nynas à la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés, inférieure à 400N, puis

30 b) dépôt de tuyaux, lesdits tuyaux ayant une résistance à l'écrasement supérieure à 3000 N par mètre linéaire de tuyaux à 100°C, une dilatation thermique inférieure à  $200 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  à 20°C de sorte à permettre leur indentation même en l'absence de moyen de refroidissement, puis

c) indentation des tuyaux déposés dans ladite couche d'intégration par compactage desdits enrobés pendant la durée de maniabilité desdits enrobés, pour former une couche d'intégration comprenant des tuyaux d'un dispositif pour échangeur de chaleur, puis

- d) application au-dessus d'une couche de surface pour revêtement de voirie, en particulier une couche de roulement.

### **Enrobés hydrocarbonés**

5 Un enrobé hydrocarboné est un mélange d'une fraction granulaire, comprenant des granulats et du sable, et de liant hydrocarboné appliqué en une ou plusieurs couches pour constituer la chaussée des routes.

Les enrobés hydrocarbonés à chaud sont fabriqués à chaud (généralement de 130°C à 170°C) et appliqués à chaud (généralement de 110°C à 160°C).

10 L'enrobé tiède rencontre toutes les spécifications de l'enrobé à chaud, mais il est produit et mis en œuvre à une température inférieure de 30°C à 60°C par rapport à l'enrobé à chaud. Ainsi, les enrobés hydrocarbonés tièdes sont fabriqués à des températures allant de 100°C à 140°C et appliqués à des températures allant de 80°C à 130 °C.

15 Les enrobés hydrocarbonés à chaud ou tièdes sont déposés par répandage, par exemple avec un finisseur ou une niveleuse, puis compactés.

Des enrobés hydrocarbonés ont spécialement été développés pour une mise en œuvre optimisée du procédé selon l'invention.

20 Avantageusement, les éléments de la fraction granulaire des enrobés hydrocarbonés ont des dimensions comprises entre 0 mm et 20 mm, avantageusement entre 0 mm et 14 mm, plus avantageusement entre 0 mm et 10 mm, encore plus avantageusement entre 0 mm et 6 mm.

Par "fractions solides minérales", on entend ici toutes fractions solides utilisables pour la réalisation d'enrobés hydrocarbonés notamment pour la construction routière, comprenant  
25 notamment les granulats minéraux naturels (gravillons, sable, fines) issus de carrière ou de gravière, les produits de recyclage tel que les agrégats d'enrobés résultant du recyclage des matériaux récupérés lors de la réfection des routes ainsi que des surplus de centrales d'enrobage, les rebuts de fabrication, les granulats provenant du recyclage de matériaux routiers y compris les bétons, les laitiers en particulier les scories, les schistes en particulier la bauxite ou le corindon, les  
30 poudrettes de caoutchouc provenant du recyclage des pneus notamment, les granulats artificiels de toute origine et provenant par exemple de mâchefers d'incinération des ordures ménagères (MIDN), ainsi que leurs mélanges en toutes proportions.

Dans le cadre de l'invention, la fraction granulaire comprend avantageusement :

- des éléments inférieurs à 0,063 mm (filler ou fines)

- du sable dont les éléments sont compris entre 0,063 mm et 2 mm ;
- des éléments, en particulier des gravillons, ayant des dimensions
  - o comprises entre 2 mm et 6 mm ;
  - o éventuellement, comprises entre 6 mm et 10 mm;
- 5 o éventuellement, comprises entre 10 mm et 14 mm ;
- o éventuellement, comprises entre 14 mm et 20 mm.

En particulier, la fraction granulaire comprend avantageusement :

- des éléments inférieurs à 0,063 mm (filler ou fines)
- du sable dont les éléments sont compris entre 0,063 mm et 2 mm ;
- 10 - des éléments, en particulier des gravillons, ayant des dimensions
  - o comprises entre 2 mm et 6 mm ;
  - o éventuellement, comprises entre 6 mm et 10 mm.

Avantageusement une faible granulométrie (en particulier 0/10, avantageusement 0/6) permet d'améliorer le contact entre les tuyaux et l'enrobé hydrocarboné.

15

La taille des granulats minéraux est mesurée par les essais décrits dans la norme NF EN 933-2 (version mai 1996).

Par « fines minérales » ou « filler », on entend toute charge minérale ou siliceuse, passant à travers un tamis à maille carrée de 0,063 mm de côté. Les fines peuvent être des fines naturelles  
20 ou d'apport, par exemple des fines calcaires (carbonate de calcium), du ciment ou de la chaux hydratée, ou de récupération.

On entend par « agrégats d'enrobés » des enrobés (mélange de granulats et de liants bitumineux) provenant de fraisage de couches d'enrobé, de concassage de plaques extraites de chaussées en enrobés, de morceaux de plaques d'enrobés, de déchets d'enrobés ou de surplus de  
25 productions d'enrobés (les surplus de productions sont des matériaux enrobés ou partiellement enrobés en centrale résultant des phases transitoires de fabrication).

Dans la fraction granulaire, la teneur en fines (éléments ayant une taille inférieure ou égale à 0,063 mm), varie avantageusement de 4% à 15% en volume, par rapport au volume total de la fraction granulaire.

30 Dans la fraction granulaire, la teneur en éléments ayant une taille supérieure à 0,063 mm et inférieure ou égale à 2 mm, en particulier du sable, varie avantageusement de 15% à 80% en volume, par rapport au volume total de la fraction granulaire.

Dans la fraction granulaire, la teneur en éléments ayant une taille supérieure à 2 mm, avantageusement jusqu'à 6 mm, varie de 5% à 81% en volume, par rapport au volume total de la fraction granulaire.

5 Dans une variante de l'invention, la conductivité thermique,  $\lambda$ , des enrobés hydrocarbonés est supérieure ou égale à 1 W/m.K, avantageusement supérieure ou égale à 1,4 W/m.K, plus avantageusement supérieure ou égale à 2 W/m.K. La conductivité thermique sera généralement inférieure à 10 W/m.K.

L'absence de vide significatif autour des tuyaux permet un bon contact thermique. On  
10 cherche à maximiser la conductivité de la couche d'intégration lorsque l'on souhaite capter l'énergie.

Cependant, pour certaines applications, telles que le déneigement de chaussées, on peut chercher à orienter au maximum l'énergie transportée par le fluide caloporteur, circulant dans les  
15 tuyaux, vers la surface. On recherchera alors une couche d'intégration isolante pour minimiser toute déperdition de chaleur ailleurs que vers la surface.

Une telle couche isolante peut être obtenue en utilisant des granulats particuliers.

Ainsi, dans une autre variante de l'invention, la conductivité thermique,  $\lambda$ , des enrobés hydrocarbonés est inférieure à 1 W/m.K, avantageusement elle est inférieure à 0,8 W/m.K, plus  
20 avantageusement inférieure ou égale à 0,7 W/m.K. La conductivité thermique sera généralement supérieure à 0,033 W/m.K.

Dans cette variante, la fraction granulaire des enrobés hydrocarbonés comprend avantageusement des éléments choisis parmi des granulats légers de masse volumique inférieure à 2,6 t/m<sup>3</sup>, avantageusement de masse volumique inférieure à 1,6 t/m<sup>3</sup>.

25 Avantageusement, tout ou partie des granulats légers sont des granulats légers non absorbants ayant un coefficient d'absorption d'eau inférieur à 15%. Avantageusement, les granulats légers et non absorbants ont avantageusement une masse volumique comprise entre 1,1 t/m<sup>3</sup> et 1,5 t/m<sup>3</sup>.

En plus d'être légers, les granulats sont avantageusement non absorbants. La propriété de  
30 « non absorbant » se caractérise par la mesure du coefficient d'absorption d'eau. Au sens de la présente invention, un granulats non absorbant est un granulats qui a un coefficient d'absorption d'eau inférieur à 15%, avantageusement compris entre 3% et 15%, plus avantageusement compris entre 6% et 13%.

Le coefficient d'absorption d'eau se mesure selon le protocole normalisé décrit dans la norme NF EN 1097-6 (version juin 2001 complété par la version de février 2006). Le « coefficient d'absorption d'eau » est le rapport de l'augmentation de masse d'un échantillon de granulats à sa masse sèche, après passage à l'étuve, du fait de la pénétration de l'eau dans les pores accessibles à l'eau. On calcule le coefficient d'absorption d'eau (en pourcentage de la masse sèche) (*WA24*) conformément à l'équation suivante :

$$WA24 = \frac{100 \times (M1 - M4)}{M4}$$

où :

*M1* est la masse des granulats saturés et superficiellement secs dans l'air, en grammes ;

*M4* est la masse de la prise d'essai séchée à l'étuve dans l'air, en grammes ;

Les masses *M1* et *M4* sont mesurées selon le protocole suivant. Les granulats sont immergés dans de l'eau (température ambiante, en particulier  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ ) pendant un temps suffisant (avantageusement 24 heures). Les granulats sont ensuite récupérés, séchés au chiffon, étalés en couche mono-granulaire et laissés exposés à l'air libre mais à l'abri des rayons du soleil ou de toute autre source de chaleur jusqu'à ce que les films d'eau visibles aient disparu. On pèse les granulats (*M1*). Ensuite, on transfère les granulats sur un plateau et on les place dans l'étuve à une température de  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante (*M4*).

Le coefficient d'absorption d'eau est mesuré par la méthode au pycnomètre (les granulats sont chargés dans un pycnomètre rempli d'eau).

Ces granulats légers et non absorbants présentent par ailleurs une bonne résistance mécanique.

Ces granulats ont avantageusement un pourcentage de vide supérieur à 50%, les pores étant majoritairement des pores fermés. Ainsi, avantageusement plus de 90% en nombre des pores sont des pores fermés, avantageusement plus de 95%, et jusqu'à 100% des pores sont des pores fermés. Ces pores fermés permettent d'assurer que le liant n'est pas absorbé par les granulats. Ainsi, les propriétés de l'enrobé n'évoluent pas plus que celles d'un enrobé classique. Le pourcentage de vide est avantageusement supérieur à 60%, plus avantageusement compris entre 65% et 80%, encore plus avantageusement compris entre 65% et 75%. Le pourcentage en vide peut être déterminé par la méthode géométrique, telle que celle décrite dans la norme NF

EN 12697-6 d'août 2012, ou par une méthode gamma densimétrie, telle que celle décrite dans la norme NF EN 12697-7 de juin 2003.

Ces granulats légers et non absorbants sont avantageusement de l'ardoise expansée, en particulier de l'ardoise expansée de Mayenne. Plus avantageusement, ces granulats sont les  
5 granulats commercialisés par la société Granulats Expansés de la Mayenne sous la marque Granulex®.

Les enrobés comprennent un liant. Le liant est ce qui permet de coller les granulats entre eux et d'assurer une bonne tenue mécanique de la chaussée. Un liant peut être bitumineux ou  
10 végétal ou de synthèse. Le liant peut également être un mélange de liants issus de ces différentes origines.

On entend par « liant », un liant hydrocarboné, avantageusement d'origine fossile, ou tout liant d'origine végétale ou synthétique, utilisable pour la réalisation d'un enrobé hydrocarboné. Avantageusement, il s'agit de toute composition contenant du bitume, éventuellement un additif  
15 de maniabilité et éventuellement un ou plusieurs additifs et/ou un ou plusieurs émulsifiants et/ou un ou plusieurs viscosifiants et/ou un ou plusieurs fluxants et/ou un ou plusieurs plastifiants et/ou tout autre additif permettant d'en ajuster les propriétés, comme par exemple l'adhésivité. À titre d'exemple, on citera les bitumes, les bitumes modifiés par des élastomères et/ou des plastomères.

20 Le liant peut être de tout grade. Le liant peut être un liant dur ou mou.

Dans une variante avantageuse de l'invention, on utilisera les liants routiers répondant aux normes NF EN 12591 (2009, bitumes purs) ou NF EN 13924 (2006, bitumes durs) ou NF EN 14023 (2010, bitume modifié par des polymères).

Avantageusement, le liant est de grade 35/50

25 Avantageusement, le liant comprend également un polymère.

Le « polymère » modifiant le liant auquel il est fait référence ici, peut être choisi parmi les polymères naturels ou synthétiques. Il s'agit par exemple d'un polymère de la famille des élastomères, synthétiques ou naturels, et de manière indicative et non limitative :

- les copolymères statistiques, multi-séquencés ou en étoile, de styrène et de butadiène ou d'isoprène en toutes proportions (en particulier copolymères blocs de styrène-butadiène-styrène (SBS), de styrène-butadiène (SB, SBR pour styrène-butadiène rubber), de styrène-isoprène-styrène (SIS)) ou les copolymères de même famille chimique (isoprène, caoutchouc naturel, ...),  
5 éventuellement réticulés in-situ,

- les copolymères d'acétate de vinyle et d'éthylène en toutes proportions,

- les copolymères de l'éthylène et d'esters de l'acide acrylique, méthacrylique ou de l'anhydride maléique, les copolymères et terpolymères d'éthylène et de méthacrylate de glycidyle-) et les polyoléfinés, en particulier le polyéthylène.

10 Le polymère est avantageusement choisi parmi les copolymères statistiques, multi-séquencés ou en étoile, de styrène et de butadiène ou d'isoprène, les copolymères d'acétate de vinyle et d'éthylène et le polyéthylène.

Le polymère modifiant le bitume peut être choisi parmi les polymères de récupération, par exemple des « poudrettes de caoutchouc » ou autres compositions à base de caoutchouc réduits  
15 en morceaux ou en poudre, par exemple obtenues à partir de pneus usagés ou d'autres déchets à base de polymères (câbles, emballage, agricoles, ...) ou encore tout autre polymère couramment utilisé pour la modification des bitumes tels que ceux cités dans le Guide Technique écrit par l'Association Internationale de la Route (AIPCR) et édité par le Laboratoire Central des Ponts et  
Chaussées "Use of Modified Bituminous Binders, Special Bitumens and Bitumens with Additives in  
20 Road Pavements" (Paris, LCPC, 1999), ainsi que tout mélange en toute proportion de ces polymères.

Dans le cas de polymère de récupération, en particulier de déchet, pratiquement il pourra être ajouté lors de l'enrobage, par exemple avec la fraction minérale solide.

La teneur en polymère dans le liant varie avantageusement de 2% à 20% en poids, plus  
25 avantageusement de 2% à 10% en poids, encore plus avantageusement de 4% à 8% en poids, par rapport au poids total du liant.

Dans les enrobés selon l'invention, la teneur en liant varie avantageusement de 7,5% à 24% en volume, par au volume total de l'enrobé, plus avantageusement de 11% à 23% en volume.

Les enrobés hydrocarbonés selon l'invention sont déposés par répandage, par exemple  
30 avec un finisseur ou une niveleuse, puis compactés. Ce compactage permet de réduire la teneur

en vides (V), inférieure, après mise en œuvre et refroidissement, à 15%, plus avantageusement inférieure à 10% (cf. norme NF EN 12697-5, -6, -8 de 2012).

Les enrobés hydrocarbonés utilisés dans le procédé selon l'invention sont maniables. Des enrobés hydrocarbonés particulièrement adaptés ont une maniabilité, mesurée avec un  
5 maniabilimètre Nynas à la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés, inférieure à 400N, avantageusement inférieure à 350 N, plus avantageusement inférieure à 300 N, encore plus avantageusement inférieure à 250 N. La maniabilité est généralement supérieure à 50 N à la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés.

Les enrobés hydrocarbonés utilisés dans le procédé selon l'invention sont également,  
10 avantageusement, compacts.

Afin de garantir un bon contact et ainsi permettre un couplage thermique suffisant entre l'enrobé et le tuyau, la compacité de la formule d'enrobé mesurée au moyen d'une presse à cisaillement giratoire à 60 girations, selon la norme NF EN 12697-31 d'août 2007 est  
15 avantageusement supérieure à 90%, plus avantageusement supérieure à 93%. La compacité peut aller jusqu'à 99,9%.

On rappelle que  $C+V=100$ .

Diverses méthodes peuvent être mises en œuvre, isolement ou conjointement, pour améliorer la maniabilité de l'enrobé.

20 Dans une première méthode, on peut ajouter au liant un additif de maniabilité.

Cet additif de maniabilité peut être un additif présentant une température de fusion supérieure à 60 °C et inférieure à 130°C. Un tel additif présente une température de fusion supérieure à 60 °C, avantageusement supérieure à 80°C. Un tel additif a une température de fusion inférieure à 130°C, avantageusement inférieure à 120°C. Un tel additif permet de conférer  
25 de la maniabilité aux enrobés hydrocarbonés.

Cet additif permet de réduire la viscosité du liant pour abaisser la température de fabrication et de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés tout en conservant les propriétés mécaniques requises, améliorer la maniabilité, améliorer la compacité.

En particulier, un tel additif est au moins un triglycéride d'acides gras, ledit acide gras  
30 étant choisi dans le groupe constitué par les acides gras saturés, comprenant de 12 à 30 atomes de carbone, avantageusement de 12 à 20 atomes de carbone, et pouvant être substitués par au moins une fonction hydroxyle ou par un radical alkyle en  $C_1-C_4$ . Un acide gras saturé ne comporte pas d'insaturations (double ou triple liaison carbone carbone). En particulier, l'acide gras est choisi dans le groupe constitué par les acides gras saturés comprenant de 12 à 30 atomes de carbone,

éventuellement substitués par au moins une fonction hydroxyle ou par un radical alkyle en C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>, en particulier l'acide gras est choisi dans le groupe constitué par l'acide 12-hydroxy-octadécanoïque, l'acide hexadécanoïque, l'acide octadécanoïque, l'acide 9,10-dihydroxy-octadécanoïque, l'acide icosanoïque, l'acide nonadécanoïque, et leurs mélanges.

5 L'additif de maniabilité est avantageusement un triglycéride d'acides gras, l'acide gras étant avantageusement choisi dans le groupe défini précédemment. En particulier, l'additif comprend au moins un triglycéride dont une molécule d'acide gras est constituée de l'acide 12-hydroxy-octadécanoïque. Un tel additif est par exemple décrit dans la demande EP 2 062 941.

10 La teneur en additif sera avantageusement comprise entre 1% et 6% en masse par rapport à la masse totale en liant.

D'autres additifs de maniabilité sont également connus.

15 Comme autre additif, on peut également citer des cires d'origines animale, végétale ou d'hydrocarbures, en particulier des cires hydrocarbonées à chaîne longue (plus de 30 atomes de carbone). En particulier, on peut citer les cires hydrocarbonées à base de polyéthylène ou également de cire hydrocarbonée obtenue par la synthèse de Fischer Tropsch (telle que la cire Fischer Tropsch commercialisée sous le nom commercial Sasobit® par la société Sasol), de poids moléculaire supérieur à 400 g/mol et inférieur à 6 000 g/mol. De telles cires sont par exemple décrites dans les brevets US 6588974, FR 2 855 523, EP 1 017 760, EP 690 102.

20 Comme autre additif, on peut également introduire un dérivé d'acide gras choisi dans le groupe constitué par les diesters d'acide gras, les éthers d'acide gras, les cires d'amides, les cires de diamide et leurs mélanges.

Le liant, selon cette variante, contient avantageusement 1 à 6% en masse de ladite cire par rapport à la masse totale du liant.

25

Comme additif de maniabilité, on peut également introduire une résine naturelle, éventuellement modifiée, d'origine végétale.

30 La majorité des résines naturelles ou naturelles modifiées d'origine végétale n'ont pas de point de fusion déterminé mais présentent une zone de ramollissement. La résine présente avantageusement un point de ramollissement inférieur à 130°C, encore plus avantageusement inférieur à 120°C et en outre avantageusement supérieur à 65°C.

Le liant contient avantageusement 1 à 6% en masse de ladite résine d'origine végétale par rapport à la masse totale du liant.

La résine d'origine végétale est avantageusement choisie dans le groupe constitué par les colophanes naturelles ou naturelles modifiées, les esters de colophane, les savons de colophane, les terpènes, le tall oil, le dammar, les résines accroïdes. La résine d'origine végétale est plus particulièrement une résine de colophane, par exemple le glycérol ester de colophane maléique. On peut par exemple citer les additifs décrits dans les brevets FR 2 945 818, FR 2 965 271.

On peut également citer les additifs décrits dans les brevets EP 2 062 943, FR 2 939 143, FR 2 901 279.

10

L'additif de maniabilité peut ne pas avoir de point de fusion / changement d'état dans la plage de température d'intérêt. Par exemple, on peut introduire un fluxant, également appelé huile de fluxage, à base de matières grasses animales et/ou végétales (huiles et graisses). L'huile de fluxage peut être une huile végétale, un résidu de distillation d'une huile végétale, l'un de ses dérivés tels que sa partie acide gras, un mélange d'acides gras, un produit de transestérification (par un alcanol en C1-C6) tel qu'un ester méthylique de l'huile végétale ou un dérivé de résine alkyde de l'huile végétale. L'huile végétale comprend des chaînes grasses insaturées. De telles huiles sont par exemple décrites dans les brevets FR 2 910 477, EP 900 822, FR 2 721 043, FR 2 891 838.

20

On pourra également utilisant des fluxants tels que ceux décrits dans les brevets WO2006/070104, WO 2011/151387 et FR16/57180 (demande non encore publiée).

On peut également envisager des additifs diminuant les tensions superficielles à l'interface liant/granulat (meilleure mouillabilité).

25

On peut par exemple utiliser les additifs décrits dans les demandes de brevet FR 2 883 882, EP 1 716 207, EP 1 915 420.

Des polymères superabsorbants, tels que ceux décrits dans la demande FR 2 950 893, pourraient également être utilisés.

30

Des enrobés hydrocarbonés maniables peuvent également être obtenus sans ajout d'additif de maniabilité.

Ainsi, le liant peut être expansé en mousse par emploi d'eau. L'eau peut être l'eau résiduelle des granulats ou d'additifs qui se vaporise au contact de granulats et de liant chauds pour faire mousser le liant sans pression.

Un exemple d'additif est une zéolithe, naturelle et/ou synthétique, ou sa phase de synthèse initiale amorphe, telle que décrite par exemple dans la demande de brevet WO2004/016565.

5 La zéolithe est capable de libérer sous l'action de la chaleur (c'est-à-dire à une température supérieure à 110 °C) des molécules d'eau qui se trouvent entre les couches ou les interstices de son réseau cristallin. La zéolithe utilisée est avantageusement une zéolithe synthétique du type A, P, X et/ou Y. De préférence, on utilisera un granulé de zéolithe de type A, notamment de la formule brute  $\text{Na}_{12}(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}, 27 \text{ H}_2\text{O}$  où  $\text{Na}_2\text{O}$  est de 18 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 28 %,  $\text{SiO}_2$  de 33 % et  $\text{H}_2\text{O}$  de 21 %.

10

On peut également fabriquer une mousse par introduction dans le liant d'air et d'eau sous pression.

Un autre moyen est de séquencer l'enrobage, tel que cela est par exemple décrit dans les brevets EP0 384 094, EP 0524031, EP 0781887, EP 0 552 574, FR 2 732 239, EP 1 668 184.

15

Par ailleurs, les enrobés hydrocarbonés sont avantageusement résistants à l'orniérage, plus avantageusement avec un pourcentage d'ornières après 30 000 cycles inférieur à 7,5%, avantageusement inférieur à 5%.

Le système est ainsi adapté à un trafic routier, y compris à fort trafic.

20

Le cas échéant, pour optimiser la résistance à l'orniérage, on utilisera avantageusement un liant additivé de polymères, tel que décrit précédemment.

Lorsque les enrobés hydrocarbonés comprennent un additif de maniabilité à changement d'état, cet additif va également permettre d'assurer une bonne résistance à l'orniérage.

25

On peut également ajouter de l'acide polyphosphorique, tel que par exemple décrit dans les brevets WO2007/143016, WO2011/153267, WO2006/119354, FR 2 852 018.

Les enrobés selon l'invention peuvent également comprendre un ou plusieurs additif(s). Des additifs peuvent être ajoutés soit au liant, soit au granulat, soit à l'enrobé.

30

Les additifs peuvent également être utilisés à des fins esthétiques, notamment pour un changement de couleur des produits routiers finaux. Il peut s'agir ainsi de pigment naturel ou non, tel que l'oxyde fer.

**Dispositif pour échangeur de chaleur :**

Le dispositif pour échangeur de chaleur comprend des tuyaux, dans lesquels au moins un fluide caloporteur va pouvoir circuler.

Les tuyaux sont avantageusement en polymère. En effet, on souhaite que la présence du  
5 dispositif dans le revêtement de voirie n'en impacte pas sa recyclabilité. Le polymère est choisi en fonction de la température d'application des enrobés hydrocarbonés. On choisit un polymère ayant une température de fusion ou de ramollissement ou de transition vitreuse supérieure à la température d'application des enrobés hydrocarbonés.

Une caractéristique importante de ces tuyaux est leur résistance à l'écrasement et leur  
10 dilatation thermique.

La résistance à l'écrasement est la force obtenue lorsque le tuyau est écrasé de telle manière que son diamètre extérieur est divisé par deux par rapport à son diamètre initial.

Les tuyaux ont une résistance à l'écrasement supérieure à 3000 N par mètre linéaire de  
15 tuyaux à 100°C, avantageusement supérieure à 4500 N, plus avantageusement supérieure à 10 000 N.

En particulier, les tuyaux ont une résistance à l'écrasement comprise entre 3000 N et 100 000 N, avantageusement entre 4500 N et 100 000 N, plus avantageusement entre 10 000 N et 100 000 N, par mètre linéaire de tuyaux à 100°C.

20 La dilatation thermique des tuyaux est avantageusement inférieure à  $200 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  à 20°C, plus avantageusement inférieure à  $160 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  à 20°C. La dilatation thermique des tuyaux est généralement supérieure à  $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  à 20°C.

On a en effet constaté, de manière surprenante, que dans les enrobés hydrocarbonés selon l'invention, lorsque les tuyaux présentent une telle résistance à l'écrasement et une telle  
25 dilatation thermique, lors du passage du compacteur, les tuyaux s'indentent sans se déformer et restent en place, même au niveau des virages. Il n'est pas nécessaire de les remplir avec un liquide de refroidissement ou un quelconque autre moyen de protection thermique et/ou mécanique et/ou de mise sous pression des tuyaux. Ceci constitue un avantage économique significatif.

30 Lors du chantier, les extrémités du tuyau pourront rester ouvertes sur l'extérieur et les tuyaux seront simplement remplis de l'air ambiant. On peut ainsi dire que les tuyaux sont posés à vide.

Néanmoins, la mise en circulation d'eau, avantageusement à une température inférieure à 80°C, en particulier allant de 5°C à 30°C, dans les tuyaux, pourra être envisagée lors de

l'indentation, c'est-à-dire lors de l'étape c) ou après indentation et avant application de la couche subséquente, c'est-à-dire après l'étape c) et avant l'étape d).

Pour un même polymère, la rigidité des tuyaux, et ainsi la résistance à l'écrasement, pourra être augmentée en augmentant l'épaisseur de peau des tuyaux.

5       Avantageusement, le retrait à chaud des tuyaux, mesuré selon la norme NF EN ISO 2505, de 2005, est inférieur à 3% (en étuve, à 150°C pendant 60 mn), plus avantageusement inférieur à 2%.

Une autre caractéristique avantageuse des tuyaux est leur adhérence au liant. On considère que les tuyaux adhèrent au bitume lorsque le critère suivant est rempli : les tuyaux sont badigeonnés d'émulsion cationique de bitume 50/70 dosé à 65% en poids de bitume, lors de cette  
10 opération si l'émulsion ne perle pas à la surface l'adhérence du tuyau est suffisante.

De tels tuyaux adhèrent aux enrobés hydrocarbonés selon l'invention et s'indentent donc plus facilement lors du compactage.

A titre d'exemple de polymère adapté, on peut citer le polyéthylène haute densité, le  
15 polyéthylène haute densité réticulé, le polypropylène, les copolymères bloc éthylène-propylène.

Les tuyaux du dispositif ont avantageusement un diamètre allant de 5 mm à 30 mm. Les tuyaux du dispositif ont avantageusement une épaisseur de peau allant de 1 mm à 5 mm.

20       Les tuyaux sont avantageusement préalablement mis en forme à la géométrie souhaitée. Ainsi, le procédé selon l'invention comprend une étape dans laquelle on impose une géométrie aux tuyaux du dispositif pour échangeur de chaleur avant l'étape b) de dépôt.

Cette étape peut être réalisée précédemment en usine ou en atelier bord de voie.

La géométrie imposée peut être toute géométrie permettant d'optimiser les échanges  
25 thermiques de la nappe en fonctionnement, notamment en fonction des applications recherchées. Le procédé selon l'invention permet d'indenter les tuyaux quel que soit leur courbure et ainsi offre une large souplesse sur la géométrie.

D'un point de vue thermique, les échanges sont favorisés lorsque les tuyaux indentés du dispositif dessinent un motif comprenant N lignes droites parallèles sensiblement de même  
30 longueur et N-1 virages dont l'angle de courbure peut varier de 90° à 180°. L'espacement entre les droites parallèles sera avantageusement de 10 cm à 45 cm, plus avantageusement de 20 cm à 40 cm.

Avant l'étape b), les tuyaux pourront être libres ou positionnés sur un substrat.

Lorsqu'ils sont libres, leur géométrie est avantageusement imposée par mémoire de forme. Autrement, le substrat sert à maintenir la géométrie et ainsi faciliter le positionnement des tuyaux en les supportant.

5 Le substrat est par exemple constitué d'un géo-matériau synthétique, tel qu'un géotextile ou une géogrille, constitué de polymère, éventuellement de bitume, éventuellement de fibres minérales ou organiques, tissé ou non tissé. Le substrat est de préférence perméable à l'eau et à l'émulsion de bitume pour favoriser le collage. Les fibres peuvent en particulier être des fibres de verre.

Le substrat peut rester dans la couche d'intégration ou être enlevé après l'étape b) ou c).

10 Le substrat restant dans la couche d'intégration après l'indentation, il permet également de renforcer la structure de ladite couche.

15 Les matériaux constituant les tuyaux et le substrat permettent avantageusement un recyclage simultané des enrobés hydrocarbonés de la couche d'intégration, éventuellement des autres couches, des tuyaux et du support, lorsqu'il est présent, lorsque le revêtement de voirie est enlevé, par exemple suite à une opération de fraisage. En particulier, le dispositif pour échangeur de chaleur indenté dans ladite couche d'intégration ne comprend pas d'élément métallique.

20 Le dispositif est avantageusement conditionné en plaque ou en rouleau, plus avantageusement en rouleau. Le conditionnement en plaque limite les dimensions pour assurer une livraison par camion : les dimensions maximum d'une cargaison sont une longueur de 12 m pour une largeur de l'ordre de 2,60 m.

Il est de préférence conditionné en usine mais il peut être préparé en atelier bord de voie.

25 Le conditionnement en plaque ou en rouleau permet la pose du dispositif en même temps que la réalisation de la chaussée et permet d'assurer des cadences compatibles avec la conduite d'un chantier.

Le conditionnement en plaque ou en rouleau permet également de limiter les éléments introduits dans la chaussée afin de conserver les propriétés mécaniques de la route.

30 En fonctionnement, un fluide caloporteur circule dans les tuyaux du dispositif pour échangeur thermique. Le fluide caloporteur peut être de l'eau ou de l'eau glycolée pour diminuer le point de congélation et la résistance au froid. On préfère une eau glycolée non nocive de nature mono-propylène glycol, comme préconisé par la norme NF X10-970 de janvier 2011.

Des additifs, notamment des additifs fongicides et bactéricides, pourront être ajoutés au fluide caloporteur. Ainsi, on évite un traitement de surface des tuyaux, telle qu'une barrière anti-oxygène, qui pourrait être défavorable à l'adhésion.

5 **Description détaillée du procédé :**

Le procédé selon l'invention se caractérise en ce que des tuyaux d'un dispositif pour échangeur de chaleur sont intégrés dans une couche d'enrobés hydrocarbonés, dite couche d'intégration, par indentation. Cette couche d'intégration pourra supporter tout trafic, y compris des forts trafics.

10 La couche d'intégration est ensuite recouverte d'au moins une couche de revêtement de voirie :

- i. adaptée aux trafics, des faibles trafics aux forts trafics en fonction des compositions des couches de la chaussée
  - ii. qui va capter l'énergie solaire (en mode récupération d'énergie) ou qui sera à réchauffer (en mode restitution d'énergie)
- 15

La voirie pourra être de large surface, ce qui fournira un échangeur thermique de grande dimension.

Pour optimiser les rendements énergétiques, la couche d'intégration est proche de la surface. En particulier, l'épaisseur combinée de la ou des couche(s) appliquée(s) par la suite sur ladite couche d'intégration est inférieure à 30 cm, avantageusement inférieure à 10 cm. Elle peut par exemple varier de 2 cm à 30 cm, avantageusement de 6 cm à 10 cm.

20

La couche de revêtement de voirie pourra comprendre un multicouche constitué à minima d'une couche de liaison et d'une couche de roulement.

Dans une variante, la couche de liaison a une épaisseur allant de 4 cm à 14 cm, avantageusement de 4 cm à 7 cm.

25

Dans une variante, la couche de roulement a une épaisseur allant de 2 cm à 10 cm, avantageusement de 5 cm à 7 cm.

Pour toutes les épaisseurs, sauf indication contraire, il s'agit de l'épaisseur après compactage.

30

Le procédé selon l'invention permet d'intégrer les tuyaux du dispositif pour échangeur de chaleur dans une couche d'intégration lors de la réalisation de la chaussée intégrant ladite couche d'intégration.

Les tuyaux sont indentés dans la couche d'intégration pendant la durée de mise en œuvre de l'enrobé hydrocarboné de la couche d'intégration, avant la fin du compactage. Cette durée de mise en œuvre est définie par la maniabilité de l'enrobé hydrocarboné.

5 Une indentation réussie dépend à la fois de la maniabilité de l'enrobé hydrocarboné et de la résistance à l'écrasement du tuyau. Plus le tuyau est résistant à l'écrasement, plus le seuil de tolérance sur la maniabilité des enrobés sera large. Plus les enrobés hydrocarbonés sont maniables, plus le seuil de tolérance sur la résistance à l'écrasement des tuyaux sera large.

Cependant, quel que soit l'enrobé maniable, le tuyau présente une résistance à l'écrasement supérieure à 3000 N par mètre linéaire de tuyaux à 100°C.

10 Cependant, quel que soit le tuyau, la maniabilité minimale de l'enrobé, mesurée avec un maniabilimètre Nynas à la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés, est inférieure à 400N.

Dans un mode de réalisation de l'invention, la maniabilité de l'enrobé est comprise entre 300 N et 400 N. Alors, la résistance à l'écrasement des tuyaux est supérieure à 4500 N par mètre  
15 linéaire de tuyaux à 100°C.

Dans un autre mode de réalisation de l'invention, la maniabilité de l'enrobé est inférieure à 300 N. Alors, la résistance à l'écrasement des tuyaux est supérieure à 3000 N par mètre linéaire de tuyaux à 100°C.

20 La profondeur d'indentation varie avantageusement de 0,5 d à 1,5 d, plus avantageusement de 0,8 d à 1,2 d, avec d représentant le diamètre des tuyaux. Pour assurer une planéité de la couche d'intégration, il est souhaitable que pas plus de la moitié du diamètre des tuyaux dépasse de la couche. Par contre, pour assurer de bons échanges thermiques avec la chaussée au-dessus, les tuyaux doivent être aussi proches que possible de la surface.

25 Un grand avantage du procédé selon l'invention est que le compactage peut être réalisé directement, sans nécessiter d'étape(s) supplémentaire(s) de protection des tuyaux.

En outre, les étapes suivantes, d'application au-dessus de la couche d'intégration de la ou des couche(s) de surface pour revêtement de voirie peuvent être réalisées directement, sans nécessiter d'étape(s) supplémentaire(s) de protection des tuyaux. En effet, la couche  
30 d'intégration permet non seulement de maintenir au sol la géométrie recherchée mais également de protéger les tuyaux.

Les enrobés hydrocarbonés sont répandus selon les procédés traditionnels, avantageusement au finisseur. On pourra utiliser des enrobés hydrocarbonés à chaud ou tièdes, avec une préférence pour des enrobés hydrocarbonés tièdes.

5 En particulier, la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés est inférieure à 160°C, avantageusement inférieure à 140°C, plus avantageusement inférieure à 130°C. Dans un mode de réalisation, la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés est comprise entre 60°C et 120°C, avantageusement comprise entre 90°C et 120°C.

10 Les tuyaux du dispositif sont ensuite déposés et indentés par compactage dans les enrobés hydrocarbonés pendant leur durée de mise en œuvre. Par le procédé selon l'invention, les tuyaux ne sont pas dégradés, en particulier déformés, par les rouleaux du compacteur et restent en position, quel que soit leur courbure, et ainsi y compris dans les boucles ou virages. Il en va de même lorsque les finisseurs, y compris ceux à chenilles, passent ensuite sur les tuyaux indentés.

15 Comme cela est de pratique, le compactage pourra se faire en plusieurs passes.

Avantageusement, on n'applique pas de vibration lors du compactage. Ainsi, avantageusement, lors de l'étape c) on n'applique pas de vibration.

20 Le conditionnement des tuyaux sous la forme de rouleau ou de plaques permet d'assurer une cadence de pose élevée. Avantageusement, la cadence de pose et d'indentation est supérieure à 2 m/min, plus avantageusement de 4 m/min à 10 m/min.

25 La pose des tuyaux simultanée à la conception de la couche d'intégration selon l'invention, en particulier avec un enrobé hydrocarboné compact, permet d'assurer un contact optimal entre les tuyaux et les enrobés hydrocarbonés et ainsi limiter la présence de vide autour des tuyaux. Ainsi, le procédé selon l'invention ne nécessite pas l'emploi d'un matériau de comblement et/ou adhésif.

30 Avantageusement, le dispositif pour échangeur de chaleur intégré dans la couche d'intégration ne comprend pas d'élément métallique. Ainsi, les matériaux constituant le dispositif (les tuyaux, le substrat et éléments d'attache éventuels) ne font pas obstacle à un recyclage, avantageusement simultané, des enrobés, tel que cela a déjà été explicité précédemment.

L'ajout de tuyaux, en polymère, dans la couche de surface n'est pas non plus préjudiciable à son recyclage.

La couche d'intégration comprend avantageusement moins de 10%, plus avantageusement moins de 5%, encore plus avantageusement moins de 1%, en volume de polymère par m<sup>3</sup> d'enrobés hydrocarbonés. Ainsi, cette couche, après rabotage lors de la réfection de la chaussée, peut être recyclée et réutilisée sans traitement préalable.

5

L'épaisseur de la couche d'intégration varie avantageusement de d à 10 cm, plus avantageusement de d à 8 cm, avec d représentant le diamètre des tuyaux.

Comme évoqué précédemment, la couche d'intégration peut être isolante.

10

En complément ou en alternative, le procédé selon l'invention peut comprendre une étape, préalable au répandage des enrobés hydrocarbonés formant la couche d'intégration selon l'invention, d'application d'une couche de matériaux isolants.

Ces matériaux isolants peuvent par exemple être une couche d'enrobés comprenant les granulats légers décrits précédemment, une isolation thermique en verre cellulaire qui se présente sous forme de plaques de format 60 cm x 45 cm ou 120 cm x 60 cm, et composée de bulles de verre rigides et hermétiquement closes commercialisé sous le nom FOAMGLAS®, du polystyrène, ...

15

Avantageusement, la conductivité thermique,  $\lambda$ , de la couche de matériaux isolants est inférieure à 1 W/m.K.

20

Cette couche de matériaux isolant est avantageusement mise en œuvre lorsque la couche d'intégration n'est pas elle-même isolante. Cette couche de matériaux isolant peut aussi remplir la fonction de couche support.

Une couche d'accrochage peut être déposée sur la couche d'intégration. Cette couche d'accrochage permet d'améliorer l'accrochage entre les enrobés hydrocarbonés de la couche d'intégration et la couche de roulement ou la couche de liaison. Elle permet également de protéger la couche d'intégration comprenant le dispositif pour échangeur thermique.

25

La couche d'accrochage répond aux spécifications de la norme NF P 98-150-1 de juin 2010.

30

Avantageusement, le procédé selon l'invention comprend les étapes successives suivantes :

- aaa) Le cas échéant, application d'une couche de matériaux isolants, puis
- aa) Le cas échéant, application d'une couche d'adhésion, puis

- 5 a) répandage à une température inférieure à 160°C d'enrobés hydrocarbonés, comprenant une fraction granulaire, un liant hydrocarboné, lesdits enrobés hydrocarbonés étant maniabiles, ayant une maniabilité, mesurée avec un maniabilimètre Nynas à la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés, inférieure à 400N, puis
- 10 b) dépôt de tuyaux, lesdits tuyaux ayant une résistance à l'écrasement supérieure à 3000 N par mètre linéaire de tuyaux à 100°C, une dilatation thermique inférieure à  $200 \cdot 10^{-6}$  m/mK à 20°C, puis
- c) indentation des tuyaux déposés dans ladite couche d'intégration par compactage desdits enrobés pendant la durée de maniabilité desdits enrobés, pour former une couche d'intégration comprenant les tuyaux d'un dispositif pour échangeur de chaleur ;
- 15 dd) application d'une couche d'accrochage, avantageusement une couche d'enrobés hydrocarbonés à froid, puis
- d) Application d'une couche de roulement.

La couche d'accrochage répond aux spécifications de la norme NF P 98-150-1 de juin 2010.

20 On peut également déposer au-dessus de la couche d'intégration ou de la couche d'accrochage, le cas échéant, une couche colorée servant d'avertisseur visuel.

25 Les couches de surface du revêtement de voiries constituent un échangeur thermique fonctionnant en captation ou en restitution de chaleur, en fonction du climat, de large surface. En fonctionnement, un fluide caloporteur circule dans les tuyaux reliés à tout système thermique adapté, incluant une nappe de géothermie en profondeur, une sonde géothermique verticale, une pompe à chaleur, ...

30 Un autre objet de l'invention est un procédé de recyclage d'un revêtement de voirie selon l'invention, comprenant un dispositif pour échangeur thermique tel que défini précédemment, comprenant les étapes successives suivantes :

- A. désagrégation et d'enlèvement de matériaux liés incluant la couche d'intégration comprenant le dispositif pour échangeur thermique ;
- B. recyclage des éléments récupérés à l'étape précédente, sans opération de tri ou de séparation des éléments du dispositif pour échangeur thermique.

Une vue en coupe d'un revêtement de voiries comprenant en surface un dispositif pour échangeur de chaleur est représentée sur la figure 1.

Les tuyaux 1, dans lesquels circule un fluide caloporteur, sont indentés dans une couche  
5 d'intégration 2. Cette couche d'intégration 2 peut être de forte conductivité ou isolante, en fonction de la nature de la fraction granulaire de l'enrobé hydrocarboné.

Cette couche d'intégration 2 est déposée sur une couche support 3, qui pourra être une couche isolante. Cette couche support 3 est avantageusement isolante lorsque la couche d'intégration 2 n'est pas elle-même isolante.

10 Sur la couche d'intégration 2 est déposée une couche de roulement 4. Cette couche de roulement 4 a une forte conductivité et constitue l'échangeur thermique qui va capter l'énergie solaire ou constitue la surface à réchauffer, notamment en vue d'un déneigement ou déverglaçage de chaussée.

Sur la figure 2, on a représenté la couche d'intégration 2 comprenant les tuyaux 1 sur laquelle une  
15 couche de roulement 4 est déposée.

Sur la figure 3, un exemple de géométrie possible des tuyaux 1 dans la couche d'intégration 2 est représenté.

Une vue éclatée de la couche d'intégration 2, des tuyaux 1 et de la couche de roulement 4 est représentée sur la figure 4.

20

#### **Protocoles :**

##### Maniabilité :

Un essai de maniabilité réalisé suivant la norme 98-258-1, de 2013, et adapté :

- avec un maniabilimètre Nynas (version dit « grand volume » et ayant une largeur de 30 cm, une  
25 longueur de 32 cm et une hauteur de 13 cm)

- à une compacité de l'enrobé de 75 % (teneur en vide : 25%)

- avec une température inférieure ou égale à la température de mise en œuvre (température adaptée)

30 Compacité :

La compacité d'une formule est mesurée au moyen d'une presse à cisaillement giratoire (NF EN 12697-31 d'août 2007). Une éprouvette cylindrique d'enrobé est compactée en combinant une action de cisaillement rotative et une force résultante axiale appliquée par une tête mécanique.

Cet essai permet de déterminer la compacité d'une éprouvette pour un nombre de giration donné en mesurant la hauteur d'éprouvette associée.

Essai d'indentation en laboratoire :

5 Un enrobé est mis en œuvre dans sur banc de compactage suivant la norme NF P 12697-33 de septembre 2007, dans un moule de dimension 500 mm x 180 mm à sa température de mise en œuvre. La compacité de l'enrobé est amené à 75% par un compactage au rouleau. Les tuyaux sont positionnés à la surface de l'enrobé, transversalement au sens de circulation du rouleau. Ils sont maintenus en place par un ruban de scotch placé dans le sens de circulation du rouleau. Les  
10 tuyaux sont indenté dans l'enrobé par 6 à 10 passages de rouleau.

La bonne indentation du tuyau est jugée visuellement sur deux critères : la forme de l'empreinte laissée par le tuyau dans l'enrobé : celle-ci doit être profonde d'une dimension proche du diamètre du tuyau. La forme de la section du tuyau à l'issu de l'essai, celui-ci doit ne doit pas s'être ovalisé.

15

Mesures de conductivité thermique :

Pour déterminer la conductivité thermique, une éprouvette cylindrique (diamètre 16 cm, épaisseur qui peut varier, le plus souvent de 5 cm à 10 cm) du matériau à caractériser, après une durée de murissement de 14 jours, est soumise à une différence de température : 25°C sur une  
20 face, 10°C sur l'autre face. La mesure du flux thermique la traversant, la différence de température entre les faces et l'épaisseur de l'éprouvette permettent de déterminer la conductivité thermique du matériau en utilisant la relation :

$$\phi = -\lambda \cdot \Delta T / L \text{ avec :}$$

- $\lambda$  la conductivité thermique exprimée en W/m.K
- 25 •  $\phi$  le flux thermique traversant l'éprouvette exprimé en W/m<sup>2</sup>
- $\Delta T$  la différence de température aux bords de l'éprouvette exprimée en °C ou Kelvin
- L La hauteur de l'éprouvette en mm

Ecrasement :

30 Pour déterminer la résistance à l'écrasement des tuyaux, un échantillon de tuyau, d'une longueur comprise entre 5 cm et 10 cm est découpé. Cet échantillon est ensuite placé pendant 2 heures dans une étuve à une température de 100°C. L'essai d'écrasement est ensuite réalisé à la température de 100°C. L'échantillon est ensuite positionné, sur sa génératrice, entre les deux plateaux parallèles d'une presse, placés dans une enceinte climatique réglée à 100°C. La presse

impose à l'échantillon un déplacement de 10 mm/min. La valeur de résistance à l'écrasement est déterminée lorsque le diamètre de l'échantillon est divisé par deux par rapport au diamètre initial de l'échantillon. Elle est exprimée en Newton par mètre linéaire de tuyau en utilisant la relation :

$R_t = F_t / L_t$  avec :

- 5       •  $R_t$  : résistance à l'écrasement du tuyau en N/m
- $F_t$  : force développée pour écraser le tuyau jusqu'à une réduction de moitié de son diamètre en N
- $L_t$  : longueur de l'échantillon soumis à l'essai en mm

10    Dilatation thermique : elle est mesurée selon la norme NF EN ISO 2505, de septembre 2005,

Adhérence au bitume :

Les tuyaux adhèrent au bitume lorsque le critère suivant est rempli : les tuyaux sont badigeonnés d'une émulsion cationique de bitume 50/70 dosée à 65% en poids de bitume conforme à la  
15   norme NF EN 13808 d'août 2013 à l'aide un pinceau. Après une minute on procède à un examen visuel. Si l'émulsion ne perle pas à la surface l'adhérence du tuyau est suffisante.

L'exemple qui suit illustre l'invention et présente également des essais comparatifs. Il rapporte des essais réalisés en condition chantier.

20

Description des échantillons :

Tuyaux

Trois types de tuyaux sont évalués :

25       1. TUYAU 1 : Tuyau en polyéthylène haute densité, réticulé avec barrière anti-oxygène (BAO) de diamètre 20 mm et épaisseur de peau 1.9 mm. Le coefficient de dilatation de ce tuyau est de  $140.10^{-6}$  m/mK à 20°C. Le retrait à chaud, mesuré suivant la norme NF EN ISO 2505 de septembre 2005, est inférieur à 3% (en étuve, à 150°C pendant 60 mn). La résistance à l'écrasement mesuré à 100°C est de 3000 N par mètre linéaire de tuyaux.

30       2. TUYAU 2 : Tuyau en polyéthylène haute densité de diamètre 20 mm et épaisseur de peau de 3 mm. Le coefficient de dilatation du PE-HD est de  $280.10^{-6}$  m/mK à 20°C. La résistance à l'écrasement mesuré à 100°C est de 10000 N par mètre linéaire de tuyaux.

3. TUYAU 3: Tuyau en polypropylène de diamètre 17 mm et d'épaisseur de peau de 2,2 mm. Le coefficient de dilatation de ce tuyau est de  $160 \cdot 10^{-6}$  m/mK à 23°C. Le retrait à chaud, mesuré suivant la norme NF EN ISO 2505 de septembre 2005, est inférieur à 2% (en étuve, à 150°C pendant 60 mn). La résistance à l'écrasement mesuré à 100°C est de 4500 N par mètre linéaire de tuyaux.
4. TUYAU 4 : Tuyau en polyéthylène haute densité, réticulé de diamètre 16 mm et épaisseur de peau 2 mm. Le coefficient de dilatation de ce tuyau est de  $140 \cdot 10^{-6}$  m/mK à 20°C. Le retrait à chaud, mesuré suivant la norme NF EN ISO 2505 de septembre 2005, est inférieur à 3% (en étuve, à 150°C pendant 60 mn). La résistance à l'écrasement mesuré à 100°C est de 2500 N par mètre linéaire de tuyaux.

#### Support tuyaux

Plusieurs substrats ont été utilisés en tant que support pour les serpentins de tuyaux :

1. SUBSTRAT 1 : Géo-grille de renforcement de chaussée en fibre de verre avec des mailles de 25 mm x 25 mm, avec surface adhésive intégrée sur une face
2. SUBSTRAT 2 : Géo-grille de renforcement de chaussée en fibre de verre avec des mailles de 25 mm x 25 mm.
3. SUBSTRAT 3 : Rails en polypropylène permettant de clipper les tuyaux pour les maintenir en forme.
4. SUBSTRAT 4 : Dalles d'engazonnement en polyéthylène haute densité.

Les nappes de tuyaux sont préfabriquées suivant plusieurs motifs :

- transversalement (c'est à dire que les tuyaux seront disposés perpendiculairement à l'avancée de l'atelier de mise en œuvre de l'enrobé) sous un motif ayant 4 à 6 lignes droites parallèles de 4.5 m, espacées de 30 cm, et 3 à 5 virages dont l'angle de courbure est de 180°, ou
- longitudinalement (c'est à dire que les tuyaux seront disposés parallèlement à l'avancée de l'atelier de mise en œuvre de l'enrobé) sous d'un motif ayant 4 à 6 lignes droites parallèles de 4.5 m, espacées de 30 cm et 3 à 5 virages dont l'angle de courbure est de 180°

Le TUYAU 3 est préalablement mis en œuvre par thermoformage. Le tube est posé à chaud par irrigation d'eau chaude à 80°C minimum à l'aide d'un appareil constitué d'un réchauffeur et d'un dérouleur lors de l'étape b) pour leur donner la forme désirée. Lors de l'indentation, il n'y a plus de circulation d'eau dans les tuyaux.

Les tuyaux, d'une longueur de l'ordre de 30 m, sont ouverts sur l'extérieur à chacune des deux extrémités et ne contiennent donc rien d'autre que l'air ambiant.

#### Formule enrobés

- 5 Les enrobés, ENROBE-1 suivants ont été utilisés dans les essais de laboratoire :

		% en poids par rapport au poids total de la fraction granulaire
Fraction granulaire	filler* (<0,063 mm)	9,8 %
	Sable (0,063 - 2 mm) Microdiorite / THIVIERS	30,8 %
	Granulats 2/10 mm Microdiorite / THIVIERS	59,4%
Bitume 35/50	5,0 %**	
Additif de maniabilité	Néant	
Température de fabrication	160 °C	
Maniabilité NF P 98-258-1 de 2013	300 N	
Orniérage (NF EN 12697-22, 2007)		
Nombre de cycles	30000	
Ornière (%)	9%	
PCG (NF EN 12697-31, 2007)		
Nombre de giration	60	
Vide (%)	4,1	

Tableau 1

\* filler = fines

\*\* % =, par rapport au poids total de l'enrobé

- 10 Enrobé fabriqué à chaud sans séquençage ou moussage du liant . La maniabilité est apportée par la température de fabrication et le squelette granulaire.

Les enrobés, ENROBE-2 suivants ont été utilisés dans les essais de laboratoire :

		% en poids par rapport au poids total de la fraction granulaire
Fraction granulaire	filler* (<0,063 mm)	8,9 %
	Sable (0,063 - 2 mm) Microdiorite / THIVIERS	27,8 %
	Granulats 2/10 mm Microdiorite / THIVIERS	63,3 %
Bitume 13/20	5,4 %**	
Additif de maniabilité	Néant	
Température de fabrication	160 °C	
Maniabilité NF P 98-258-1 de 2013	500 N	
Orniérage (NF EN 12697-22, 2007)		
Nombre de cycles	30000	
Ornière (%)	3,2 %	
PCG (NF EN 12697-31, 2007)		
Nombre de giration	60	
Vide (%)	5,1	

Tableau 2

5 \* filler = fines

\*\* % =, par rapport au poids total de l'enrobé

Enrobé fabriqué à chaud sans séquençage.

Les enrobés, ENROBE-3 suivants ont été utilisés dans les essais sur planche d'essai chantier :

		% en poids par rapport au poids total de la fraction granulaire
Fraction granulaire	filler* (<0,063 mm)	8,3 %
	Sable (0,063 - 2 mm) SGC	37,1 %
	Granulats 2/8 mm SGC	56,5 %
Bitume 35/50	5,0 %**	
Additif de maniabilité	0,4 %	
Température de fabrication	140 °C	
Maniabilité NF P 98-258-1 de 2013	350 N	
Orniérage (NF EN 12697-22, 2007) Nombre de cycles Ornière (%)	-	
PCG (NF EN 12697-31, 2007) Nombre de giration Vide (%)	60 5,4	

Tableau 3

\* filler = fines

5 \*\* % =, par rapport au poids total de l'enrobé

Enrobé fabriqué à tiède sans séquençage ou moussage du liant. La maniabilité est apportée par l'additif de maniabilité et le squelette granulaire.

10 L'additif de maniabilité est une huile de ricin hydrogénée présentant les caractéristiques suivantes :

Point de fusion (°C)	84-89
Indice d'acide (mg KOH/g)	≤ 2
Indice de saponification (mg KOH/g)	174 / 186
15 Indice d'iode (gl <sub>2</sub> /100g)	≤ 3,5

Indice d'hydroxyle (mg KOH/g)	155 – 165
Indice d'acétyle	≥ 139
Insaponifiable (%)	≤ 1,0

5 Cette huile de ricin hydrogénée présente, après saponification, approximativement la composition en acides gras suivante (pourcentages exprimés en poids par rapport au poids total) :

- 87% d'acide 12-hydroxy-octadécanoïque
- 11% d'acide stéarique
- 2% d'acide palmitique
- des traces d'acide (9, 10)-dihydroxystéarique

10

### **Résultats**

15 Pour les SUBSTRAT 1 à 3, la nappe préfabriquée est disposée directement sur l'enrobé en sortie de finisseur avant d'être indentée par le compacteur. Le finisseur est de type ABG 7820 avec une largeur de table de pose réglable de 2.5 à 5 m ; il a permis de réaliser une voie de 5 m de large en une seule passe. Le compacteur est de type Hamm DV 90 (tandem vibrant), son poids est d'environ 9 tonnes.

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Nature du tuyau	Substrat	Réalisation	Observations
TUYAU 1	SUBSTRAT 1	La nappe est disposée transversalement directement sur l'enrobé en sortie de finisseur avant d'être indentée par le compacteur	Manque d'adhérence du tuyau Manque de rigidité du tuyau (écrasement, aplatissement du tuyau) pour cette maniabilité d'enrobé
	SUBSTRAT 2		
TUYAU 1	SUBSTRAT 1	La nappe est disposée longitudinalement directement sur l'enrobé en sortie de finisseur avant d'être indentée par le compacteur	Difficulté de mise en œuvre : manque d'adhérence impliquant un déplacement menant à la destruction de la nappe préfabriquée
	SUBSTRAT 2		

Nature du tuyau	Substrat	Réalisation	Observations
TUYAU 2	SUBSTRAT 1	Des nappes de tuyaux fixés sur des grilles collantes et non collantes sont disposées transversalement directement sur l'enrobé en sortie de finisseur avant d'être indentée par le compacteur	Rigidité des tuyaux suffisante : Pas d'ovalisation du tuyau Adhérence du tuyau satisfaisante Retrait thermique significatif entraînant la sortie des tuyaux au niveau des virages Pas de différence significative en fonction du substrat
	SUBSTRAT 2		
TUYAU 2	SUBSTRAT 1	La nappe est disposée longitudinalement directement sur l'enrobé en sortie de finisseur avant d'être indentée par le compacteur	Difficulté de mise en œuvre en longitudinal : déplacement de la nappe lors de l'étape de compactage
	SUBSTRAT 2		
TUYAU 3	SUBSTRAT 1	La nappe est disposée transversalement directement sur l'enrobé en sortie de finisseur avant d'être indentée par le compacteur	Rigidité des tuyaux suffisante : Pas d'ovalisation du tuyau Adhérence du tuyau satisfaisante Pas de retrait des tuyaux qui restent indentés
TUYAU 3	SUBSTRAT 1	La nappe est disposée transversalement longitudinalement directement sur l'enrobé en sortie de finisseur avant d'être indentée par le compacteur	Rigidité des tuyaux suffisante : Pas d'ovalisation du tuyau Adhérence du tuyau satisfaisante Les tuyaux restent indentés

Nature du tuyau	Substrat	Réalisation	Observations
TUYAU 1	SUBSTRAT 4	Un serpentín de tuyau est fixé sur des dalles de stabilisation avant application des enrobés	Destruction de la nappe au passage du finisseur : Les nappes ne sont pas solidaires du sol support et se déforment au passage du finisseur.
Hors procédé selon l'invention -INVTUYAU 3	-	Les tuyaux mis en forme, sont déposés sur le sol et tenus par des agrafes avant application des enrobés	Les tuyaux se déforment lors du passage du finisseur, c'est-à-dire lors de l'application des enrobés Apparition de fissurations en surface

Tableau 4

Il ressort de cette série de tests que le choix d'un enrobé 0/6 maniable (350 N) permet d'indenter des tuyaux, non protégés, sans les déformer ou les dégrader, dès lors qu'ils sont suffisamment rigides (résistance à l'écrasement supérieure à 4500 N par mètre linéaire de tuyaux à 100°C), et pour ce type d'enrobé, adhérents au bitume. Dans un enrobé 0/6 maniable (350 N), un tuyau ayant une résistance à l'écrasement supérieure à 4500 N par mètre linéaire de tuyaux à 100°C et une dilatation thermique maîtrisée (coefficient de dilatation inférieur à  $160 \cdot 10^{-6}$  m/mK à 20-25°C) permet d'obtenir des résultats satisfaisants sans moyen de protection thermique et/ou mécanique, en particulier sans refroidissement ou sans mise sous pression.

La couche d'intégration est nécessaire et suffisante pour protéger les tuyaux lors du passage des engins de chantier.

Lorsque les tuyaux peuvent être mis en forme par mémoire de forme, l'emploi d'un substrat ne semble pas utile.

15

Il convient de noter que pour indenter des tuyaux moins rigides (résistance à l'écrasement comprise entre 3000 N et à 4500 N par mètre linéaire de tuyaux à 100°C), il faut augmenter la maniabilité de l'enrobé hydrocarboné.

Autres résultats en laboratoire :

Des essais d'indentation ont été réalisés à l'échelle de maquette de laboratoire.

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

5

	TUYAU-1	TUYAU-2	TUYAU-3	TUYAU-4
ENROBE-1 Très Maniable Sans additif	Indentation satisfaisante	Indentation satisfaisante	Indentation satisfaisante	Tuyau totalement écrasé
ENROBE-2 Peu maniable Sans additif	Mauvaise indentation avec ovalisation du tuyau	Indentation satisfaisante	Mauvaise indentation avec ovalisation du tuyau	Tuyau totalement écrasé
ENROBE-3 Maniable Avec additif	Mauvaise indentation avec ovalisation du tuyau	Indentation satisfaisante	Indentation satisfaisante	Tuyau totalement écrasé

Tableau 5

## Revendications

1. Procédé de fabrication d'un revêtement de voiries comprenant en surface des tuyaux d'un dispositif pour échangeur de chaleur, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
- 5
- a) répendage à une température inférieure à 160°C d'enrobés hydrocarbonés, comprenant une fraction granulaire, un liant hydrocarboné, lesdits enrobés hydrocarbonés étant maniabiles, ayant une maniabilité, mesurée avec un maniabilimètre Nynas à la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés, inférieure à 400N, puis
- 10
- b) dépôt de tuyaux, lesdits tuyaux ayant une résistance à l'écrasement supérieure à 3000 N par mètre linéaire de tuyaux à 100°C, une dilatation thermique inférieure à  $200 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  à 20°C de sorte à permettre leur indentation même en l'absence de moyen de refroidissement ou de moyen de mise sous pression, puis
- 15
- c) indentation des tuyaux déposés dans ladite couche d'intégration par compactage desdits enrobés pendant la durée de maniabilité desdits enrobés, pour former une couche d'intégration comprenant des tuyaux d'un dispositif pour échangeur de chaleur, puis
- 20
- d) application au-dessus d'une couche de surface pour revêtement de voirie, en particulier une couche de roulement.
2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'on impose une géométrie aux tuyaux du dispositif pour échangeur de chaleur avant l'étape b) de dépôt.
- 25
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lors de l'étape c) on n'applique pas de vibrations.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la profondeur d'indentation varie de 0,5 d à 1,5 d, avantageusement de 0,8 d à 1,2d, avec d représentant le diamètre des tuyaux.
- 30
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés est inférieure à 130°C,

avantageusement comprise entre 60°C et 120°C, plus avantageusement comprise entre 90°C et 120°C.

- 5 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la compacité de la formule d'enrobé mesurée au moyen d'une presse à cisaillement giratoire à 60 girations, selon la norme NF EN 12697-31 d'août 2007, est supérieure à 90%
- 10 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la maniabilité des enrobés hydrocarbonés, mesurée avec un maniabilimètre Nynas à la température de mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés, est inférieure à 300N, avantageusement inférieure à 250 N.
- 15 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le liant comprend un additif de maniabilité, présentant une température de fusion supérieure à 60 °C et inférieure à 130°C, en particulier l'additif de maniabilité est un triglycéride d'acides gras, l'acide gras étant choisi dans le groupe constitué par les acides gras saturés comprenant de 12 à 30 atomes de carbone, éventuellement substitués par au moins une fonction hydroxyle ou par un radical alkyle en C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>, en particulier l'acide gras est choisi dans le groupe constitué par l'acide 12-hydroxy-octadécanoïque, l'acide hexadécanoïque, l'acide octadécanoïque, l'acide 9,10-dihydroxy- octadécanoïque, l'acide icosanoïque, l'acide nonadécanoïque, et leurs mélanges
- 20 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les éléments de la fraction granulaire des enrobés hydrocarbonés ont des dimensions comprises entre 0 mm et 10 mm, avantageusement entre 0 mm et 6 mm.
- 25 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la conductivité thermique,  $\lambda$ , des enrobés hydrocarbonés est supérieure ou égale à 1 W/m.K.
- 30 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la conductivité thermique,  $\lambda$ , des enrobés hydrocarbonés est inférieure à 1 W/m.K.

12. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la fraction granulaire des enrobés hydrocarbonés comprend des éléments choisis parmi des granulats légers de masse volumique inférieure à  $1,6 \text{ t/m}^3$ .
- 5 13. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que tout ou partie des granulats légers sont des granulats légers non absorbants ayant un coefficient d'absorption d'eau inférieur à 15%.
- 10 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les enrobés hydrocarbonés sont résistants à l'orniérage, avantageusement avec un pourcentage d'ornières après 30 000 cycles inférieur à 7,5%, avantageusement inférieur à 5%.
- 15 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif pour échangeur de chaleur indenté dans ladite couche d'intégration ne comprend pas d'élément métallique.
- 20 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'épaisseur de la couche d'intégration varie de  $d$  à 10 cm, avec  $d$  représentant le diamètre des tuyaux.
- 25 17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'épaisseur combinée de la ou des couche(s) appliquée(s) par la suite sur ladite couche d'intégration est inférieure à 30 cm, avantageusement inférieure à 10 cm.
18. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une étape, préalable au répandage des enrobés hydrocarbonés de la couche d'intégration, d'application d'une couche de matériaux isolants.
- 30 19. Procédé de recyclage d'un revêtement de voirie, comprenant un dispositif pour échangeur thermique en surface, tel que défini à l'une quelconque des revendications précédentes, le dispositif pour échangeur de chaleur indenté dans ladite couche d'intégration ne comprenant pas d'élément métallique comprenant les étapes successives suivantes :

5

1. désagrégation et enlèvement de matériaux liés incluant la couche d'intégration comprenant le dispositif pour échangeur thermique ;
2. recyclage des éléments récupérés à l'étape précédente, sans opération de tri ou de séparation des éléments du dispositif pour échangeur thermique

1/2

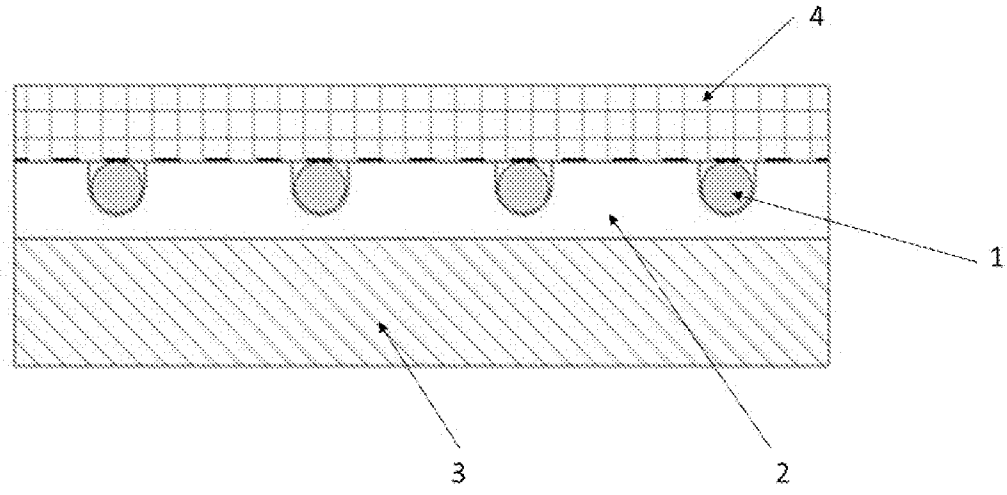


Fig. 1

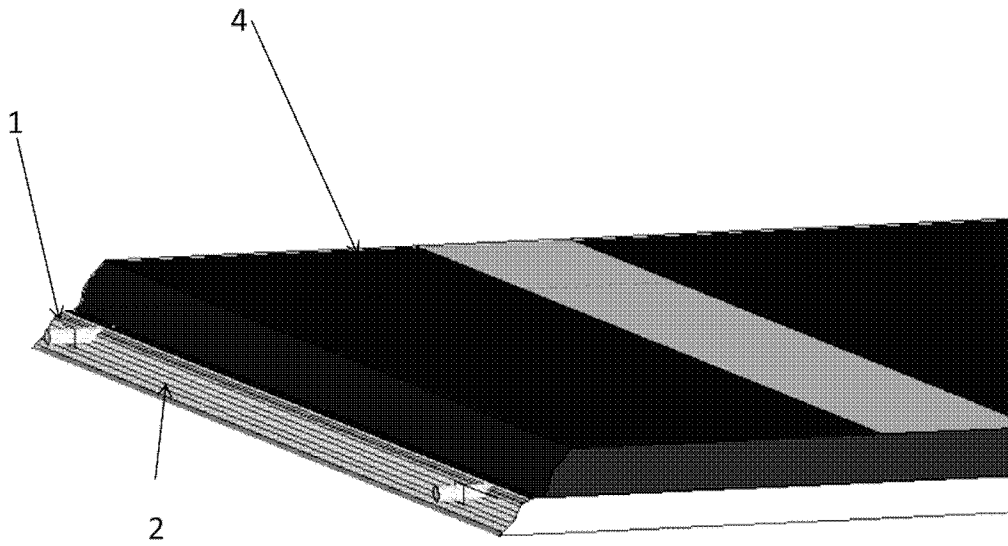


Fig. 2

2/2

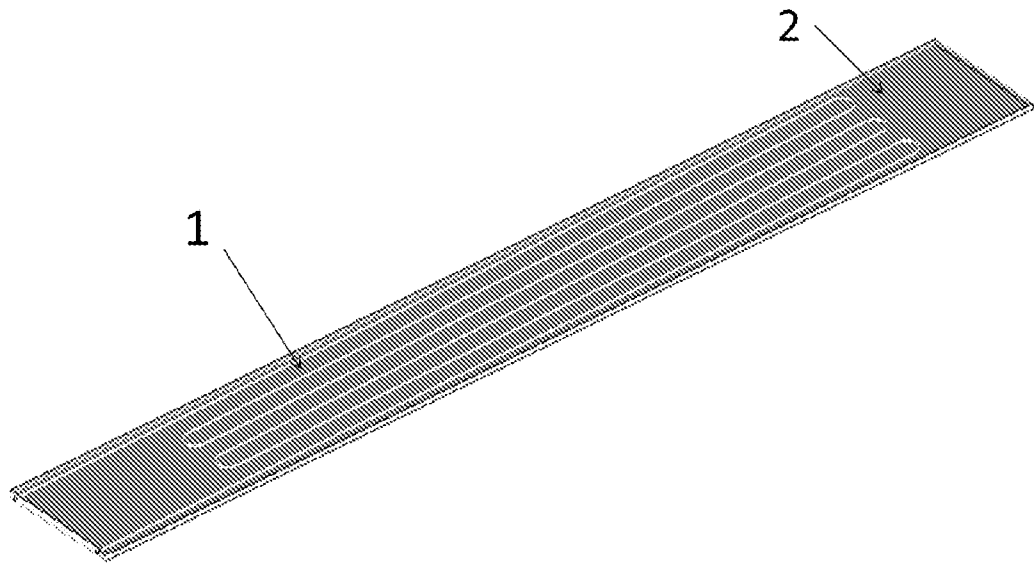


Fig. 3

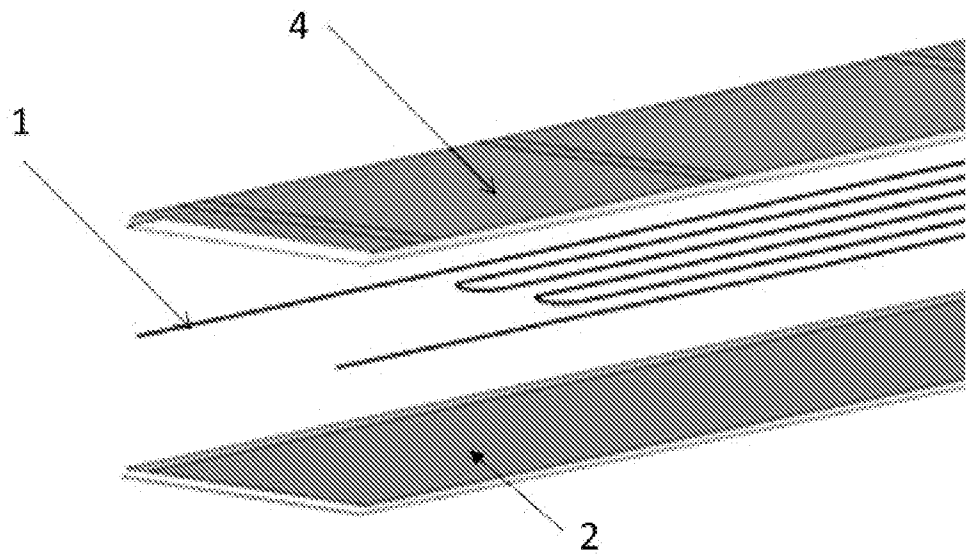


Fig. 4