

Sommaire

1. Introduction	2
2. Contexte normatif : définition des enrobés tièdes et semi-tièdes	3
3. Approche contractuelle	4
4. Les procédés	4
1.1.4.1 Les principaux procédés employés en France	4
1.2.4.2 Moyens de fabrications	4
i. Système de dosage d'introduction d'additifs et/ou d'eau	5
ii. Incidence de la diminution de la température des émissions	6
iii. Contrôle et réglage des brûleurs	6
iv. Contrôle de la teneur en eau	6
v. Traitement des vapeurs d'eau	6
vi. Incorporation des agrégats d'enrobés	6
vii. Bilan des adaptations des postes d'enrobage	7
5. Formulation et exécution des travaux	8
1.3.5.1 Formulation	8
i. Enrobés avec ajout d'un additif dans le liant	8
ii. Enrobés à la mousse de bitume	8
iii. Enrobés avec une fraction de matériau humide (<100°C)	8
1.4.5.2 Exécution des travaux	8
i. Fabrication	8
ii. Suivi de la mise en œuvre	8
6. Aspects environnementaux et sanitaire	9
6.1 Analyse au moyen d'éco comparateurs	9
1.5.6.2 Mesures sur sites	9
6.3 Aspects sanitaires	10
7. Retour d'expériences	10
9. Les asphaltes à basses températures	13
9.1 Définitions	13
9.2 Formulation et critères de choix	13
9.3 Fabrication de l'asphalte coulé	13
9.4 Essais et contrôles	13
i. Sur les matières premières	14
ii. Sur le produit fini	14
9.5 Domaines d'utilisation	14
9.6 Mise en œuvre	15
10. Annexes	15
10.1 Contexte normatif : Définition des produits et des performances	15
i. Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG)	15
ii. Béton Bitumineux à Module Élevé (BBME)	16
iii. Béton Bitumineux Mince (BBM)	17
iv. Béton Bitumineux Drainant (BBDr)	17
v. Béton Bitumineux Très Mince (BBTM)	18
vi. Grave Bitume (GB)	18
vii. Enrobé à Module Élevé (EME)	19
10.2 Exécution des couches de chaussées en enrobés bitumineux tièdes et semi-tièdes	20
10.3 Epreuves de convenance de fabrication et de mise en œuvre et contrôles	21
10.3.1 Epreuves de convenance de fabrication et contrôles	21

10.3.2 Contrôle de conformité	22
10.3.3Epreuves de convenance de mise en œuvre et contrôles	22
i.Epreuve de convenance de mise en œuvre.....	22
ii.Contrôle de conformité	24
10.4 Procédés d'entreprises	24
10.5 Retours d'expériences : fiches chantiers.....	25
Suivis:	35

INDEX DES FIGURES

INDEX DES TABLEAUX

1. Introduction

Les pratiques en matière de travaux public ont évolué au cours de la dernière décennie afin de réduire les impacts environnementaux des projets d'infrastructures de transport.

Dans ce contexte, les instances professionnelles regroupant : la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP), le syndicat professionnel des terrassiers de France, l'Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française (USIRF), et la Fédération Syntec Ingénierie, ont signé en 2009 (MEEDDAT, 2009) avec le MEEDDAT et l'Assemblée des Départements de France une Convention d'Engagement Volontaire pour, en particulier, réduire les émissions de gaz à effet de serre, généraliser le recours au recyclage et favoriser l'utilisation des enrobés tièdes. Cette démarche s'inscrit dans la continuité des engagements du Grenelle de l'Environnement en terme d'économie d'énergie et de préservation des ressources non renouvelables.

Les enrobés à chaud constituent l'essentiel des matériaux utilisés en construction et entretien routier. Ces techniques sont fortement consommatrices d'énergie et génératrices de CO₂ ainsi que d'autres émissions rejetées dans l'atmosphère.

Les entreprises routières ont pris l'initiative de proposer de plus en plus de techniques et produits plus respectueux de l'environnement dont les enrobés tièdes qui intègrent le traitement à plus basse température des matériaux granulaires. Cette technique permet de réduire l'énergie dépensée pour sécher et chauffer les granulats et de limiter les émissions à effets de serre.

Ce gain énergétique et environnemental s'accompagne du maintien de performances identiques à celles obtenues pour les enrobés à chaud, depuis la mise en œuvre et jusqu'au refroidissement. De plus, les enrobés tièdes peuvent apporter des avantages additionnels permettant un allongement des distances de transport et de la saison de mise en œuvre.

Après un bref descriptif du contexte normatif (chapitre 2) et des éléments contractuels (chapitre3), le présent guide s'attache à exposer les différentes familles de procédés de production d'enrobés tièdes existant aujourd'hui (chapitre4). Le chapitre 5 détaille les aspects formulation et exécution de travaux et le chapitre 6 les aspects environnementaux et sanitaires. Le retour d'expériences issu de sept chantiers détaillés sous forme de fiches annexées, est résumé dans le chapitre 7. Le chapitre 8 décrit l'évolution du marché. Enfin, le chapitre 9 présente le cas particulier des asphaltes coulés à basse températures.

2. Contexte normatif : définition des enrobés tièdes et semi-tièdes

La dernière version de la norme NF P 98-149 : « *Enrobés hydrocarbonés – Terminologie* » définit les différents types d'enrobés hydrocarbonés couverts par ce document, en fonction du procédé de fabrication du produit.

Ainsi, on appelle **Enrobé bitumineux à chaud** le mélange fabriqué à une température définie par la norme NF P 98-150-1. Les granulats sont totalement chauffés et séchés. Les agrégats d'enrobés éventuels sont eux totalement ou partiellement chauffés et séchés. La viscosité du liant bitumineux permettant l'enrobage est uniquement obtenu par chauffage du liant à la température appropriée en fonction du grade.

Les températures de fabrication données dans la norme NF P 98-150-1 sont les suivantes, selon le grade du bitume pur utilisé :

<u>Grade du bitume pur</u>	<u>Intervalle de Température de fabrication (°C)</u>
160/220	130 – 150
70/100 – 50/70	140 – 160
35/50	150 – 170
10/20 – 15/25 – 20/30	160 – 180

Tableau : Températures usuelles de fabrication des enrobés à chaud

Les températures de fabrication des enrobés bitumineux à base de bitumes spéciaux sont données par le producteur de liant.

Lorsque, pour un bitume pur de grade donné ou un bitume spécial, un des procédés décrit au chapitre 4 permet de diminuer d'au moins 30°C la température d'enrobage par rapport à la température maximale spécifiée dans le tableau précédent ou par les documents du fournisseur, tout en étant supérieure à 100°C, l'enrobé est appelé **enrobé bitumineux tiède**.

Si le procédé permet une fabrication à une température comprise entre 85°C et 100°C, alors l'**enrobé bitumineux** est dit **semi-tiède**. Dans ce cas et en fonction des procédés, la totalité ou une partie des granulats et des agrégats sont chauffés et séchés.

NB : ces définitions sont susceptibles de modifications au gré de l'évolution du contexte normatif européen.

Figure : Définition des enrobés bitumineux en fonction de leur température de fabrication

<u>Grade du bitume pur</u>	<u>Intervalle de Température de fabrication (°C)</u>		
	<u>Procédé d'enrobage à chaud</u>	<u>Procédé d'enrobage tiède</u>	<u>Procédé d'enrobage semi-tiède</u>
160/220	130 – 150	100 – 120	85 -100
70/100 – 50/70	140 – 160	100 – 130	85 -100
35/50	150 – 170	100 - 140	85 -100
10/20 – 15/25 – 20/30	160 – 180	100 - 150	85 -100

Tableau : Températures d'enrobages selon le grade du bitume pur et le procédé de fabrication

3. Approche contractuelle

Par comparaison avec les équivalents traditionnels à chauds, les enrobés tièdes présentent des avantages environnementaux valorisables dans les cahiers des charges.

Ils constituent une réponse techniquement équivalente aux produits bitumineux traditionnels chauds. Deux démarches de rédaction d'appel d'offres sont possibles :

- ☐ Solution de base élaborée à partir d'enrobés tièdes : bâtir le cahier des charges sur la base du présent guide et des normes européenne concernées : NF EN 13108-1 à 9.
- ☐ Solution de base élaborée à partir des produits bitumineux à chauds précités : sauf cas contraire spécifié dans le règlement de la consultation, la réponse à l'appel d'offre peut conduire à une solution variante en technique tiède. Les caractéristiques performantielles doivent être équivalentes aux produits à chauds correspondants

Définition et pondération des critères environnementaux :

Dans le cadre des Conventions d'Engagement Volontaire (CEV) (MEEDDAT, 2009) ou de l'application de politiques publiques par les donneurs d'ordres, des critères environnementaux peuvent être choisis pour l'analyse des offres. Dans ce cas, le règlement de la consultation doit faire état des critères et de la méthode de notation retenus pour la prise en compte de ces paramètres lors de l'analyse de l'offre. Les critères et la pondération associée sont à choisir par le donneur d'ordre et peuvent être (liste non exhaustive) :

- * les températures de fabrication et/ou de mise en œuvre des enrobés ;

- * les indicateurs choisis dans un éco-comparateur faisant l'objet d'un avis technique délivré par l'IDRRIM.

Ces critères de pondération doivent permettre d'établir une méthode de notation des offres et s'ajoutent aux critères techniques et économiques pris en compte pour le choix d'un titulaire d'un marché de travaux.

La note technique est attribuée au regard des clauses du CCTP et des références du candidat telles que les fiches techniques produits, la nature des matériaux utilisés, les études de formulation réalisées tièdes ou semi-tièdes, les certificats de bonne fin d'innovation, etc. Ces éléments doivent permettre de valider l'offre proposée et de vérifier la bonne adéquation entre les moyens mis en œuvre, l'enjeu du projet et la qualité attendue par le donneur d'ordre.

Enfin, dans le cas où le marché est attribué sur la base de critères environnementaux, le suivi de l'opération doit permettre de vérifier le respect des engagements du titulaire des travaux au regard des critères retenus.

4. Les procédés

1.1. 4.1 Les principaux procédés employés en France

Les différentes techniques utilisées sont regroupées en trois grandes familles :

- * additivation,
- * mousse de bitume,
- * séquençage et moussage

Elles rassemblent chacune de nombreux procédés d'entreprises, qui permettent une réduction en température qui s'échelonne entre 30 et 80 °C. D'autre part, certains fournisseurs de bitume proposent des liants spécifiques pour la fabrication d'enrobés tièdes prêts à l'emploi qui permettent une réduction de température de 40 °C.

A titre indicatif, un tableau des procédés d'entreprises mentionne les produits rencontrés à la date de publication du présent document (annexe 9.4)

1.2. 4.2 Moyens de fabrications

La réduction de la température de fabrication des enrobés nécessite des adaptations plus ou moins importantes des postes d'enrobage. Celles-ci dépendent du procédé de fabrication, de la température d'enrobé visée, du taux d'agrégats d'enrobés incorporés et de la configuration existante des postes d'enrobage.

Les principales adaptations sont les suivantes :

i. Système de dosage d'introduction d'additifs et/ou d'eau

La maîtrise de l'eau dans le processus de fabrication des enrobés tièdes ou l'ajout d'additif pour assurer l'adhésion bitume/granulats sont des facteurs clefs pour la formulation des enrobés tièdes.

En fonction des procédés utilisés suivants, un ou plusieurs dispositifs sont nécessaires pour le dosage et l'introduction:

a. Des additifs

Les additifs liquides permettent d'améliorer à l'interface liant/granulat, la mouillabilité en diminuant les tensions superficielles. La viscosité du liant reste inchangée, à la différence des additifs de la famille des cires qui eux diminuent la viscosité des liants. Ceci permet de pomper le liant à plus basse température et donc d'abaisser la température de fabrication des enrobés.

Les additifs sont ajoutés dans le bitume soit dans une usine de fabrication de liant (lors de l'ajout de polymère par exemple), soit plus généralement, sur le poste d'enrobage, par une pompe doseuse lors de l'injection du bitume.

L'additivation peut également être réalisé en raffinerie, préalablement à l'utilisation en centrale (bitume prêt à l'emploi).

Copyright Malet

Copyright Malet

Copyright Malet

Figure : Introduction d'un additif par une pompe doseuse.

Les additifs peuvent également être des cires sous forme de granulés, dites Fischer-Tropf, permettent de réduire la viscosité du bitume après mélange.

Ce mélange peut être effectué soit en usine de liants modifiés, soit directement dans les cuves, soit au niveau du malaxeur en fonction des données des fournisseurs.

Leur effet autorise une pompabilité à plus basse température et donc une fabrication d'enrobés bitumineux tièdes.

Nous obtenons par exemple des liants 35/50 avec ces cires ayant une viscosité proche d'un 50/70 et ce tout en gardant les propriétés finales du 35/50. La baisse de viscosité n'entraîne aucune baisse de performances. Par contre, le réseau de ces cires se solidifie vers 90-100°C et donc le compactage doit suivre de très près l'application des enrobés bitumineux.

b. De l'eau (procédés à base de mousse de bitume)

L'expansion du liant par le procédé à la mousse permet une amélioration de l'enrobage.

L'eau et les additifs en phase aqueuse peuvent être introduits dans la zone de malaxage de différentes manières en fonction des procédés : directement dans le malaxeur, avec un piquage sur la ligne d'injection bitume en amont de la zone de malaxage (figure 5) ou dans une chambre de mélange (équipement spécifique dédié à la production de mousse).

Figure : Différents systèmes de kit mousse

c. De matériaux humides (procédés avec séquençage)

L'expansion du liant par introduction de matériaux humides permet une amélioration de l'enrobage.

L'introduction de matériaux humides et froids à humidité contrôlée est illustrée en figures 6 et 7.

Figure : Schéma enrobage par séquençage méthode 1.

Figure : Schéma enrobage par séquençage méthode 2.

ii. Incidence de la diminution de la température des émissions

La diminution de la température des enrobés modifie le rendement thermique des tambours sécheurs. Cette modification se traduit par une diminution de la température des émissions en sortie de tambour sécheur. Les filtres à manches, nécessaires pour assurer la filtration des gaz de séchage chargés en éléments fins (fines), doivent fonctionner avec des températures de gaz supérieures à un seuil critique (point de rosée) afin d'éviter des problèmes de colmatage (eau + fines = boue) et/ou de corrosion.

Dans le cadre de la production des enrobés tièdes, la température des gaz peut atteindre ce seuil critique.

Selon les cas, des modifications sont nécessaires, telles que:

- l'ajout d'un brûleur d'appoint afin de réchauffer les gaz au-dessus de la température critique,
- l'adaptation des augets du tambour sécheur.

iii. Contrôle et réglage des brûleurs

La production d'enrobés tièdes se traduit généralement, au niveau des brûleurs équipant les tambours sécheurs, par un fonctionnement sur une plage d'utilisation différente de celle utilisée pour la production d'enrobés à chaud.

Il est donc nécessaire de procéder au réglage des brûleurs, sur cette nouvelle plage d'utilisation, afin d'optimiser les paramètres de combustion.

iv. Contrôle de la teneur en eau

Les procédés basés sur l'apport d'eau dans la zone de malaxage via l'apport de matériaux humides nécessitent une parfaite maîtrise de la teneur en eau de ces matériaux.

Le contrôle de cette teneur en eau régulier et/ou continu est donc un facteur indispensable pour permettre la maîtrise de la température et la maniabilité des enrobés issus de ces procédés.

v. Traitement des vapeurs d'eau

Les procédés basés sur l'apport d'eau dans la zone de malaxage (sous forme directe ou au travers de l'apport de matériaux humides) provoquent un dégagement de vapeur d'eau au contact avec les matériaux chauds.

Dans le cas des postes discontinus, l'utilisation de ces procédés nécessite l'ajout d'un dispositif de traitement des vapeurs d'eau afin d'éviter la condensation qui pourrait générer des problèmes de corrosion et/ou de colmatage. Pour les postes continus, l'évacuation de l'eau dans la zone de malaxage n'est pas une contrainte spécifique aux enrobés tièdes. La généralisation des formules incorporant des agrégats d'enrobé dans le mélangeur a déjà conduit à réaliser des équipements et modifications sur ce type de postes, permettant de gérer des quantités de vapeur nettement plus importantes. Les enrobés semi tièdes conservent une quantité d'eau résiduelle significative et la masse de vapeur à évacuer est, en moyenne, divisée par deux.

Ce dispositif d'assainissement consiste principalement en l'ajout d'une gaine d'assainissement raccordée au filtre à manche de l'installation. Cette gaine doit être calorifugée et à forte pente afin d'éviter des problèmes de condensation et/ou de colmatage. En variante, on rencontrera des dispositifs d'assainissement dédiés de type « filtre humide » spécifiques à certains procédés.

vi. Incorporation des agrégats d'enrobés

Quelle que soit la technique de recyclage utilisée, l'ajout d'agrégats d'enrobés dans le mélange final nécessite de surchauffer les granulats vierges. Ces granulats surchauffés apporteront ensuite tout ou partie de l'énergie thermique nécessaire pour amener les matériaux recyclés à la température finale souhaitée.

Le taux de recyclage est, notamment, limité par la capacité de séchage et filtration de l'installation de fabrication des enrobés utilisés :

- La température de surchauffe des granulats vierges doit demeurer en deçà de la température maximale admissible dans le sécheur avant que celui-ci ne subisse des dommages mécaniques irréversibles.
- Le volume d'air à traiter doit rester compatible avec la surface de filtration disponible des manches installées dans le filtre.

Si la température des enrobés diminue, l'installation de fabrication des enrobés disposera d'une certaine capacité de séchage et filtration non utilisée qui pourra avantageusement être mise à profit :

- Soit, à taux de recyclage constant, pour augmenter le débit de production de l'installation de fabrication des enrobés.
- Soit, à débit de production constant, pour augmenter la quantité relative d'agrégats d'enrobés dans le mélange final, c'est-à-dire le taux de recyclage. Des taux de recyclage de l'ordre de 50% peuvent être atteints en fonction du matériel disponible et des matériaux utilisés.¹Dans les deux cas, la quantité absolue d'agrégats recyclés valorisés augmente.
-
- A moyens de fabrication constants et à matériaux identiques, diminuer la température de production des enrobés permet donc d'augmenter le taux de recyclage. Ces possibilités d'adaptation doivent être prises en compte lors de l'élaboration des formules.

1

- ¹ *Guide sur le recyclage à moyen et fort taux d'agrégats d'enrobés dans les enrobés à chauds et tièdes.*

vii. Bilan des adaptations des postes d'enrobage

- Selon les trois grandes familles de procédés, les principales adaptations des postes d'enrobage pour permettre la production régulière d'enrobés tièdes peuvent être schématisées de la façon suivante :

			- Adaptations poste d'enrobage		
-	Système de dosage	Gestion des températures des fumées	Réglage des brûleurs	Traitement des vapeurs d'eau	Contrôle de la teneur en eau
Technologies Additivations	Additivations en ligne	- X	- X	- X	-
	Bitume prêt à l'emploi	-	- X	- X	-
Technologies à la mousse de bitume	- X	- X	- X	- X(*)	-
Technologies par séquençage et moussage	- X	- X	- X	- X	- X

- **Tableau : Adaptation des postes pour les trois technologies**

- (*) Uniquement sur les postes discontinus et continus à malaxeur séparé (autres que Tambour Sécheur Enrobeur)

- 5. Formulation et exécution des travaux

- Le domaine d'emploi des enrobés tièdes est identique à celui des enrobés à chaud. Ces matériaux peuvent être mis en œuvre sur chaussées neuves ou en renforcement de chaussée, en couches d'assises, de liaison et de roulement. Tous les grades de bitumes peuvent être utilisés dans les formulations d'enrobés tièdes y compris les bitumes modifiés par des polymères.

1.3. 5.1 Formulation

- Les études de formulations doivent être réalisées dans les conditions de fabrication des enrobés tièdes. Elles doivent comprendre le mode opératoire d'obtention des corps d'épreuves. Celui-ci est fondé sur la norme EN 12 697-35 avec les adaptations décrites ci-dessous.

i. Enrobés avec ajout d'un additif dans le liant

- Ce type d'ajout est de loin la plus courant. Dans ce cas, il est fourni au représentant du maître d'ouvrage la procédure de fabrication en laboratoire du titulaire détaillant notamment:
 - ☐ les températures des constituants
 - ☐ l'additif utilisé ou le liant prêt à l'emploi
 - ☐ la procédure d'ajout de l'additif dans le liant
 - ☐ la température d'enrobage

ii. Enrobés à la mousse de bitume

- La réalisation d'enrobés à la mousse de bitume en laboratoire nécessite l'utilisation d'un appareil spécifique garantissant la sécurité des opérateurs et la qualité des corps d'épreuve.
-
- A cette fin, l'entreprise fabriquera dans son laboratoire les corps d'épreuve en présence du maître d'ouvrage et/ou de ses représentants.

iii. Enrobés avec une fraction de matériau humide (<100°C)

- L'entreprise doit préciser le procédé retenu et fournir le mode opératoire correspondant pour réaliser des corps d'épreuve.
-

1.4. 5.2 Exécution des travaux

- Dans le cas de grands chantiers (durée supérieure à une semaine), la réalisation d'une épreuve de convenance de fabrication et d'une épreuve de convenance de mise en œuvre permettent de valider les procédures.
-
- Les épreuves de convenance constituent des points d'arrêt du chantier et sont décrites en annexes 9.3.

i. Fabrication

- Les contrôles de fabrication (température, granulométrie, teneur en liant) sont réalisés selon la même procédure que pour les enrobés à chauds.

ii. Suivi de la mise en œuvre

- L'exécution des travaux est réalisée selon la norme NF P 98-150-1.
- L'atelier de mise en œuvre des enrobés tièdes est identique à celui utilisé pour leurs analogues chauds.
- Il est nécessaire de porter une attention particulière aux points suivants:
 - ☐ Dans le cas de bitume pré-additivé, il convient de s'assurer auprès du fournisseur du délai d'efficacité de l'additif dans le bitume à la température de stockage.
 - ☐ Dans le cas particulier où deux postes alimentent le chantier:

- ☐ le procédé de fabrication doit être le même sur les 2 postes
 - ☐ les températures de répandage et de compactage doivent être homogènes (prévoir un phasage adapté, comme pour les enrobés à chaud)
- ☐ En cas d'alternance de fabrication entre enrobés chauds et tièdes, une attention particulière doit être apportée au respect de la température de fabrication des différents produits.
- ☐ Il convient de préchauffer la table du finisseur préalablement à l'application.
- ☐ Une attention toute particulière doit être apportée à la continuité du fonctionnement du finisseur et de l'atelier de compactage afin de respecter les exigences en termes d'uni.
- ☐ L'aptitude au compactage de ces enrobés varie en fonction du procédé utilisé. Il convient d'adapter l'atelier de compactage afin d'obtenir le bon couple macrotexture et compacité sur les formules continues mises en œuvre en couches de roulement.
- ☐ Une température de répandage supérieure à l'objectif peut conduire à une maniabilité plus importante, et modifier l'exécution du compactage.
- ☐ Comme pour les enrobés à chaud, une attention particulière est à apporter au traitement des joints froids.
- ☐ Dans le cas où la mise en œuvre à la main est prédominante, il convient d'utiliser un enrobé tiède offrant une maniabilité adaptée.
-
- **iii. Réception**
-
- Les épreuves de réception doivent être réalisées de la même manière que pour les enrobés à chauds conformément au référentiel technique en vigueur et aux clauses du CCTP.
-
-

- **6. Aspects environnementaux et sanitaire**

-

o 6.1 Analyse au moyen d'éco comparateurs

- Afin d'estimer les réductions de Gaz à Effet de Serre (GES) et de consommations énergétiques entre les enrobés à chaud et les enrobés tièdes, deux logiciels peuvent être utilisés :
- * SEVE (Système d'Evaluation de Variantes Environnementales) développé par l'USIRF,
- * ECORCE (Eco COMparateur Route Construction Entretien) développé par l'IFSTTAR (A. Ventura e. a., 2011)

- Ces deux logiciels disposent d'un avis technique IDRRIM²A titre d'exemple, les deux logiciels donnent des résultats similaires pour une réduction de température d'enrobage de 30 °C :
- * la réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) de la centrale est de l'ordre de 25% et de l'ordre de 5 à 8% pour l'ensemble des étapes du chantier (de l'extraction des matières premières jusqu'à leur mise en œuvre),
- * la réduction des consommations d'énergie de la centrale est de 20% à 30%.
-
- Les résultats de telles études varient suivant les conditions et les hypothèses de chantier (transport, cadence, type de liant, météo, teneur en eau...) et ne sont en aucun cas des valeurs absolues pour l'ensemble des procédés d'enrobés tièdes.
-

1.5. 6.2 Mesures sur sites

- Trois exemples de mesures sur chantier sont présentés dans le tableau suivant :
-

-	- RD231 - (A. Ventura P. M., 2009)	- RD6185 - (A. Béghin, 2012)	- RD957 - (L. Lapalu, 2012)
- Variation de la température de fabrication	- 160°C à 95°C	- 170°C à 130°C	- 170°C à 125°C
- Baisse de la consommation de combustible	- 55%	- 32%	- 35%
- Réduction des GES	- 38%	- 25%	- 30%

- **Tableau : Exemples de résultats issus de mesures sur site.**

- 6.3 Aspects sanitaires

Les fumées émises par un matériau bitumineux, émissions provenant du bitume chauffé ou des produits chauffés contenant du bitume, sont constituées d'une fraction gazeuse et d'une fraction aérosol. La composition de ces fumées est fonction de la température.

Dans la gamme de températures correspondant aux applications routières à chaud courantes (140 °C à 180°C), les émissions de la fraction aérosol diminuent d'environ 50% tous les 12 °C d'après une étude conduite en laboratoire (Brandt, 1999)
Aux températures inférieures à 140 °C, l'étendue des points d'ébullition des molécules

est telle qu'il n'y a pas d'exposition significative aux aérosols et l'exposition est principalement due aux vapeurs C.R. Lange, 2007). Ce cas de figure correspond aux enrobés tièdes.

Des résultats d'études menées en laboratoire (V. Viranaiken, 2010) montrent qu'une baisse de température de fabrication entraîne une réduction globale des émissions de fumées.

A titre d'exemple, la campagne d'essais menée par l'entreprise Malet et CECA en 2010 sur le RD6185 [1] met en évidence que les concentrations en HAP totaux (mesurées sur trois postes de travail) diminuent d'un facteur 3 lorsque la température de fabrication diminue de 170 °C à 130°C

Les valeurs des émissions des enrobés à chaud sont très inférieures aux valeurs limites d'exposition recommandées. L'utilisation d'enrobés tièdes permet d'abaisser encore les niveaux d'exposition.

-

- 7. Retour d'expériences

-

- Le retour d'expériences a été effectué à partir de données relevées sur le terrain grâce, en particulier, aux Chartes de l'Innovation routière conduites par le Sétra. Ces chantiers tests sont suivis avec un programme d'auscultation exhaustif sur une durée maximum de 9 ans. Récemment, des procédés d'entreprise en enrobés tièdes ont été réalisés, expertisés et certifiés dans le cadre de l'innovation routière en partenariat avec les gestionnaires de réseaux³.

- Ce présent retour d'expérience s'appuie sur quatre procédés d'entreprise expérimentés sur sept sites en France. Trois d'entre eux ont été étudiés dans le cadre des chartes de l'innovation routière et le quatrième a été l'objet d'une expérimentation avec l'IFSTTAR et le LRPC de Blois. Chaque procédé a été comparé, au cours du programme, avec son équivalent réalisé en enrobés à chaud qui représente ainsi la section témoin.

-

- Les chantiers présentés sont les suivants :

-

Procédé	Technologie	Localisation	Année du certificat	Date du chantier	Suivis par :
- 3E + R	Additivation	- A 75 - RN 2	2011	2009	CETE Méditerranée CETE Nord Picardie
- AZALT ECO²	Bitume prêt à l'emploi	- RD 957	Expérimentation LR de Blois/IFSTTAR	2009	CETE Normandie Centre

³ Certificat EBT délivré le 9 janvier 2013 dans le cadre de la charte autoroutière que la direction générale des infrastructures, de transports et de la mer a conclue avec l'association des sociétés françaises d'autoroutes.

EBT	Séquençage et moussage	A 41 CG04	2013	2007 2007	CETE de Lyon CG04/CETE Méditerranée
- ETIMA	Additivation	A 64 RD 6185	2011	2009 2010	CETE du Sud-Ouest CETE Méditerranée

- **Tableau : Chantiers référents pour le retour d'expérience**

- Pour chaque chantier, le détail des suivis est consultable en annexe sous forme de fiches (annexe 9.5).

-

- **Observations et enseignements sur la technique**

-

- Dans le cadre des Chartes et des expérimentations ponctuels, les campagnes de mesures sont effectuées chaque année par les CETE, à la même période et avec le même matériel. Un programme d'auscultation concernant les caractéristiques mécaniques rapporte le comportement et l'évolution de la couche de roulement ou d'assise innovante comparée à la planche témoin.

-

- Le comportement de l'ensemble des sites étudiés est très satisfaisant avec une similitude de vieillissement avec les enrobés à chaud ayant les mêmes constituants granulaires. Il est important de noter également que la majorité des expérimentations (4 sur 7) choisis pour cette étude ont été effectuées sur des trafics important (T0) et des viabilités hivernales rudes.

- Les quelques dégradations constatées relèvent plus de la qualité du support ou des conditions de mise en œuvre que des propriétés intrinsèques de l'enrobés tièdes.

-

- L'ensemble des sites observés témoignent d'un excellent comportement des enrobés tièdes; et ce, malgré un niveau de trafic élevé et des conditions climatiques complexes. Le détail des évolutions des caractéristiques mécaniques est présenté en annexe sous forme de fiches (annexe 10.5).

8. Evolution du marché

- Les données transmises par la profession routière française depuis 2005 peuvent être estimées selon le graphique ci-après.

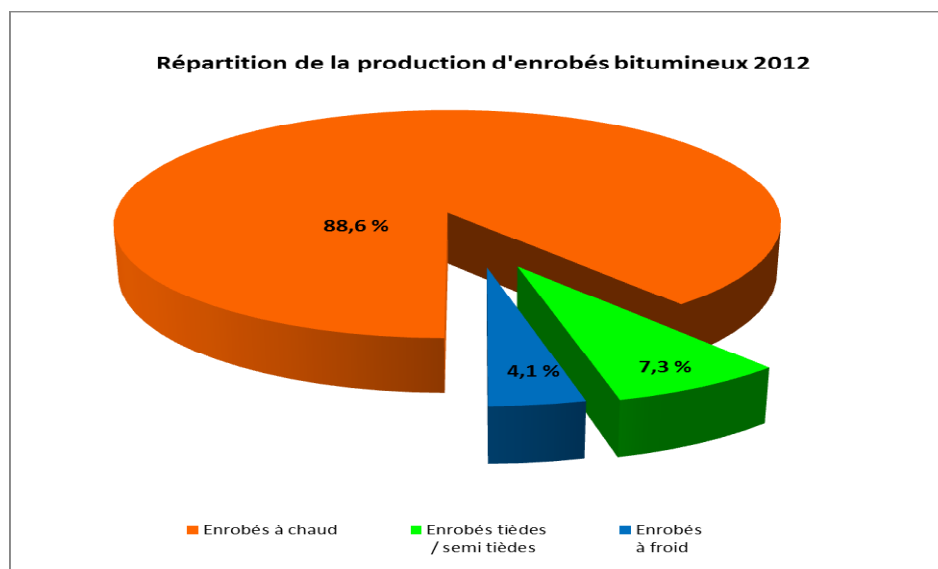


Figure : Répartition de la production d'enrobés bitumineux en 2012

Figure : Tonnage enrobés tièdes et semi-tièdes

- Depuis 2008, la proportion d'enrobés tièdes ne fait qu'augmenter. L'objectif de la Convention d'Engagement Volontaire pour l'année 2012 était de tripler le point initial, soit atteindre un tonnage de 1 500 000 tonnes, cet objectif a été largement dépassé avec 2 633 000 tonnes en 2012 (USIRF, 2012). Néanmoins, la proportion d'enrobés tièdes en 2012 reste faible avec 7,3% de la production totale d'enrobés.

Exemple d'évolution des tonnages en enrobés tièdes pour deux conseils généraux :

Conseil Général 78 :

Enrobés Tièdes et semi Tièdes : sur l'ensemble des sections.

- Année	- Tonnage en enrobés tièdes	- Pourcentage en enrobés tièdes
- 2009	- 12 000 t	- 9 %
- 2010	- 12 235 t	- 17 %
- 2011	- 39 260 t	- 42 %

- 2012
- 21 646 t
- 30 %

- **Tableau 6: Evolution de la proportion d'enrobés tièdes sur le réseau du CG78 sur l'ensemble des sections**

- Conseil Général 31 :

- Année	- Tonnage en enrobés tièdes	- Pourcentage en enrobés tièdes
- 2007	- 3 850 t	- 5 %
- 2008	- 11 680 t	- 8 %
- 2009	- 12 875 t	- 11%
- 2010	- 14 295 t	- 23 %
- 2011	- 22 250 t	- 32 %
- 2012	- 13 884 t	- 31 %

- **Tableau 7: Evolution de la proportion d'enrobés tièdes sur le réseau du CG31 sur l'ensemble des sections**

- Ainsi, malgré le pourcentage relativement faible au niveau national (7,3%), la technique des enrobés tièdes est utilisée jusqu'à plus de 30% dans certains départements de France.

- 9. Les asphaltes à basses températures

9.1 Définitions

- D'après la norme NF 98-149, les définitions sont les suivantes :
- **Asphalte coulé:** Enrobé hydrocarboné, constitué par un mélange d'un mastic (liant bitumineux et poudre d'asphalte naturel ou fines), d'un squelette minéral et d'additifs (cire qui agit sur la viscosité du liant permettant de réduire la température de fabrication) et d'agréats d'asphalte, appliqué par coulage à chaud, sans nécessiter de compactage, et destiné à la réalisation de revêtement de trottoir, de couches de roulement de chaussée ou à des travaux d'étanchéité.
- * **Asphalte coulé à chaud :** Asphalte coulé, fabriqué, transporté et mis en œuvre à une température supérieure à 200 °C. Les caractéristiques du mélange sont définies par la

norme NF EN 13108-6. Conformément à la température maximale d'utilisation des liants préconisée par les producteurs de bitume, la température de fabrication et de mise en œuvre ne doit pas dépasser 200°C (prescription définie dans les FDS des liants bitumineux).

- * **Asphalte coulé à basse température (BT) :** Asphalte coulé, fabriqué, transporté et mis en œuvre à une température comprise entre 180°C et 200°C. Les caractéristiques du mélange sont définies par la norme NF EN 13108-6.
- * **Asphalte coulé à très basse température (TBT) :** Asphalte coulé, fabriqué, transporté et mis en œuvre à une température inférieure à 180°C. Les caractéristiques du mélange sont définies par la norme NF EN 13108-6.

-

O 9.2 Formulation et critères de choix

- La conception d'une bonne formulation doit aboutir à un équilibre entre les diverses exigences :
 - * imperméabilité (propriété fondamentale de l'asphalte coulé)
 - * maniabilité (mise en œuvre dans des conditions convenables)
 - * dureté (résistance au poinçonnement)
 - * stabilité (résistance au fluage et aux déformations)
 - * souplesse (bonne résistance à la fissuration)
- Le squelette minéral est optimisé de façon à réduire les vides. La teneur en liant excède la teneur en vides afin de rendre possible l'application du matériau. Cet excès doit être le plus faible possible, afin d'assurer la stabilité du mélange final.

-

O 9.3 Fabrication de l'asphalte coulé

- Depuis le 1er décembre 2010, pour l'asphalte coulé en France, aucun produit bitumineux ne peut être fabriqué, stocké, transporté et mis en œuvre à des températures supérieures aux prescriptions de la FDS (Fiche Donnée Sécurité) du liant bitume utilisé, soit 200 °C.
- La fabrication d'un asphalte coulé implique donc d'homogénéiser et de porter à une température maximale de 200°C un mélange de granulats et de liant aux proportions bien définies.
- Les opérations de fabrication sont les suivantes :
 - * Etudier en laboratoire une formule donnant au produit fini les caractéristiques recherchées ;
 - * Utiliser une centrale de fabrication permettant de peser, mélanger, malaxer ou pétrir et porter en température les matériaux ;
 - * Contrôler les caractéristiques du produit fini.

O 9.4 Essais et contrôles

i. Sur les matières premières

- Les matières premières entrant dans la fabrication des asphaltes, sont contrôlées suivant les normes en vigueur.

ii. Sur le produit fini

- Les essais courants incluent la maniabilité, l'indentation, l'extraction / composition,
- La maniabilité est la consistance qui caractérise l'aptitude de l'asphalte à être appliqué aisément. Il n'existe pas de lien direct entre la dureté de l'asphalte et sa maniabilité. La maniabilité peut-être évaluée suivant 2 méthodes :
 - * *Organoleptique* : systématique, correspondant à l'appréciation des différents opérateurs, en usine et sur le chantier.
 - * *Seau renversé* : essai analogue au slump test (ou cône d'Abrams) pratiqué sur les bétons, consistant à renverser un seau plein d'asphalte et mesurer le diamètre (et/ou l'épaisseur) de la galette ainsi constituée. Le résultat est dépendant de l'asphalte (*formule, température de coulée notamment*) ainsi que des conditions extérieures (*température et nature du support notamment*).
 - * *Mesure de couple* : quantification de l'effort en rotation appliqué à un axe muni de pales à une vitesse donnée pour une certaine quantité d'asphalte, dans un récipient de géométrie et dimensions connues.
- L'**indentation** caractérise la dureté de l'asphalte. L'essai consiste à mesurer un enfoncement en 1/10ème de mm ou en mm d'un poinçon dans les conditions de charge et température spécifiées dans les normes NF EN 12697-21.
- L'essai peut être effectué :
 - * A l'usine, avant la mise en œuvre, afin de vérifier que l'asphalte fabriqué correspondra bien aux spécifications relatives à sa destination. Le cas échéant, une correction pourra être apportée afin de durcir ou ramollir l'asphalte.
 - * Sur des prélèvements réalisés lors de la mise en œuvre afin de valider la conformité du produit.

- Tableau : conditions d'essais - NF EN 12697-21

- L'**extraction / composition** vise à contrôler la composition d'un asphalte. Elle inclut l'évaluation de la teneur en liant suivant la norme NF T 66-001⁴ ou NF EN 12697-1. Il est obligatoire dans le cadre de la norme NF EN 13108-21 relative au marquage CE des asphaltes coulés routiers et peut s'avérer utile en cas d'expertise ou d'anomalie de comportement ; et le contrôle de la composition granulométrique suivant la norme NF EN 933-1.

- D'autres essais peuvent être pratiqués, tels que l'**adhérence** (suivant la norme NF EN 13036-4), le **retrait** (en laboratoire, pour mesurer le retrait après refroidissement d'un asphalte coulé dans un moule de dimensions connues), la **PMT** (suivant la norme NF EN 13036-1).

o 9.5 Domaines d'utilisation

- De part ses performances mécaniques, l'asphalte coulé est particulièrement indiqué pour les applications de voiries publique et privée : souplesse, capacité d'atténuation des bruits, confort de circulation, rapidité de mise en service après application et facilité d'entretien.
- Un vaste choix parmi les différents traitements de surface et la coloration, sa mise en œuvre manuelle facilitant le contournement des obstacles ou l'association à d'autres matériaux, en font un matériau de prédilection pour les zones piétonnes (trottoirs, pistes cyclables, places...)
- Les différentes possibilités de formulation le prédisposent également aux revêtements pour circulation et stationnement de véhicules en raison de ses spécificités physiques : imperméabilité, caractère non glissant pouvant être augmenté par le traitement de surface.



- **Figure : Exemple d'application mécanisée en chaussée**

o 9.6 Mise en œuvre

- Les déformations du support devront être reprofilées car ce matériau est un revêtement mince et d'épaisseur régulière, de 15 à 50 mm. La qualité de l'ouvrage fini dépend donc de la géométrie et de la résistance de celui-ci.
- Compte tenu du caractère auto plaçant de l'asphalte, sa mise en œuvre ne requiert ni compactage, ni cylindrage (absence de vibrations). A sa température d'application, l'asphalte s'étale parfaitement sous une action manuelle ou mécanique.

- La texture superficielle est obtenue :
 - * Soit par rugosité naturelle de l'asphalte obtenue par formulation adaptée basée sur la viscosité du mastic d'asphalte et la masse spécifique des granulats.
 - * Soit par traitements de surface par gravillonnage (gravillon libre ou pré-enrobé) répandu manuellement ou mécaniquement, éventuellement enchâssé dans la surface de l'asphalte chaud au moyen d'un cylindrage léger sans vibrations.
 - * Soit par bouchardage qui n'est adapté qu'à de petites surfaces telles que des rebouchages de tranchées, il présente l'inconvénient de retenir l'eau dans les empreintes, ce qui est dangereux en cas de gel,.
 - * Soit par grenaillage, cette opération nécessite une formulation adaptée: mastic d'asphalte additivé de polymères ou de charges minérales lourdes, forte teneur en gravillons (> 40 %) et courbe granulométrique discontinue, de type AC1G R ou AC2G R.

-
-
-
-

- 10. Annexes

-

10.1 Contexte normatif : Définition des produits et des performances

- Les enrobés bitumineux fabriqués avec un abaissement de température sont formulés pour répondre aux mêmes exigences que les enrobés à chaud. Ils doivent donc répondre aux caractéristiques données dans les avant propos des normes NF EN 13108-1 à 9.

-

i. Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG)

- Enrobé bitumineux à chaud, tiède ou semi-tiède caractérisé par une forte teneur en gravillons, un passant à 2 mm compris entre 25% et 45 % et destiné à la réalisation des couches de surface (roulement ou liaison). La granularité est 0/10 ou 0/14.
-
- Les performances des Bétons Bitumineux Semi-Grenus sont spécifiées par la norme NF EN 13108-1.
-
-

- BBSG 0/10	- Classe 1	- Classe 2	- Classe 3
- Teneur en liant	- $TL_{min} = 5,2\%$		

- Essai PCG - Pourcentage de vides à 60 girations - (NF EN 1297-31)	- $V_{\min 5} - V_{\max 10}$		
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- $i/C = 70$		
- Essai d'orniérage - Profondeur d'ornière P à 60°C et 30000 cycles - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 10% • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* P = 7,5 % • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* P = 5% • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$
- Module de rigidité - Module de rigidité S à 15°C et 10Hz ou 0,02 sec - (NF EN 12697-26)	* S = 5500 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* S = 7000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	
- Essai de fatigue - Déformation à 10^6 cycles ϵ_6 - (NF EN 12697-24)	* $\epsilon_6 = 100 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$		

- BBSG 0/14	- Classe 1	- Classe 2	- Classe 3
- Teneur en liant	- $TL_{\min} = 5,0\%$		
- Essai PCG - Pourcentage de vides à 80 girations - $V_{\min} - V_{\max}$ - (NF EN 1297-31)	- $V_{\min 4} - V_{\max 9}$		
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- $i/C = 70$		
- Essai d'orniérage - Profondeur d'ornière P à 60°C et 30000 cycles - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 10% • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* P = 7,5 % • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* P = 5% • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$
- Module de rigidité - Module de rigidité S à 15°C et 10Hz ou 0,02 sec - (NF EN 12697-26)	* S = 5500 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* S = 7000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	
- Essai de fatigue - Déformation à 10^6 cycles ϵ_6 - (NF EN 12697-24)	* $\epsilon_6 = 100 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps		

	d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$
--	---

ii. Béton Bitumineux à Module Élevé (BBME)

- Enrobé bitumineux à chaud, semi-tiède ou tiède caractérisé par un module de rigidité à 15°C et 10Hz (ou 0,02 seconde) (= 9000 MPa) plus élevé que celui du béton bitumineux semi grenu, et destiné à la réalisation des couches de surface (roulement ou liaison). La granularité est 0/10 ou 0/14.
-
- Les performances des Bétons Bitumineux à Module Élevé sont spécifiées par la norme NF EN 13108-1.
-
-

- BBME 0/10	- Classe 1	- Classe 2	- Classe 3
- Essai PCG - Pourcentage de vides à 60 girations (NF EN 1297-31)	- $V_{\min 5} - V_{\max 10}$		
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- i/C = 80		
- Essai d'orniérage - Profondeur d'ornièr P à 60°C et 30000 cycles (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 10% • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* P = 7,5 % • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* P = 5% • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$
- Module de rigidité - Module de rigidité S à 15°C et 10Hz ou 0,02 sec (NF EN 12697-26) -	* S = 9000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* S = 11000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	
- Essai de fatigue - Déformation à 10^6 cycles ϵ_6 à 10°C et 25Hz (NF EN 12697-24)	* $\epsilon_6 = 100 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* $\epsilon_6 = 100 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* $\epsilon_6 = 100 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$
-			
- BBME 0/14	- Classe 1	- Classe 2	- Classe 3

- Essai PCG - Pourcentage de vides à 80 girations - (NF EN 1297-31)		- $V_{\min 4} - V_{\max 9}$	
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)		- $i/C = 80$	
- Essai d'orniérage - Profondeur d'ornièr P à 60°C et 30000 cycles - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 10% * Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* P = 7,5 % * Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* P = 5% * Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$
- Module de rigidité - Module de rigidité S à 15°C et 10Hz ou 0,02 sec - (NF EN 12697-26)	* S = 9000 MPa * Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	* S = 11000 MPa * Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$	
- Essai de fatigue - Déformation à 10^6 cycles ϵ_6 à 10°C et 25Hz - (NF EN 12697-24)	* $\epsilon_6 = 100$ * μ_{def} * Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$		

-

-

iii. Béton Bitumineux Mince (BBM)

- Enrobé bitumineux à chaud, semi-tiède ou tiède, caractérisé par une épaisseur moyenne d'utilisation comprise entre 3 cm et 5 cm, et destiné à la réalisation des couches de surface (roulement ou liaison). La granularité est 0/10 ou 0/14.
-
- Les performances des Bétons Bitumineux Minces sont spécifiées par la norme NF EN 13108-1.
-

- BBMa 0/10 ou 0/14	- Classe 1	- Classe 2	- Classe 3
- Teneur en liant	- $TL_{\min} = 5,0\%$		
- Essai PCG - Pourcentage de vides à 40 girations - (NF EN 1297-31)	- $V_{\min 6} - V_{\max 11}$		

- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- $i/C = 70$		
- Essai de stabilité mécanique - Profondeur d'ornièrre P à 60°C - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 15% à 3000 cycles • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min7} - V_{max10}$	* P = 15% à 10000 cycles • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min7} - V_{max10}$	* P = 10% à 30000 cycles • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min7} - V_{max10}$

- BBMb 0/10 ou 0/14	- Classe 1	- Classe 2	- Classe 3
- Teneur en liant	- $TL_{min} = 5,0\%$		
- Essai PCG - Pourcentage de vides à 40 girations - $V_{min} - V_{max}$ - (NF EN 1297-31)	- $V_{min7} - V_{max12}$		
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- $i/C = 70$		
- Essai de stabilité mécanique - Profondeur d'ornièrre P à 60°C - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 15% à 3000 cycles • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min8} - V_{max11}$	* P = 15% à 10000 cycles • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min8} - V_{max11}$	* P = 10% à 30000 cycles • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min8} - V_{max11}$

- BBMc 0/10 ou 0/14	- Classe 1	- Classe 2	- Classe 3
- Teneur en liant	- $TL_{min} = 5,0\%$		

- Essai PCG - Pourcentage de vides à 40 girations - $V_{min} - V_{max}$ - (NF EN 1297-31)	- $V_{min8} - V_{max13}$		
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- $i/C = 70$		
- Essai de stabilité mécanique - Profondeur d'ornièrre P à 60°C - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 15% à 3000 cycles * Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min8} - V_{max11}$	* P = 15% à 10000 cycles * Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min8} - V_{max11}$	* P = 10% à 30000 cycles * Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min8} - V_{max11}$

-
-

iv. Béton Bitumineux Drainant (BBDr)

-

- Enrobé bitumineux à chaud, tiède ou semi-tiède destiné à la réalisation des couches de roulement. Il est caractérisé par un pourcentage de vides élevé (généralement supérieur à 20 %) permettant la circulation des eaux pluviales dans les vides communicants.

- Les performances des Bétons Bitumineux Drainants sont spécifiées par la norme NF EN 13108-7.

-

- BBDr 0/6	- Classe 1	- Classe 2
- Teneur en liant	- $TL_{min} = 4,0\%$	
- Essai PCG - (NF EN 1297-31)	* $V_{min20} - V_{max26}$ à 40 girations * V_{min14} à 200 girations	* $V_{min26} - V_{max30}$ à 40 girations * V_{min20} à 200 girations
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- $i/C = 80$	

-

- BBDr 0/10	- Classe 1	- Classe 2
- Teneur en liant	- $TL_{min} = 4,0\%$	
- Essai PCG - (NF EN 1297-31)	* $V_{min20} - V_{max26}$ à 40 girations * V_{min14} à 200 girations	* $V_{min26} - V_{max30}$ à 40 girations * V_{min20} à 200 girations

- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- $i/C = 80$
---	---

v. Béton Bitumineux Très Mince (BBTM)

- Enrobé bitumineux à chaud, semi-tiède ou tiède caractérisé par une épaisseur moyenne d'utilisation comprise entre 2 cm et 3 cm, et destiné à la réalisation des couches de roulement. La granularité est 0/6 ou 0/10.

- Les performances des Bétons Bitumineux Très Minces sont spécifiées par la norme NF EN 13108-2.

BBTM 0/6	Classe 1	Classe 2
Teneur en liant	$TL_{min} = 5,0\%$	
Essai PCG Pourcentage de vides à 25 girations (NF EN 1297-31)	$V_{min12} - V_{max19}$	$V_{min20} - V_{max25}$
Essai de Tenue à l'eau Rapport i/C (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	$i/C = 75$	
Essai de stabilité mécanique Profondeur d'ornièrè P à 60°C et 3000 cycles (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 20% Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min16} - V_{max22}$	

BBTM 0/10	Classe 1	Classe 2
Teneur en liant	$TL_{min} = 5,0\%$	
Essai PCG Pourcentage de vides à 25 girations $V_{min} - V_{max}$ (NF EN 1297-31)	$V_{min10} - V_{max17}$	$V_{min18} - V_{max25}$
Essai de Tenue à l'eau Rapport i/C (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	$i/C = 75$	
Essai de stabilité mécanique Profondeur d'ornièrè P à 60°C et 3000 cycles (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 15% Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min9} - V_{max16}$	

-

vi. Grave Bitume (GB)

- Enrobé bitumineux à chaud, semi-tiède ou tiède destiné à la réalisation des couches d'assise. La granularité est 0/14 ou 0/20.

-

- Les performances des Graves Bitume sont spécifiées par la norme NF EN 13108-1.

-

- GB 0/14		- Classe 2	- Classe 3	- Classe 4
- Teneur en liant		- $TL_{min} = 3,8\%$	- $TL_{min} = 4,2\%$	- Non spécifié
- Essai PCG - Pourcentage de vides à 100 girations - (NF EN 1297-31)		- V_{max11}	- V_{max10}	- V_{max9}
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)		- $i/C = 70$		
- Essai d'orniérage - Profondeur d'ornière P - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)		* P = 10% à 60°C et 10000 cycles - Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min8} - V_{max11}$	* P = 10% à 60°C et 10000 cycles - Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min7} - V_{max10}$	* P = 10% à 60°C et 30000 cycles - Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min5} - V_{max8}$
- Module de rigidité - Module de rigidité S à 15°C et 10Hz ou 0,02 sec - (NF EN 12697-26) -		* S = 9000 MPa - Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min8} - V_{max11}$	* S = 9000 MPa - Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min7} - V_{max10}$	* S = 11000 MPa - Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min5} - V_{max8}$
- Essai de fatigue - Déformation à 10^6 cycles ϵ_6 à 10°C et 25Hz - (NF EN 12697-24)		* $\epsilon_6 = 80 \mu def$ - Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min8} - V_{max11}$	* $\epsilon_6 = 90 \mu def$ - Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min7} - V_{max10}$	* $\epsilon_6 = 100 \mu def$ - Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{min5} - V_{max8}$

-

- GB 0/20		- Classe 2	- Classe 3	- Classe 4
- Teneur en liant		- $TL_{min} = 3,8\%$	- $TL_{min} = 4,2\%$	- Non spécifié
- Essai PCG - Pourcentage de vides à 120 girations - (NF EN 1297-31)		- V_{max11}	- V_{max10}	- V_{max9}

- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- i/C = 70		
- Essai d'orniérage - Profondeur d'ornièr P - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 10% à 60°C et 10000 cycles • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 8} - V_{\max 11}$	* P = 10% à 60°C et 10000 cycles • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 7} - V_{\max 10}$	* P = 10% à 60°C et 30000 cycles • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$
- Module de rigidité - Module de rigidité S à 15°C et 10Hz ou 0,02 sec - (NF EN 12697-26) -	* S = 9000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 8} - V_{\max 11}$	* S = 9000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 7} - V_{\max 10}$	* S = 11000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$
- Essai de fatigue - Déformation à 10^6 cycles ϵ_6 à 10°C et 25Hz - (NF EN 12697-24)	* $\epsilon_6 = 80 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 8} - V_{\max 11}$	* $\epsilon_6 = 90 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 7} - V_{\max 10}$	* $\epsilon_6 = 100 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 5} - V_{\max 8}$

vii. Enrobé à Module Élevé (EME)

- Enrobé bitumineux à chaud, semi-tiède ou tiède caractérisé par un module de rigidité à 15°C et 10Hz (ou 0,02 seconde) supérieur à 14000 MPa destiné à la réalisation des couches d'assise. La granularité est 0/10, 0/14 ou 0/20.
-
- Les performances des Bétons Bitumineux Minces sont spécifiées par la norme NF EN 13108-1.
-

- EME 0/10	- Classe 1	- Classe 2
- Essai PCG - Pourcentage de vides à 80 girations - (NF EN 1297-31)	- $V_{\max 10}$	- $V_{\max 6}$
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- i/C = 70	
- Essai d'orniérage - Profondeur d'ornièr P à 60°C et 10000 cycles - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* P = 7,5% • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 7} - V_{\max 10}$	* P = 7,5% • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 3} - V_{\max 6}$
- Module de rigidité - Module de rigidité S à 15°C et 10Hz ou 0,02 sec - (NF EN 12697-26) -	* S = 14000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 7} - V_{\max 10}$	* S = 14000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 3} - V_{\max 6}$

- Essai de fatigue - Déformation à 10^6 cycles ϵ_6 à 10°C et 25Hz - (NF EN 12697-24)	* $\epsilon_6 = 100 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 3} - V_{\max 6}$	* $\epsilon_6 = 130 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 3} - V_{\max 6}$
--	---	---

- EME 0/14	- Classe 1	- Classe 2
- Essai PCG - Pourcentage de vides à 100 girations - (NF EN 1297-31)	- $V_{\max 10}$	- $V_{\max 6}$
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- $i/C = 70$	
- Essai d'orniérage * Profondeur d'ornièr P à 60°C et 30000 cycles - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* $P = 7,5\%$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 7} - V_{\max 10}$	* $P = 7,5\%$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 3} - V_{\max 6}$
- Module de rigidité - Module de rigidité S à 15°C et 10Hz ou 0,02 sec - (NF EN 12697-26) -	* $S = 14000 \text{ MPa}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 7} - V_{\max 10}$	* $S = 14000 \text{ MPa}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 3} - V_{\max 6}$
- Essai de fatigue - Déformation à 10^6 cycles ϵ_6 à 10°C et 25Hz - (NF EN 12697-24)	* $\epsilon_6 = 100 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 8} - V_{\max 11}$	* $\epsilon_6 = 130 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 7} - V_{\max 10}$

- EME 0/20	- Classe 1	- Classe 2
- Essai PCG - Pourcentage de vides à 120 girations - (NF EN 1297-31)	- $V_{\max 10}$	- $V_{\max 6}$
- Essai de Tenue à l'eau - Rapport i/C - (NF EN 12697-12 Méthode A ou B)	- $i/C = 70$	
- Essai d'orniérage - Profondeur d'ornièr P à 60°C et 30000 cycles - (NF EN 12697-22 – dispositif de grandes dimensions)	* $P = 7,5\%$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 7} - V_{\max 10}$	* $P = 7,5\%$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 3} - V_{\max 6}$

- Module de rigidité - Module de rigidité S à 15°C et 10Hz ou 0,02 sec (NF EN 12697-26) -	* S = 14000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 7} - V_{\max 10}$	* S = 14000 MPa • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 3} - V_{\max 6}$
- Essai de fatigue - Déformation à 10^6 cycles ϵ_6 à 10°C et 25Hz (NF EN 12697-24) -	* $\epsilon_6 = 100 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 37} - V_{\max 10}$	* $\epsilon_6 = 130 \mu\text{def}$ • Pourcentage de vides des corps d'épreuves : $V_{\min 3} - V_{\max 6}$

0

0 10.2 Exécution des couches de chaussées en enrobés bitumineux tièdes et semi-tièdes

- La réalisation des couches de chaussée en enrobés bitumineux tièdes doit être exécutée selon les prescriptions de la norme NF P 98-150-1 « Enrobés hydrocarbonés - Exécution des assises de chaussée, couches de liaison et couches de roulement – Constituants, formulation, fabrication, transport, mise en œuvre et contrôles sur chantier ».
- Il convient de respecter les principes généraux spécifiés dans la norme relatifs à :
 - * la centrale de fabrication des mélanges,
 - * le transport,
 - * la préparation du support,
 - * la mise en œuvre.
- Les dispositions de mise en œuvre par type de produit restent inchangées, à savoir
 - * Teneur en liant résiduel minimale de la couche d'accrochage (g/m²)
 -

- BBDr	- BBTM	- Autres produits
- 350	- 300	- 250

* Épaisseur moyenne de mise en œuvre (cm)

- Produit	- Épaisseur moyenne d'utilisation (cm)	- Épaisseur minimale en tous points (cm)	
- BBM	- A 0/10	- 3 à 4	- 2,5
-	- A 0/14 et B 0/14	- 3.5 à 5	- 3
-	- B 0/10 et C 0/10	- 3 à 4	- 2,5
- BBSG et BBME	- 0/10	- 5 à 7	- 4
-	- 0/14	- 6 à 9	- 5
- BBDr	- 0/6	- 3 à 4	- 2
-	- 0/10	- 4 à 5	- 3
- BBTM	- 0/6 et 0/10	- 2 à 3	- 1,5
- GB	- 0/14	- 8 à 14	- 6
-	- 0/20	- 10 à 16	- 8
-	- 0/10	- 6 à 8	- 5
- EME	- 0/14	- 7 à 13	- 6
-	- 0/20	- 9 à 15	- 8

* Pourcentage de vides de mise en œuvre (cm)

- Produit	- Moyenne de pourcentage de vides	
- BBM	- A	- Entre 5 % et 10%
-	- B et C	- Entre 7 % et 12%
- BBSG et BBME	*	- Entre 4 % et 8 %
- BBDr	-	- Si des mesures de pourcentage de vides sont spécifiées, elles sont effectuées sur carottes -
- BBTM	-	- Mesures non significatives
- GB	- Type 0/14 ou 0/20 de classe 2	- = 11 %
-	- Type 0/14 ou 0/20 de classe 3	- = 9 %
-	- Type 0/14 ou 0/20 de classe 4	- = 8 %
- EME	- Type 0/10 – 0/14 ou 0/20 classe 1	- = 10 %
-	- Type 0/10 – 0/14 ou 0/20 classe 2	- = 6 %

-
- * Profondeur Moyenne de Texture PMT (mm)
-

- Produit	- Niveau de macrotexture minimal exigé (PMT – NF EN 13036-1) après mise en œuvre	
- BBM	- A 0/10, A 0/14, B 0/14	- 0,7 mm pour 90 % des points contrôlés
	- B 0/10, C 0/10	- 0,5 mm pour 90 % des points contrôlés
- BBSG et BBME	- 0/10	- 0,4 mm pour 90 % des points contrôlés
	- 0/14	- 0,5 mm pour 90 % des points contrôlés
- BBDr	-	- Mesures non significatives. La mesure de la drainabilité <i>in situ</i> est à faire selon l'annexe C de la norme NF P 98-150-1.
- BBTM	- 0/6	- 0,7 mm pour 90 % des points contrôlés
	- 0/10	- 0,9 mm pour 90 % des points contrôlés

o 10.3 Epreuves de convenance de fabrication et de mise en œuvre et contrôles

10.3.1 Epreuves de convenance de fabrication et contrôles

-
- L'épreuve de convenance de fabrication permet de :
- * Vérifier le respect de procédures de fabrication prévues au Plan d'Assurance Qualité (PAQ) ;
- * Valider le contrôle interne ;
- * Vérifier et, si nécessaire, caler les résultats du module d'acquisition de la centrale.
- L'épreuve est réalisée après les contrôles de réception des fournitures, les réglages et vérifications du poste (NF P 98-728-1 et 2). La fabrication se fait à la cadence et dans les conditions prévues pour le chantier et précisées dans le PAQ.
- L'épreuve de convenance de fabrication permet de valider le bon fonctionnement de la centrale et l'homogénéité du malaxage. Le contrôle porte sur 10 prélèvements également répartis sur au moins deux camions.
-

- Chaque prélèvement est homogénéisé puis réduit pour détermination de la teneur en liant et de la granularité selon les normes NF EN 12697-1 et 2.
-
- Les résultats de la granularité sont confrontés aux exigences du CCTP pour les écarts absolus des passants aux tamis (usuellement on considère les tamis de 0,063 mm ; 2 mm et 6,3 mm). De même les écarts sur la teneur en liant doivent être conformes aux spécifications du CCTP et on considère que la teneur en liant est homogène lorsque son coefficient de variation (rapport de l'écart-type à la moyenne, exprimé en pour-cent) est inférieur à 5%.

10.3.2 Contrôle de conformité

-
- Les épreuves de contrôle de la conformité de l'ouvrage sont effectuées selon les mêmes procédures que lors de la réalisation de la planche de référence. La recevabilité des résultats est jugée peut être prononcée au regard de deux méthodes, au choix :
-
- * La méthode de l'intervalle : on compare la population de contrôle à un intervalle de pourcentages de vides de référence encadré par deux valeurs minimale et maximale.
- * La méthode de Colin-White : méthode statistique qui permet de comparer la population de contrôle à la population de la planche de référence.

10.3.3 Epreuves de convenance de mise en œuvre et contrôles

-
- i. Epreuve de convenance de mise en œuvre***
-
- L'épreuve de convenance de mise en œuvre, comporte la réalisation d'une planche de référence dans les conditions prévues au PAQ du chantier. Chacun des facteurs influençant le compactage des matériaux est examiné:
- * Fonctionnement normal de la centrale : débit, conformité de la fabrication et des températures de fabrication,
- * Moyens de transport : nombre de camions, bâchage, durée de transport ;
- * Fonctionnement des ateliers de mise en œuvre : type et nombre de matériels, réglages ;
- * Conditions météorologiques convenables ;
- Le contrôle de la température doit être effectué pour tracer la courbe de refroidissement de l'enrobé et vérifier que le compactage peut s'effectuer convenablement pour une situation météorologique donnée.
-
- La réalisation de la planche de référence permet de :
-
- * valider les procédures prévues au PAQ ;
- * vérifier la bonne application du PAQ ;

- * valider les paramètres définissant les modalités de compactage : composition des ateliers, paramètres de fonctionnement des matériels, plan de balayage ;
- * valider les paramètres définissant le cas de compactage : formule de l'enrobé, débit de mise en œuvre, vitesse d'avancement du finisseur, épaisseur et température ;
- * valider les résultats contrôle intérieur ;
- * caler les moyens de contrôles utilisés pour les épreuves d'information.
-
- Les principes appliqués sont ceux de la norme NF P 98-151 : « Enrobés hydrocarbonés – Contrôles occasionnels du pourcentage de vides lors de la mise en œuvre avec planche de référence ». Les éléments qui suivent ne sont pas exhaustifs et il est impératif de se référer à la norme NF P 98-151.
-
- Au moins 20 points de mesures disposés en quinconce, hors des zones singulières et espacés d'un pas constant doivent être réalisés sur toute la surface de la planche.
-
- Les pourcentages de vides sont mesurés selon la norme NF EN 12697-8.
-
- La détermination de la masse volumique apparente peut se faire en laboratoire sur des échantillons carottés conformément aux normes d'essais suivantes :
-
- * NF EN 12697-6 : « Mélanges bitumineux – Méthode d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 6 : détermination de la masse volumique apparente des éprouvettes bitumineuses »
- * NF EN 12697-7 : « Mélanges bitumineux – Méthode d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 7 : détermination de la masse volumique apparente des éprouvettes bitumineuses par les rayons gamma »
- * NF P 98-250-5: Essais relatifs aux chaussées – Préparation des mélanges hydrocarbonés – Mesure en laboratoire de la masse volumique apparente d'un corps d'épreuve au banc gamma densimétrique »
- Ou à partir de mesures in situ :
-
- * NF P 98-241-1: Essais relatifs aux chaussées – Mesure de la masse volumique des matériaux en place – Partie 1 : Mesure ponctuelle de la masse volumique moyenne apparente par gamma densimètre à transmission directe »
-
- Les résultats des pourcentages de vides obtenus sur la planche de référence sont acceptés lorsque :
-
- * la moyenne du pourcentage de vides obtenue est incluse dans l'intervalle défini par la norme NF P 98-150-1 pour le produit correspondant ;

- * La totalité des valeurs de pourcentage de vides obtenues sont comprises dans l'intervalle [*moyenne ± 3 % de vides*] .
- L'usage de gamma densimètres à pointe permet de mesurer l'évolution du pourcentage de vides en fonction du nombre de passes des compacteurs pour des conditions météorologiques et des températures d'application données. Cette information peut s'avérer précieuse pour certains cas de chantiers et permet de valider in fine les nombre de passes de compactage minimum et maximum.
-
- Par ailleurs, c'est à l'aide de la planche de référence que doivent être calibrés les appareils utilisés pour les épreuves d'informations tels que :
 -
- * Les appareils à grand rendement pour la mesure des pourcentages de vides (GDM 45, GMPV, etc.), de l'épaisseur (Radar) ou de la macrotexture (Rugolaser)
- * Les appareils de mesure ponctuelle pour la mesure des pourcentages de vides tels que les gammas densimètres à rétrodiffusion.

ii. Contrôle de conformité

-
- Les épreuves de contrôle de la conformité de l'ouvrage sont effectuées selon les mêmes procédures que lors de la réalisation de la planche de référence. La recevabilité des résultats est jugée peut être prononcée au regard de deux méthodes, au choix :
 -
- * La méthode de l'intervalle : on compare la population de contrôle à un intervalle de pourcentages de vides de référence encadré par deux valeurs minimale et maximale.
- * La méthode de Colin-White : méthode statistique qui permet de comparer la population de contrôle à la population de la planche de référence.

o 10.4 Procédés d'entreprises

- Le tableau ci-dessous résume les différents procédés d'entreprises disponibles à ce jour en France à la date de publication du guide:

- Technologie	- Nom du procédé	- Gain en température (°C)	- Appicateurs
- Technologie par additivation anhydre	- ETIMA Bio®	- 40 °C	- MALET
	- 3 ELT	- 40 °C	- COLAS
	- TEMPERA: Evotherm MA 3	- 40 °C	- EUROVIA
	- EBT®	- 40 °C	- EIFFAGE Travaux Publics
- Technologies à la mousse de bitume	- TEMPERA: Evotherm® DAT 5	- 50 °C	- EUROVIA
	- EBT®	- 40 °C	- EIFFAGE Travaux Publics
- Technologies par séquençage et moussage	- EBT® 90	- 70 °C	- EIFFAGE Travaux Publics
	- EBE	- 70 °C	- Licence LeaCo
	- EBT®	- 30 à 45°C	- EIFFAGE Travaux Publics
	- WAM FOAM	- Jusqu'à 60°C	- Licence Shell
	- 3 E DB	- 40 °C	- COLAS
	- 3 E DM	- 40 °C	- COLAS

- **Tableau : Procédés d'entreprises**

- Fournisseurs d'additif : CECA, MECAROUTE, MeadWestvaco, Akzo Nobel,....
- Fournisseurs de bitume prêt à l'emploi (TOTAL, NYNAS) permettant un gain de 40°C.
- Fournisseurs de matériels (kit mousse: AMMAN, ASTEC, BENNINGHOVEN, ERMONT MARINI, ARGUMAT, INTRAME).
- Les sites entreprises :
- ✓ www.colas.com
- ✓ www.eiffagetravauxpublics.com
- ✓ www.entreprise-malet.fr
- ✓ www.eurovia.fr
- ✓ www.shell.fr
- ✓ www.total.fr
- ✓ www.usirf.com

-
- Les sites institutionnels :
 - ✓ www.setra.equipement.gouv.fr
 - ✓ www.ifsttar.fr
 - ✓ www.idrim.com
-
- Site internet : www.warmmixasphalt.com

o

o 10.5 Retours d'expériences : fiches chantiers

-
-
-

- 3 E+R – A75

-
-
-
-
-

- **Date du chantier:** 09 septembre 2008

-

- **Lieu:** Entre Pézenas et Béziers, expérimentation sur 4 planches de 300m (PR 316.840 au 318.040).

- **Formule:**

- Béton Bitumineux Semi-Grenu 0/10 de classe 3
- Béton bitumineux semi grenu 0/10 de classe 3 3E+20% de Recyclés
- Gravier Bitume 3E+R de classe 3 (GB 3 0/20) mise en œuvre en deux couches de 10 cm d'épaisseur.

-

- **Trafic:** Trafic T0 (environ 1200 PL/j et par sens)

-

- **Climat:** Méditerranéen

-

- **Centrale d'enrobage:** La fabrication a été assurée par un poste d'enrobage mobile à tambour sécheur enrobeur de type Ermont TSM R 25 XL de capacité de production comprise entre 200 et 500 T/h. La centrale est équipée d'un anneau de recyclage afin de permettre l'introduction des agrégats d'enrobés.

- **Suivis:**
-
- Suivis effectués par le Sétra et le CETE Méditerranée.
-
-

-	- Planche 1	- Planche 2	- Planche 3	- Planche 4
-				
- Chantier	-			
- T° de fabrication en centrale	- BBSG : 161°C - GB : 148°C	- BBSG : 161°C - GB 3E+R: 120°C	- BBSG 3E+R : 119°C - GB 3 E+R: 120°C	- BBSG 3E+R : 119°C - GB : 148°C
- Distance de transport	- Sur site	- Sur site	- Sur site	- Sur site
- Atelier de mise en oeuvre	- Finisseur ABG 8820 en grande largeur de 8,20 m avec un système de guidage par double poutres lasers. - Une trémie tampon alimentateur Franex F 392. - Deux compacteurs à pneus (lestés à 3T/roue – P1) : 2 PS 300 - Trois compacteurs double bille vibrants (VT2) : 2 BW 180 AD Bomag et 1 CC 722 Dynapac.			
-				
- Mesures des températures moyennes à la centrale	- 163°C	- 120°C	- 120°C	- 163°C

- Relevé des conditions météo à la mise en œuvre	- La réalisation de la couche de fondation s'est faite sous des températures comprises entre 18°C à 8h et 31°C vers 16h, sous un ciel voilé avec un léger vent du nord.			
- Point zéro	-			
- Relevé visuel	- Aucune dégradation			
- Carottages	- Epaisseurs conformes - Interfaces collées			
- Mesures de pourcentage de vides BBSG sur carottes	- 6,6%	- 6,6%	- 5,6%	- 5,6%
- Mesures de pourcentage de vides GB Base sur carottes	- 7,5%	- 9,2%	- 9,6%	- ---
- Mesures de pourcentage de vides GB Fondation sur carottes	- 6,1 %	- 7,2 %	- 7,1%	- 8.1%
- Uni longitudinal	- VL: spécifications respectées - VR: spécifications respectées	- VL: spécifications respectées, - VR : spécifications non respectées, note MO < 7 (passage d'un OA)	- VL: spécifications non respectées, note PO de 4 et MO de 6 (joint transversal) - VR: spécifications respectées	- VL: spécifications respectées - VR: spécifications respectées
- Profil en travers	- < 5 mm	- < 5 mm	- < 5 mm	- < 5 mm

- Mesures de macrotexture (PMT)	- Moy: 0,54 mm - Min:0,50 mm - Max:0,70 mm	- Moy: 0,47 mm - Min: 0,30 mm - Max:0,60 mm	- Moy:0,42 mm - Min:0,0 mm - Max: 0,50 mm	- Moy: 0,44 mm - Min:0,40 mm - Max:0,50 mm
- CFL à 4 vitesses - CFL 40, 60, 90, 110	- VL : - CFL40: 0,67 - CFL60: 0,53 - CFL90: 0,37 - CFL110: 0,26 - VR : - CFL40: 0,66 - CFL60: 0,48 - CFL90: 0,29 - CFL110: 0,30	- VL : - CFL40: 0,67 - CFL60: 0,50 - CFL90: 0,29 - CFL110: 0,26 - VR : - CFL40: 0,66 - CFL60: 0,44 - CFL90: 0,18 - CFL110: 0,19	- VL : - CFL40: 0,65 - CFL60: 0,47 - CFL90: 0,28 - CFL110: 0,14 - VR : - CFL40: 0,65 - CFL60: 0,48 - CFL90: 0,15 - CFL110: 0,17	- VL : - CFL40: 0,65 - CFL60: 0,45 - CFL90: 0,28 - CFL110: 0,18 - VR : - CFL40: 0,66 - CFL60: 0,47 - CFL90: 0,19 - CFL110: 0,21
- Mesures de déflexion	- < 10/100 mm	- < 10/100 mm	- < 10/100 mm	- < 10/100 mm
- 2 ans – Essais mécaniques sur la couche de fondation				
- % de vides au banc gammadensimétrique (NF EN 12697-7 et 8)	- 6,3 %	- 6,0 %	- 6,9 %	- 7,2 %
- Essai de module en traction directe (NF EN 12697-26/E) - Emin (NF EN 13108-1) - E étude de formulation	- 15 405 MPa - - > 9 000 MPa - - 12 900 MPa - (7,7 % de vides)	- 13 968 MPa - - > 9 000 MPa - - -	- 13 544 MPa - - > 9 000 MPa - - -	- 14 628 MPa - - > 9 000 MPa - - 12 900 MPa - (7,7 % de vides)
- 4 ans	-			
- Relevé visuel	- Fissurations transversales non dégradées (origine inconnue)			

- Orniérage (valeurs moyennes)	- < 5 mm	- < 5 mm	- < 5 mm	- < 5 mm
- Macrotexture (PTE) (Rugo)	- VL: Axe: 0,65 mm Rive:0,60 mm - VR: Axe:0,60 mm Rive: 0,60 mm	- VL: Axe:0,60 mm Rive:0,55m m - VR: Axe: 0,55 mm Rive: 0,55 mm	- VL: Axe: 0,55 mm Rive: 0,55 mm - VR: Axe: 0,51 mm Rive: 0,52 mm	- VL: Axe: 0,55 mm Rive: 0,55 mm - VR: Axe: 0,51 mm Rive: 0,56 mm
- CFL à 4 vitesses - CFL 40, 60, 90, 110	- VL : - CFL40: 0,42 - CFL60: 0,31 - CFL90: 0,23 - CFL110: 0,22 - VR : - CFL40: 0,50 - CFL60: 0,35 - CFL90: 0,27 - CFL110: 0,24	- VL : - CFL40: 0,44 - CFL60: 0,30 - CFL90: 0,17 - CFL110: 0,15 - VR : - CFL40: 0,53 - CFL60: 0,34 - CFL90: 0,20 - CFL110: 0,15	- VL : - CFL40: 0,45 - CFL60: 0,30 - CFL90: 0,13 - CFL110: 0,13 - VR : - CFL40: 0,53 - CFL60: 0,34 - CFL90: 0,17 - CFL110: 0,13	- VL : - CFL40: 0,45 - CFL60: 0,31 - CFL90: 0,16 - CFL110: 0,12 - VR : - CFL40: 0,52 - CFL60: 0,37 - CFL90: 0,22 - CFL110: 0,15

-
-

-
- **Conclusion: Suivis à 4 ans par le LRPC d'Aix-en-Provence**
- Au vu des résultats des investigations menées en décembre 2012 pour le suivi à 4 ans, nous pouvons conclure que :
 - Les enrobés 3E+R en assise ont un comportement à 4 ans similaire aux enrobés à chaud (résultats comparables des planche 1 et 2)
 - Les enrobés 3E+R en couche de roulement affichent à 4 ans un niveau de microtexture équivalent mais assez faible et un niveau de macrotexture légèrement inférieur principalement en voie lente tout en sachant que ce niveau d'adhérence pour l'ensemble des planches est globalement faible. Le faible niveau de macrotexture est inhérent à la technique BBSG.

- **Date du certificat:** 28 novembre 2011

- 3E+R – RN333



-
- **Date du chantier:** juillet 2008
-
- **Lieu:** entre les PR 31+000 et PR 29+750 dans le sens Strasbourg-Nancy
- **Formule:** La formule testée sera donc une BBMC 0/10 de classe 3 sur 4 cm d'épaisseur, après fraisage de l'ancienne couche de roulement et avec 30% d'agrégats d'enrobés.
-
- **Trafic:** trafic T0, 4000 poids lourds par sens de circulation.
-
- **Climat:** semi-continental
-
- **Centrale d'enrobage:** Nancy Enrobés

0

- Suivis:
-
- Suivis effectués par le Sétra et le CETE de l'Est
-
-

-	- Planche 1 - 3 E+R	- Planche 2 - 3E	- Planche 3 - R	- Planche 4 - Témoin
- Chantier	-			
- T° de fabrication en centrale	- Entre 122 et 126°C	- Entre 122 et 126°C	- Entre 157 et 162°C	- Entre 157 et 162°C
- Distance de transport	- 30 km	- 30 km	- 30 km	- 30 km
- Mise en œuvre: Atelier	- 1 centrale fixe (PAM), 3 finisseurs, 4 VT2			
-				
- Mesure des températures d'application	- 121°C	- 127°C	- 151°C	- 153°C
- Mesures de pourcentage de vides BBSG	- 6,3%	- 7,3%	- 6,9%	- 7,7%
- Mesures de macrotexture (PMT)	- VL : - Moy: 0,74 mm - Min: 0,69 mm - Max: 0,85 mm - VR : - Moy: 0,76 mm - Min: 0,65 mm - Max: 0,92 mm -	- VL : - Moy: 0,85 mm - Min: 0,72 mm - Max:1 mm - VR : - Moy: 0,9 mm - Min: 0,72 mm - Max: 1.10 mm -	- VL : - Moy: 0,86 mm - Min:0,85 mm - Max:0,90 mm - VR : - Moy: 0,98mm - Min: 0,9 mm - Max: 1,05 mm -	- VL : - Moy: 0,96 mm - Min: 0,90 mm - Max:1,10 mm - VR : - Moy: 1,11 mm - Min: 1,00 mm - Max: 1,30 mm -
- CFL à 3 vitesses - CFL 40, 60, 90	- CFL40: 0,63 - CFL60: 0,46 - CFL90: 0,33	- CFL40: 0,64 - CFL60: 0,49 - CFL90: 0,36 -	- CFL40: 0,61 - CFL60: 0,45 - CFL90: 0,37	- CFL40: 0,64 - CFL60: 0,48 - CFL90: 0,41

- Relevé des conditions météo à la mise en œuvre	- Les travaux d'entretiens ont été faits de jour dans des conditions de température et d'hygrométrie satisfaisantes.			
- Carottages	- Epaisseur : conforme - Interface collée	- Epaisseur : conforme - Interface collée	- Epaisseur: conforme - Interface collée	- Epaisseur : conforme - Interface collée
- Point zéro	-			
- Relevé visuel	- Aucune dégradation	- Aucune dégradation	- Aucune dégradation	- Aucune dégradation
- Mesures d'uni longitudinal	- P.O : 100% >=6 (100 % Exigé) M.O: 100% >=7 (100 % Exigé) - 100% >= 7 (90,48% Exigé) 100% >= 8 (91,67% Exigé) - Toutes les spécifications sont respectées			
- Mesures de macrotexture (PMT)	- VL: Moy: 0,69 Min: 0,55 Max: 0,88 - VR: Moy: 0,76 Min: 0,60 Max: 0,96			
- CFL à 3 vitesses - CFL 40, 60, 90	- CFL40: 0,51 - CFL60: 0,43 - CFL90: 0,32	- - CFL40: 0,54 - CFL60: 0,46 - CFL90: 0,33 -	- CFL40: 0,54 - CFL60: 0,47 - CFL90: 0,36	- CFL40: 0,56 - CFL60: 0,49 - CFL90: 0,38
- 3 ans	-			
- Relevé visuel	- Une quarantaine de fissures transversales ont été relevées sur l'ensemble			

	des planches. Leur origine est directement liée à l'état de fissuration de la grave-laitier présente en couche de fondation.			
- Orniérage (valeurs moyennes)	- Entre 7 et 10 mm (≤ 10 mm, sans incidence particulière)			
- Macrotexture (PMT) (Rugo)	- VL: Axe: 0,83 Rive:0,64 - VR: Axe: 0,73 Rive:0,77	- VL: Axe:0,84 Rive:0,71 - VR: Axe: 0,82 Rive:0,82	- VL: Axe: 0,79 Rive: 0,75 - VR: Axe: 0,75 Rive:0,77	- VL: Axe: 0,84 Rive:0,76 - VR: Axe: 0,78 Rive:0,77
- CFL à 3 vitesses - CFL 40, 60, 90	- CFL40: 0,46 - CFL60: 0,38 - CFL90: 0,22	- - CFL40: 0,48 - CFL60: 0,37 - CFL90: 0,25 -	- CFL40: 0,49 - CFL60: 0,39 - CFL90: 0,26	- CFL40: 0,49 - CFL60: 0,40 - CFL90: 0,30

-
-
-
-
-

- **Conclusion: Suivis à 3 ans par le LRPC de Nancy**
- Des différents résultats du suivi à 3 ans, on peut retenir:
 - Un relevé visuel (SSV) montrant la présence de fissures et micro fissures transversales.
 - Le relevé de profils en travers "TUS" révèle une évolution entre les mesures de l'année 2009 (4 à 5 mm) et celles de 2011 (7 à 10 mm)
 - Les relevés de coefficient de frottement longitudinaux présentent à 3 ans:
 - Une microtexture en légère décroissance sur l'ensemble des planches.
 - Une macrotexture qui se stabilise.
 - Le relevé de macrotextures au Rugolaser reste stable.
-
- **Date du certificat: 28 novembre 2011**

- **AZALT ECO² – RD 957**

- **Date du chantier:** 29, 30 septembre 2009 et 1^{re} octobre 2009.

- **Formule:** L'Azalt ECO² 35/50 est destiné à la fabrication d'enrobés bitumineux tièdes. Ce liant « prêt à l'emploi » permet de réduire de 40°C les températures de fabrication et d'application des enrobés bitumineux à usage routier.

- L'enrobé de référence utilisé est un BBSG de classe 2 0/10 avec un bitume 35/50 livré depuis une raffinerie de l'entreprise Total.

- **Climat:** Océanique

0 *Suivis:*

-	- Témoïn 1 - VL	- Témoin 2 - VR	- Expérimentale 1 VL	- Expérimentale 2 VR
- Chantier	-			
- T° de fabrication	- 160-165°C	- 160-165	- 120-125	- 120-125°C
- Durée de transport	- 30 min	- 30 min	- 30 min	- 30 min
- Mise en œuvre: Atelier	- Finisseur à chenilles + 2 cylindres à pneus BOMAG BW + Cylindre à billes lisses AMMAN AV15	- Finisseur à chenilles + 2 cylindres à pneus BOMAG BW + Cylindre à billes lisses AMMAN AV15	- Finisseur à chenilles + 2 cylindres à pneus BOMAG BW + Cylindre à billes lisses AMMAN AV15	- Finisseur à chenilles + 2 cylindres à pneus BOMAG BW + Cylindre à billes lisses AMMAN AV15
- T° d'application:	- 165	- 165	- 115-120	- 115-120
-	-	-	-	-
- Mesures de déformation transversale (TUS) avant travaux	- 8,22 mm	- Non mesuré	- 4.82 mm	- Non mesuré
- Mesures d'orniérage avant travaux	- 6.89 mm	- Non mesuré	- 3,83mm	- Non mesuré
- Mesures des	- Voir ci-dessus	- Voir ci-	- Voir ci-dessus	- Voir ci-dessus

températures à la centrale et à la table du finisseur	(fabrication et application)	dessus (fabrication et application)	(fabrication et application)	(fabrication et application)
- Ressenti olfactif des personnes présentes	- R.A.S	- R.A.S	- Suppression des odeurs (sur le site et en centrale)	
- Relevé des conditions météo à la mise en œuvre	- Aucune difficulté - Temps ensoleillé Température : 25 °C	- Aucune difficulté - Temps nuageux et humide Température : 15 °C	- Aucune difficulté - Température moyenne: 23 °C Temps ensoleillé et sec.	- Température: 9 °C Temps ensoleillé mais avec du vent. - Difficultés lors du compactage.
- Mesures environnementales - et énergétiques	- Gain de 35% sur la consommation en gaz au niveau de la centrale (LCPC Blois). - Réduction de 30 % des émissions de gaz à effets			

	de serre en centrale par rapport à un enrobé classique . - Réduction des émissions de 47 % de COG (Composés Organiques Gazeux) entre un enrobé classique et l'Azalt ECO2 (IFSTTAR).			
- Macrotexture (Rugolaser) en moyenne après travaux	- Axe: 0.61mm - Rive: 0.56 mm	- Axe: 0.64 mm - Rive: 0.65 mm	- Axe: 0.59mm - Rive: 0.56 mm	- Axe: 0.60 mm - Rive: 0.60 mm
- Compacité moyenne	- 95%	- 94%	- 94%	- 92%
- 1 an	-			
- Relevé visuel	- Etat très satisfaisant – pas de différences entre les sections	- Etat très satisfaisant – pas de différences entre les sections	- Etat très satisfaisant – pas de différences entre les sections	- Etat très satisfaisant – pas de différences entre les sections

- Mesures de déformation transversale (TUS)	- 6.02 mm	- 5.93 mm	- 4.55 mm	- 5.88 mm
- Mesure d'orniérage	- 3.70 mm	- 4.01 mm	- 2.77 mm	- 4.00 mm
- Macrotexture (Rugolaser) en moyenne	- Axe: 0.60mm - Rive: 0.60mm	- Axe: 0.60 mm - Rive: 0.64 mm	- Axe: 0.56mm - Rive: 0.56 mm	- Axe: 0.55 mm - Rive: 0.58 mm
- 3 ans	-			-
-	-			
- Relevé visuel	- Etat très satisfaisant – pas de différences entre les sections			
- Mesures de déformation transversale (TUS)	- 5.07 mm	- 4.01 mm	- 3.76 mm	- 3.83 mm
- Mesure d'orniérage	- 4.56 mm	- 3.56 mm	- 3.15 mm	- 3.30 mm
- Macrotexture (Rugolaser) En moyenne	- Axe: 0.61 mm - Rive: 0.74 mm	- Axe: 0.66 mm - Rive: 0.69 mm	- Axe: 0.6 mm - Rive: 0.56 mm	- Axe: 0.59 mm - Rive: 0.63 mm