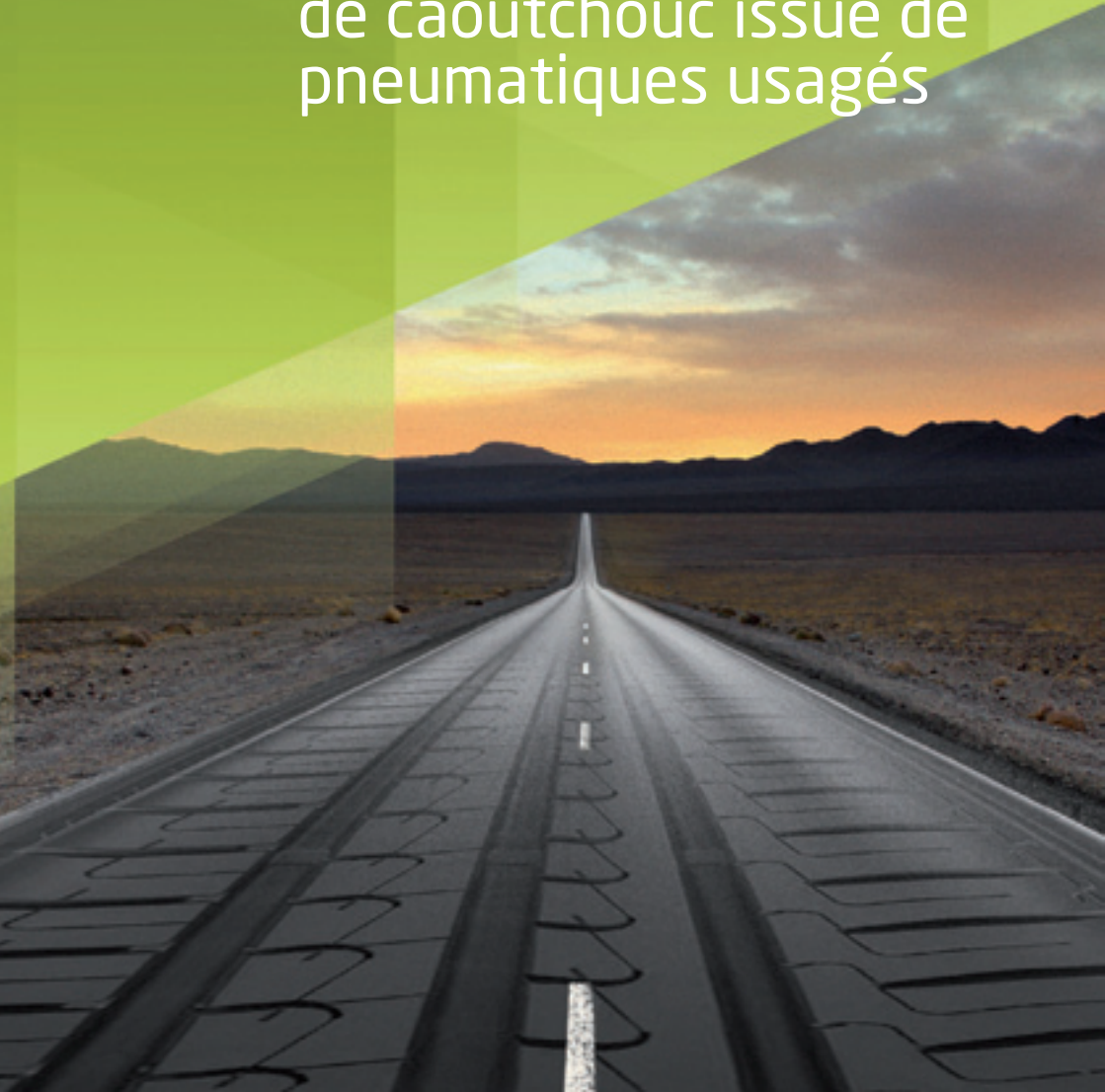


SIGNUS

SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS

G

uide pour la fabrication
d'enrobés bitumineux
avec de la poudrette
de caoutchouc issue de
pneumatiques usagés





Auteurs

José M^o Bermejo Muñoz

Directeur de Développement des Marchés de Valorisation chez SIGNUS Ecovalor

Juan Gallego Medina

Professeur Titulaire de l'Université Polytechnique de Madrid

Leticia Saiz Rodríguez

Technicienne en Développement de Marchés de Valorisation chez SIGNUS Ecovalor

EXONÉRATION DE RESPONSABILITÉ

Le contenu de ce Guide est, d'une part, le résultat de l'analyse des différentes expériences menées par les auteurs préalablement à ce travail et, d'autre part, la synthèse des résultats des expériences réalisées sur différents bitumes et poudrettes de caoutchouc en laboratoire.

Les auteurs ont écrit ce Guide avec tout le discernement et toute la rigueur technique possibles. Toutefois, il appartient à l'utilisateur de ce Guide de faire preuve du discernement nécessaire pour obtenir des résultats satisfaisants. Les auteurs et SIGNUS Ecovalor sont donc exemptés de toute responsabilité dérivant de l'application pratique de ce Guide.

AVERTISSEMENT

SIGNUS Ecovalor est un organisme non lucratif destiné à encourager les fabricants et importateurs (producteurs) qui le souhaitent à respecter leurs obligations légales concernant les déchets issus des pneumatiques usagés.

Les missions de SIGNUS sont de garantir un traitement adéquat des pneumatiques usagés, depuis leur production jusqu'à leur recyclage en matériaux revalorisés, et de maximiser leur revalorisation en développant de nouvelles applications et de nouveaux marchés, parmi lesquels l'un des plus importants est celui des enrobés bitumineux.

Sommaire

0. REMERCIEMENTS	7
1. PRÉSENTATION DU GUIDE	9
2. NORMES DE RÉFÉRENCE DES BITUMES-CAOUTCHOUC	13
2.1 Bitumes améliorés avec du caoutchouc	15
2.2 Bitumes modifiés avec du caoutchouc et des polymères	16
2.3 Bitumes modifiés à haute viscosité avec du caoutchouc	17
2.4 Conditions de stockage des bitumes-caoutchouc	18
3. INTERACTION BITUME-CAOUTCHOUC : PROCESSUS DE DIGESTION	21
3.1 Le processus de digestion du caoutchouc par les bitumes	21
4. CARACTÉRISATION DE LA POUDRETTE DE CAOUTCHOUC	25
4.1 Caractéristiques et méthodes d'essai	25
5. CONCEPTION DE BITUMES-CAOUTCHOUC	29
5.1 Choix du bitume de base	29
5.2 Choix de la poudre de caoutchouc	29
5.3 Choix du polymère	30
5.4 Choix du mélangeur de laboratoire	30
5.5 Température de mélange et temps de digestion	31
5.6 Prise d'échantillons et tests de contrôle	32
5.7 Formulation du bitume en laboratoire	32
5.8 Vérification des caractéristiques du liant à l'échelle industrielle	33
6. FABRICATION DE BITUMES-CAOUTCHOUC À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE	35
6.1 Systèmes pour la fabrication de bitumes-caoutchouc à l'échelle industrielle	35
6.1.1 Configurations les plus fréquentes d'unités de production	35
6.1.2 Types de mélangeurs	37
6.2 Composants de la formulation du liant	38
6.2.1 Poudre de caoutchouc : réception, stockage et contrôle	38
6.2.2 Polymère : réception, stockage et contrôle	38
6.3 Fabrication du bitume-caoutchouc	39
6.4 Contrôle de la production	39
6.5 Stockage des bitumes-caoutchouc	40
7. FORMULATIONS-TYPE DE BITUMES-CAOUTCHOUC	43
7.1 Caractéristiques et sélection des matériaux	43
7.1.1 Bitumes de base	44
7.1.2 Poudre de caoutchouc	44
7.1.3 Polymères	46
7.2 Protocole de fabrication	46
7.3 Formulations recommandées de bitumes-caoutchouc	47
7.3.1 Bitumes améliorés avec du caoutchouc	47
7.3.2 Bitumes modifiés avec du caoutchouc	48
7.3.3 Bitumes modifiés à haute viscosité avec du caoutchouc	49
ANNEXE 1. Appareils de fabrication en laboratoire	53
ANNEXE 2. Appareils de fabrication à l'échelle industrielle	59

Remerciements



La réalisation de ce Guide est le fruit d'un travail expérimental mené au Laboratoire des Chaussées de l'Université Polytechnique de Madrid, dans le cadre de l'accord de collaboration signé entre SIGNUS et la Fondation Agustin de Betancourt pour l'étude de formulations de bitumes modifiés avec de la poudrette de caoutchouc.

Malgré l'existence d'un accord pour l'exécution de ce travail, SIGNUS, en tant que concepteur du document, tient à remercier formellement pour sa grande implication dans le projet le professeur Juan Gallego qui, grâce à sa persévérance et son intérêt personnel pour le sujet, a porté ce travail qui, bien qu'il ne soit pas destiné à la recherche fondamentale, a atteint un niveau élevé en termes de technologie et d'innovation à travers une approche éminemment industrielle, ce qui le rend extrêmement précieux dans la promotion du développement des mélanges bitume-caoutchouc dans notre pays.

Sa grande implication dans ce projet a permis de recueillir un volume d'informations d'une grande richesse qui a impliqué un gros effort de synthèse au moment de la rédaction de ce Guide, afin d'en faire un outil de travail dont l'application serait pratique et directe pour leurs destinataires : administrations publiques, entreprises de construction ou fabricants de mélanges bitumineux, ingénieurs, etc. Ce Guide a pour vocation d'entraîner un changement définitif dans la perception actuelle des mélanges bitumineux intégrant de la poudrette de caoutchouc issue de pneumatiques usagés.

SIGNUS remercie aussi le professeur Juan Gallego pour ses efforts dans la diffusion des résultats de ce travail en particulier et des technologies en général, notamment à travers sa participation inestimable aux journées et événements visant à diffuser l'utilisation des mélanges bitumineux avec de la poudrette de caoutchouc.

Nous tenons enfin à remercier les entreprises BONDERALIA MONTOIL, IKA, SILVERSON et TECNIDOS SISTEMAS Y PROCESOS, pour la cession des droits photographiques des appareils figurant dans ce guide.

Présentation du Guide



Le Cahier de Prescriptions Techniques Générales pour la construction de chaussées et de ponts (PG-3) du Ministère du Développement prévoit la possibilité d'utiliser les bitumes ou mélanges modifiés avec des polymères, à condition de respecter les spécifications fixées.

En ce sens, la modification des bitumes peut être réalisée soit avec des polymères, soit avec de la poudre de caoutchouc¹ (Directive 21/2007 du Ministère du Développement) obtenue à partir de pneumatiques usagés, pour produire différents types de bitumes et mélanges bitumineux ayant des propriétés différentes mais toujours supérieures à celles obtenues avec les mélanges bitumineux conventionnels.

Indépendamment des effets positifs que confère la poudre de caoutchouc au bitume, un des atouts qui conduit à recommander la généralisation de son utilisation est le fait qu'elle permette d'améliorer la rhéologie à moindre coût par rapport aux polymères et autres additifs.

À cette différence de coût initial doivent être ajoutés une série d'avantages comme les économies réalisées en matière de conservation des routes et la prolongation de leur vie utile.

SIGNUS, organisme constitué dans le principal but de garantir la bonne gestion des pneus usagés collectés en Espagne, respecte donc une série de critères fixés par l'Administration Générale de l'État et par les Communautés autonomes, à travers, entre autres, le Plan Nacional Integrado de Residuos* (PNIR 2008-2015), qui a pour objectif de réutiliser 55% du caoutchouc provenant des pneus usagés pour des mélanges bitumineux.

“ Miser sur les mélanges bitumineux intégrant de la poudre implique des économies à court et long termes ”.

(1) Tout au long de ce Guide, on utilisera indistinctement la dénomination "poudre de pneumatique" ou "poudre de caoutchouc" pour faire référence au caoutchouc obtenu à partir de la transformation des pneumatiques usagés.

* Plan National Intégré des Déchets (Ndt).



Jusqu'à présent, il n'existe aucun registre officiel contenant des données précises sur la consommation en poudrette de caoutchouc pneumatique en Espagne, ni sur les tronçons de route réalisés avec des mélanges bitumineux incorporant de la poudrette de pneus usagés. Toutefois, on estime qu'actuellement plus de 1 100 km de voies ont été réalisées avec ce matériau. Les bons résultats obtenus au cours des dernières années viennent renforcer la confiance en cette technologie.

Bien que certaines entreprises aient déjà misé sur le développement de ces applications, la méconnaissance pratique et la crainte concernant la formulation des bitumes-caoutchouc continuent d'être importantes, notamment en raison de l'idée qu'un niveau de technicité élevé est nécessaire.

L'analyse du marché actuel de fabrication de bitumes-caoutchouc à partir de pneus

usagés révèle que seuls quelques fabricants commercialisent ce type de liants. Il s'agit généralement d'entreprises très spécialisées et hautement techniques qui élaborent leurs propres formules de travail. Il est habituel pour ces entreprises de décrire, dans les publications de divulgation de leurs produits, les propriétés et améliorations obtenues sans faire référence aux formulations employées, celles-ci faisant partie de leur savoir-faire.

Cette situation implique, entre autres conséquences, que des entreprises de taille moyenne étant peu spécialisées dans les bitumes, n'osent pas se lancer dans la fabrication de leurs propres liants bien que l'équipement nécessaire à cette fabrication soit relativement simple et les possibilités d'économie parfaitement évidentes.

Les principaux destinataires de ce Guide sont les entreprises de construction et les producteurs de bitumes modifiés ayant une

spécialisation ou un niveau technique limités pour la fabrication de bitumes-caoutchouc. Ce Guide a pour objet de les doter d'un outil simple et pratique qui leur permette de disposer d'une pré-formulation pour chacun des bitumes-caoutchouc les plus utilisés en Espagne, de sorte qu'ils soient en mesure de les fabriquer après quelques essais de vérification.

Pour atteindre cet objectif, une série d'essais en laboratoire destinés à déterminer des fourchettes approximatives de composition du bitume-caoutchouc ont été proposés pendant le projet de manière à ce que ce bitume soit conforme aux critères techniques exigés par la Directive 21/2007 du Ministère du Développement et par l'article 212 du PG-3 concernant les bitumes modifiés avec du caoutchouc de pneumatiques.

Outre ces pré-formulations, ce document présente des informations sur le processus de

fabrication (températures, temps, puissance d'agitation, etc.) et des recommandations de stockage, de sorte que l'utilisateur du Guide soit en mesure de fabriquer lui-même les liants dont il est question.

“ On estime qu'actuellement plus de 1 100 km de voies ont été réalisés avec ce matériau. Les bons résultats obtenus au cours des dernières années viennent renforcer la confiance en cette technologie.”

Normes de référence des bitumes-caoutchouc

2

En Espagne, d'importants progrès ont été réalisés en ce qui concerne les spécifications de liants bitumineux intégrant du caoutchouc de pneumatiques usagés. Bien que non contraignante, l'étape la plus importante, avant l'apparition d'une réglementation, a sûrement été constituée par le Manual de Empleo de Caucho de NFU en Mezclas Bituminosas* (2007), rédigé par le CEDEX sur commande du Ministère de l'Environnement et du Ministère du Développement. Ce document présentait déjà trois types de liants avec du caoutchouc considérés comme intéressants dans le panorama espagnol des mélanges bitumineux.

Y étaient définis, par ordre croissant de modification, les bitumes améliorés, les bitumes modifiés et les bitumes modifiés à haute viscosité, tous constitués de poudrette de caoutchouc issue de pneumatiques usagés.

Quelques mois plus tard était publiée la Directive 21/2007 du Ministère du Développement « Sur l'utilisation et les spécifications que doivent respecter les liants et mélanges bitumineux composés de caoutchouc issu de pneumatiques usagés », qui devenait alors le principal document de référence concernant la fabrication et l'utilisation de bitumes-caoutchouc en Espagne.

Le préambule de la Directive définit la poudrette de caoutchouc comme le produit provenant de la granulation de pneumatiques

à des tailles inférieures à 1 mm et dont le contenu en particules fines de moins de 0,063 mm ne dépasse pas 15%. Il est en outre spécifié que la poudrette doit être composée fondamentalement de caoutchouc naturel et synthétique, et doit contenir des taux de pollution ferromagnétique, textile ou autre inférieurs à 0,01%, 0,5% et 0,25% en poids, respectivement.

La Directive distingue également deux processus de fabrication. Le premier est appelé « fabrication en centrale » et se réfère aux centrales traditionnelles de modification de bitumes pourvues d'un mélangeur à cisaillement et qui dotent le liant-caoutchouc d'une stabilité suffisante pour son transport vers une unité de fabrication de mélanges bitumineux.

Le second, appelé « fabrication in situ », se déroule dans une unité spéciale de fabrication de bitumes-caoutchouc située à l'intérieur même de la centrale de fabrication de mélanges bitumineux, qui ne dispose pas nécessairement d'un mélangeur à cisaillement.

Quant aux types de bitumes-caoutchouc, la Directive 21/2007 en distingue trois, en fonction du degré de modification :

- Bitumes améliorés
- Bitumes modifiés
- Bitumes à haute viscosité

* Manuel d'Utilisation du Caoutchouc issu de Pneumatiques Usagés dans les Mélanges Bitumineux

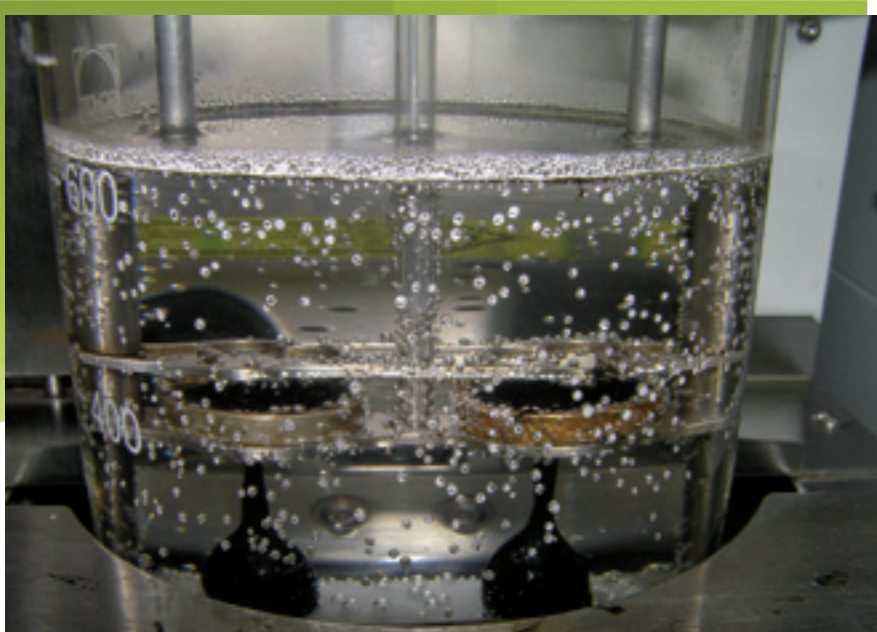
Les critères exigés pour chacun des trois types de liant-caoutchouc correspondent ou, du moins, sont semblables, aux critères des bitumes modifiés avec des polymères conventionnels, actuellement définis dans la norme UNE-EN14023:2010.

Il convient toutefois de préciser que la nature particulière des bitumes-caoutchouc implique que certains essais de normalisation destinés aux bitumes avec des polymères soient très difficilement réalisables dans la pratique pour les bitumes-caoutchouc, car ces derniers sont constitués de particules en suspension dues à l'interaction avec le bitume, laquelle n'implique pas l'intégration totale du caoutchouc en phase liquide. À titre d'exemple, l'essai de cohésion appelé « Force-Ductilité » (UNE-EN 13589 et UNE-EN 13703) exige que les éprouvettes de bitume atteignent une élongation d'au moins 40 cm. Mais les hétérogénéités qu'impliquent les particules de caoutchouc au sein du bitume empêchent d'atteindre de telles élongations avant la rupture, même à 25°C de température.

À ce sujet, soulignons que la norme UNE-EN14023 sur les bitumes modifiés indique que la cohésion peut être évaluée par d'autres essais comme celui de l'impact avec le pendule Vialit (UNE-EN 13588), qui semble plus adéquat aux bitumes modifiés avec du caoutchouc.

Il semblerait que la même chose se produise avec l'essai de récupération élastique (UNE-EN 13398) qui exige une élongation minimale de 20 cm, qu'il n'est pas non plus fréquent d'atteindre. Toutefois, la norme d'essai permet dans ce cas d'obtenir le pourcentage de retour élastique en prenant comme élongation de référence celle atteinte au moment de la rupture et non les 20 cm fixés par la procédure standard.

Dans tous les cas, les meilleures propriétés des bitumes-caoutchouc ne font aucun doute, tant en termes de cohésion que de récupération élastique. Il s'agit uniquement d'une inadéquation des procédures d'essai prises comme référence au moment de la rédaction des spécifications de ces liants-caoutchouc.



2.1 Bitumes améliorés avec du caoutchouc

Les caractéristiques de ces bitumes améliorés ne figuraient dans aucune réglementation. La Directive 21/2007 crée donc des spécifications qui lui sont particulières. Pour indiquer qu'ils contiennent du caoutchouc, ils sont nommés par les sigles « BC », suivies de la valeur de pénétration du liant. Leurs spécifications techniques sont indiquées dans le tableau suivant :

Caractéristiques		Norme de référence	Unité	BC35/50	BC50/70
Bitume d'origine					
Pénétration, 25°C		UNE EN 1426	0,1 mm	35-50	50-70
Point de ramollissement bille et anneau		UNE EN 1427	°C	≥ 58	≥ 53
Point de fragilité Fraass		UNE EN 12593	°C	≤ -5	≤ -8
Force ductilité (5cm/min)	5°C	UNE EN 13589 UNE EN 13703	J/cm ²	≥ 0,5	
Récupération élastique à 25°C		UNE EN 13398	%	≥ 10	
Stabilité au stockage (*)	Différence bille et anneau	UNE EN 13399	°C	≤ 10	
				0,1 mm	≤ 8
Solubilité		UNE EN 12592	%		≥ 92
Point d'éclair v/a		UNE EN ISO 2592	°C	≥ 235	
Essai en film mince de bitume ou de liant bitumineux en renouvellement : UNE EN 12607-1					
Variation de masse		UNE EN 12607-1	%	≤ 1,0	
Pénétration retenue		UNE EN 1426	% p.o	≥ 65	≥ 60
Variation du Point de Ramollissement		UNE EN 1427	°C	min -4 max +8	min -5 max +10

(*) Uniquement exigible des liants qui ne sont pas fabriqués « in situ »

Tableau 1. Spécifications des bitumes améliorés avec du caoutchouc (BC= betunes con caucho)

2.2 Bitumes modifiés avec du caoutchouc et des polymères

Selon la Directive 21/2007, il s'agit de liants modifiés avec du caoutchouc (le contenu en caoutchouc n'est pas spécifié, il n'est pas non plus précisé si la modification est obtenue grâce

à d'autres additifs). Ces liants doivent respecter les spécifications des bitumes modifiés (article 212 du PG-3). Ils sont désignés par l'ajout d'un « C » à la fin de la dénomination du bitume modifié correspondant. Les spécifications de ces bitumes modifiés sont résumées dans le tableau suivant :

Dénomination UNE EN 14023			PMB 10/ 40-70 C	PMB 25/ 55-65 C	PMB 45/ 80-60 C	PMB 45/ 80-65 C	PMB 45/ 80-75 C	PMB 75/ 130-60
Dénomination précédente (*)			BMC-1	BMC-2	BMC-3b	BMC-3c		BMC-4
Caractéristiques	UNE EN	Unité	Essais sur le bitume					
Pénétration à 25°	1426	0,1 mm	10-40	25-55	45-80	45-80	45-80	75-130
Point de ramollissement	1427	°C	≥ 70	≥ 65	≥ 60	≥ 65	≥ 75	≥ 60
Cohésion. Force-ductilité.	13589 13703	J/cm²	≥ 2 a 15°C	≥ 2 a 10°C	≥ 2 a 5°C	≥ 3 a 5°C	≥ 3 a 5°C	≥ 1 a 5°C
Point de fragilité Fraass	12593	°C	≤ -5	≤ -7	≤ -12	≤ -15	≤ -15	≤ -15
Récupération élastique à 25°C	13398	%	TBR	≥ 50	≥ 50	≥ 70	≥ 80	≥ 60
Stabilité au stockage (**)	Différence de point de ramollissement	13399 1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
	Différence de pénétration	13399 1426	0,1 mm	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 13
Point d'éclair	ISO 2592	°C	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 220
Durabilité - Résistance au vieillissement EN 12607-1								
Changement de masse	12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Pénétration retenue	1426	%	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
Augmentation du point de ramollissement	1427	°C	≤ 8	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Diminution du point de ramollissement	1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5

(*) Cette dénomination est incluse uniquement à titre d'information afin de faciliter l'adaptation aux nouvelles nomenclatures européennes.

(**) Uniquement exigible des liants qui ne sont pas fabriqués « in situ »

TBR : On informera de la valeur

Tableau 2. Conditions requises pour les bitumes modifiés avec du caoutchouc

2.3 Bitumes modifiés à haute viscosité avec du caoutchouc

Les spécifications de ces liants comprennent une valeur importante : celle que doit atteindre la viscosité. Ces liants sont désignés par les sigles BMAVC et leurs spécifications sont les suivantes :

Caractéristiques	Norme de référence	Unité	BMAVC-1	BMAVC-2	BMAVC-3
Bitume d'origine					
Pénétration, 25°C	UNE EN 1426	0,1 mm	15-30	35-50	55-70
Point de ramollissement	UNE EN 1427	°C	≥ 75	≥ 70	≥ 70
Point de fragilité Fraass	UNE EN 12593	°C	≤ -4	≤ -8	≤ -15
Force Ductilité 5cm/min	UNE EN 13589 UNE EN 13703	5°C	-	≥ 2	≥ 3
		10°C	≥ 2	-	-
Consistance (Flotteur à 60°C)	NLT 183	s	≥ 3000		
Viscosité dynamique	UNE EN 13302	135°C		≤ 7500	≤ 5000
		170°C	≥ 2000	≥ 1200	≥ 800
Récupération élastique	UNE EN 13398	%	≥ 10	≥ 20	≥ 30
Stabilité au stockage (*)	UNE EN 13399	Différence de bille et anneau	°C	≤ 5	
		Différence de pénétration	0,1 mm	≤ 20	
Point d'éclair v/a	UNE EN ISO 2592	°C	≥ 235		
Résidu de l'essai de film mince et en renouvellement permanent : UNE EN 12607-1					
Variation de masse	UNE EN 12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Pénétration retenue	UNE EN 1426	% p.o	≥ 60		
Variation du Point de Ramollissement	UNE EN 1427	°C	min -4 máx +10		min-5 máx +12

(*) Uniquement exigible des liants qui ne sont pas fabriqués « in situ »

Tableau 3. Spécifications des bitumes modifiés à haute viscosité avec du caoutchouc (BMAVC)

2.4 Conditions de stockage des bitumes-caoutchouc

Plus tard, la Directive 21/bis 2009 du Ministère du Développement a ajouté de nouveaux critères pour l'utilisation de ces bitumes, concernant surtout le stockage et la manipulation de ces liants dans le cadre de travaux. Elle stipule que tous les types de

liants-caoutchouc, indépendamment de leur catégorie et processus de fabrication, doivent être stockés dans un réservoir pendant au moins 8 heures et au plus 72 heures avant leur utilisation pour la fabrication de mélanges bitumineux. Conformément à la Directive 21bis/2009, le réservoir doit être de préférence vertical et pourvu d'un système de chauffage, d'agitation et de

recirculation, ainsi que de points de collecte d'échantillons à différentes hauteurs de la colonne verticale.

En effet, on peut dire que des durées de stockage supérieures à 72 heures peuvent affecter négativement les propriétés du produit. Toutefois, conformément à l'expérience espagnole, confirmée par

d'excellents résultats d'application, une durée d'interaction (fabrication + stockage) d'1 heure est suffisante pour que la digestion soit accomplie et pour respecter les spécifications qui sont exigées pour le liant, même pour les bitumes modifiés à haute viscosité avec du caoutchouc.



Interaction bitume-caoutchouc : processus de digestion



L'interaction à haute température du bitume avec les particules de caoutchouc provenant du pneu a été décrite de différentes manières dans la bibliographie. D'une part, elle est présentée comme une réaction chimique qui consiste en la dégradation des chaînes élastomériques par effet thermique et d'autre part, comme un processus de dévulcanisation du caoutchouc où se produit la rupture des liaisons soufrées propres à la vulcanisation, et qui est révélée par une diminution de soufre à la surface des particules de caoutchouc. Toutefois, l'interaction constitue avant tout un phénomène physique dont le mécanisme principal est le gonflement du caoutchouc quand il capte les fractions les plus légères du bitume.

3.1 Le processus de digestion du caoutchouc par les bitumes

Pendant l'interaction bitume-caoutchouc, les particules de caoutchouc commencent à gonfler ou à augmenter de volume étant donné l'absorption des fractions aromatiques (*Figure 1*). Autour de la particule de caoutchouc se forme un « gel » ou une « couche molle » qui se détache sous l'effet de l'agitation en même temps qu'elle est intégrée au bitume. En portant le phénomène à l'extrême, si la température ou l'énergie d'agitation étaient prolongées, la particule de caoutchouc disparaîtrait au sein du bitume.

L'interaction du caoutchouc avec le bitume est appelée **digestion**.

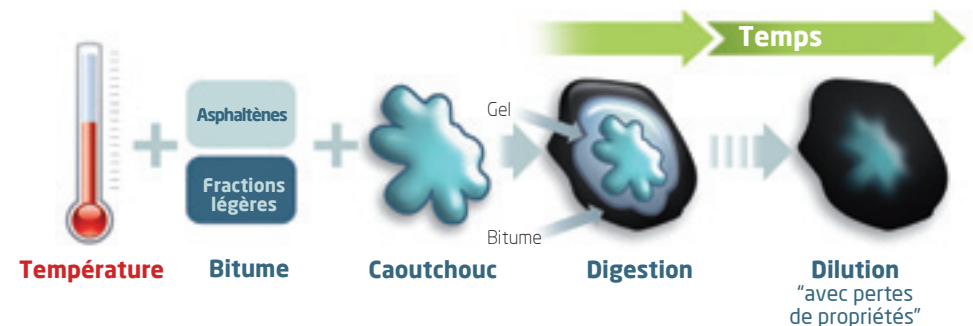


Figure 1. Évolution de l'interaction bitume-caoutchouc



La **Figure 2** présente un schéma de l'évolution du processus de digestion dans le temps. La bonne température de digestion garantit l'intégration du caoutchouc dans le bitume et

donc l'amélioration des propriétés de ce dernier. Quand cette température est trop prolongée, l'amélioration obtenue est réduite à cause de la dilution du caoutchouc dans le bitume.

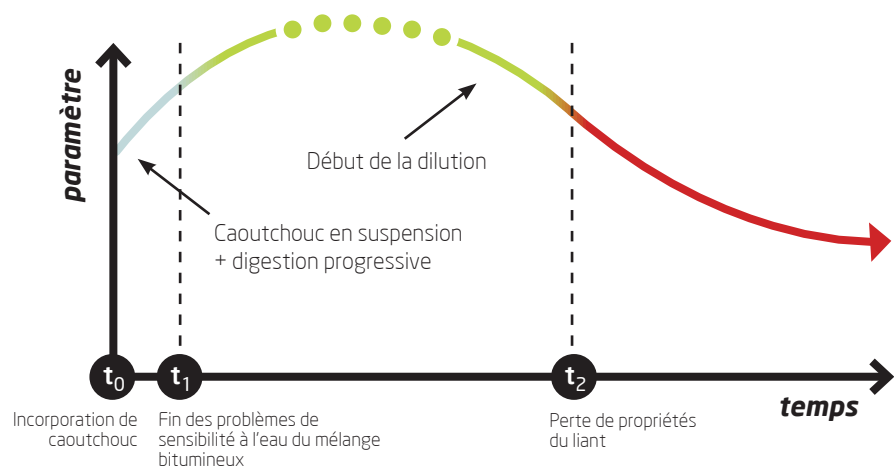


Figure 2. Évolution des propriétés modifiées

Il existe plusieurs techniques qui permettent d'étudier le processus de digestion du caoutchouc par le bitume. Parmi ces techniques se trouvent celles de filtration du caoutchouc en suspension, de microscopie électronique à balayage (MEB), de fractionnement du bitume (SARA), de spectrométrie infrarouge, de chromatographie de filtration sur gel et de micrographie par fluorescence. Toutes ont contribué à une meilleure connaissance de l'interaction bitume-caoutchouc.

Pour synthétiser, le processus de digestion est favorisé :

- À mesure que la température augmente
- Quand le temps de contact est prolongé

- Par diminution de la taille maximale des particules de caoutchouc
- Plus le contenu en fractions légères de bitume est important
- Quand l'énergie de mélange augmente

“ La bonne température de digestion garantit l'intégration du caoutchouc dans le bitume, et donc l'amélioration des propriétés de ce dernier.”

Caractérisation de la poudrette de caoutchouc

4



Un aspect important à prendre en compte au moment de formuler correctement les bitumes-caoutchouc est de connaître les spécifications que présente la poudrette de pneumatiques usagés. Les différentes études bibliographiques ont démontré que la composition du caoutchouc et la granulométrie des particules de poudrette sont deux des principales caractéristiques qui ont la plus grande influence sur les propriétés du bitume-caoutchouc.

La Directive 21/2007 définit la poudrette de caoutchouc issue de pneus comme résultant du processus de granulation de pneumatiques usagés à des tailles inférieures à 1 mm et avec un contenu en particules inférieures à 0,063 mm ne dépassant pas 15%. En outre, ce document indique que la poudrette de caoutchouc est essentiellement composée de caoutchouc naturel et synthétique et qu'elle ne contient pas de matériaux ferromagnétiques, textiles ou polluants dans des proportions supérieures à 0,01%, 0,5% et 0,25% en poids, respectivement.

Ce chapitre reprend les principales caractéristiques de la poudrette de pneumatiques usagés ainsi que la description des méthodes d'essai pour leur caractérisation.

4.1. Caractéristiques et méthodes d'essai

Les principales caractéristiques de la poudrette sont les suivantes :

- **Composition chimique** : La poudrette de caoutchouc est composée d'un mélange de différents caoutchoucs, principalement de caoutchouc naturel (NR) et de caoutchoucs synthétiques, parmi lesquels on trouve ceux de type (SBR) et (BR). La proportion de ces caoutchoucs dépend de l'origine du pneu de départ. Par exemple, le caoutchouc des pneus de camion contient plus de caoutchouc naturel que celui des pneus de véhicules légers (voiture de tourisme, fourgonnette, moto...).

Pour mesurer le contenu en caoutchouc naturel, la seule méthode précise est celle basée sur les techniques de C^{14} qui détermine le contenu en biomasse d'un échantillon, qui équivaut à son contenu en caoutchouc naturel.

- **Densité apparente** : Elle peut légèrement varier en fonction du processus de production. Cependant, on peut prendre comme valeur de référence une densité



apparente de l'ordre de 0,5 Kg/dm³, avec de légères oscillations en fonction de la courbe granulométrique et du type de pneu utilisé.

- **Granulométrie** : Il faut vérifier non seulement que les particules de poudrette de caoutchouc sont inférieures à une taille déterminée, mais il est également important de connaître leur répartition suivant leur taille tout au long de leur courbe granulométrique. La méthode d'essai servant à établir la granulométrie est reprise dans la norme européenne UNE-CEN/TS 14243:2012 à caractère expérimental, intitulée : « *Matériaux produits à partir de pneumatiques en fin de vie. Spécification de catégories basées sur leur(s) dimension(s) et impuretés et méthodes pour déterminer leur(s) dimension(s) et impuretés* ».

La méthode d'essai destinée à déterminer la taille des particules consiste à introduire un échantillon d'au moins 150 g dans un équipement de tamisage ayant un mouvement de vibration comprenant au moins deux dimensions, pour classer le matériau par tailles au moyen de différents tamis. Le temps de tamisage est de 10 minutes. Le rapport de résultats fournit la courbe granulométrique qui indique, outre les limites supérieures et inférieures, les pourcentages de matériau passant à travers les tamis intermédiaires placés dans l'équipement.

- **Teneur en acier ou en matériaux ferromagnétiques** : Grâce à une analyse, on détermine la quantité d'acier libre que contient la poudrette de caoutchouc en

utilisant pour cela une méthode consistant à extraire l'acier au moyen d'un aimant. La procédure d'essai établie dans la norme UNE-CEN/TS 14243:2012, précédemment mentionnée, fixe la prise d'un échantillon de poudrette de caoutchouc de 500 g dispersée sur un plateau qui permet d'obtenir une épaisseur inférieure de 2 cm, sur laquelle on passe un aimant d'une surface plus grande de 2 cm² et de 1 T (Tesla) d'intensité minimale, auquel adhèrent les particules d'acier.

- **Teneur en textile** : Pour la quantification de ce paramètre, la norme UNE-CEN/TS 14243:2012 établit une procédure selon laquelle on prend une quantité d'échantillon semblable à celle de l'essai granulométrique également soumise à ce

même essai pendant une durée de 10 min. Les fibres textiles, si elles existent, tendent à former de petites agglomérations qui sont séparées et pesées pour leur quantification.

- **Teneur en impuretés** : La norme expérimentale mentionnée précédemment décrit une méthode d'essai pour mesurer la teneur en impuretés basée sur une séparation densimétrique de matériaux : on verse un échantillon de 150 g de poudrette sur une solution saline préparée avec 300 g de sel commun pour 1 litre d'eau, ce qui donne une densité approximative de 1,25 g/cm³, soit une densité supérieure à celle du caoutchouc (de l'ordre de 1,125 g/cm³). Les éléments étrangers localisables dans le granulat, comme la terre, le verre ou certaines particules métalliques non magnétiques, décantent alors dans le fond du récipient utilisé.
- **Teneur en humidité** : L'analyse sera effectuée conformément à la Norme UNE 103-300-3 (excepté en ce qui concerne la température de chauffage du fourneau qui sera de 105±5°C et la masse minimale de l'échantillon qui sera de 100 g). Cette norme décrit l'essai à réaliser pour déterminer l'humidité d'un sol au moyen du séchage en fourneau.

“ Les méthodes d'essai destinées à établir la granulométrie sont expliquées dans la norme européenne UNE-CEN/TS 14243:2012 EX.”



Conception de bitumes-caoutchouc

5

La conception d'un bitume-caoutchouc en laboratoire est un processus qui comprend la sélection des composants et la procédure de fabrication de sorte qu'on obtienne ensuite une reproduction adéquate du processus à l'échelle industrielle et un produit qui respecte les spécifications requises.

Bien qu'il ne s'agisse pas d'une procédure excessivement complexe, les indications reprises dans ce Guide et l'expérience préalable de chacun permettront d'économiser des efforts.

Dans les paragraphes suivants est décrite, pas à pas, la procédure à suivre pour concevoir un bitume-caoutchouc.

5.1 Choix du bitume de base

D'abord, il faut partir d'un bitume de base plus mou que celui qu'on prétend obtenir. Le caoutchouc, comme les polymères, ainsi que les additifs les plus utilisés, tendent à rendre le bitume plus consistant à des températures de service moyennes et élevées. Selon la réglementation espagnole sur les liants, l'addition de caoutchouc à un bitume de base suppose une diminution de sa pénétration et un accroissement de la température de ramollissement.

La nature chimique du bitume a également une certaine influence. En général, les bitumes

contenant un taux élevé de composés naphthéno-aromatiques et aromatiques-polaires, conformément à la norme (NLT-373), sont préférables. Cependant, l'influence que peut avoir la composition du bitume, dans la fourchette habituelle utilisée en Espagne, est moins importante que celle de la pénétration du liant d'origine.

5.2 Choix de la poudrette de caoutchouc

Le paramètre ayant le plus d'influence sur la modification du bitume est la granulométrie de la poudrette de caoutchouc. En général, des granulométries plus épaisses ralentissent l'interaction bitume-caoutchouc et accentuent les problèmes de sédimentation dans le produit final. Des granulométries continues à des tailles maximales de 0,8 mm sont conseillées.

La composition chimique du caoutchouc a aussi une influence sur les caractéristiques finales du bitume. Le paramètre de contrôle doit être le pourcentage de fraction élastomérique, ainsi que le contenu en caoutchouc naturel de celle-ci. Dans les deux cas, des valeurs les plus élevées possibles sont préférables.

Enfin, on doit envisager la méthode de broyage du caoutchouc : à température ambiante ou cryogénique. En général, il est

“ L'addition de caoutchouc à un bitume de base suppose une diminution de sa pénétration et un accroissement de la température de ramollissement.”

conseillé d'utiliser le broyage à température ambiante car il offre davantage de surface spécifique et c'est, d'autre part, le plus courant sur le marché.

5.3 Choix du polymère

Dans le cas des bitumes modifiés, il est fréquent d'ajouter un polymère pour compléter le degré de modification obtenu avec le caoutchouc. Le paragraphe 7.1.3 de ce Guide donne quelques indications sur le choix du polymère à utiliser. Les plus efficaces pour compléter l'effet du caoutchouc sont ceux basés sur des élastomères de type SBS (styrène-butadiène-styrène). Ils se présentent généralement sous la forme de poudre ou de granulats, pellets, etc. La décision d'utiliser l'une ou l'autre forme doit se faire en fonction du type de mélangeur utilisé, comme l'explique le paragraphe suivant.

Il existe sur le marché différents polymères de type SBS qui se différencient de manière importante suivant leur structure, leurs propriétés et surtout leur influence sur le bitume après leur incorporation dans ce dernier.

Après analyse des propriétés des polymères utilisés dans ce travail et des résultats sur les propriétés du bitume, on remarque que les polymères SBS de type radial ou ramifié ont un effet modificateur sur le bitume plus important à ce que l'on pourrait en attendre. Cette plus grande capacité de modification du bitume par rapport aux polymères



linéaires est due au fait que les structures ramifiées facilitent la création de réseaux tridimensionnels à l'intérieur du bitume.

5.4 Choix du mélangeur de laboratoire

En laboratoire, il existe deux types de mélangeurs : les agitateurs à une plus ou moins grande vitesse de rotation ou les dispositifs à cisaillement.

Dans les centrales de production, il est fréquent d'utiliser uniquement des agitateurs quand la modification du liant n'est réalisée qu'avec du caoutchouc de pneumatiques, tandis qu'il est plus approprié d'utiliser des dispositifs industriels à cisaillement quand des polymères sont ajoutés.

Par conséquent, si on incorpore des polymères en laboratoire, il est vivement conseillé d'employer un dispositif à cisaillement. Dans le cas contraire, la présentation du polymère doit être en poudre afin de faciliter sa diffusion dans le liant.

Le type de mélangeur utilisé en laboratoire devra, dans tous les cas, être compatible avec celui utilisé à l'échelle industrielle. Par exemple, si l'équipement de fabrication industrielle est composé d'un mélangeur et d'un réservoir de digestion de plus grande taille, en laboratoire il sera nécessaire d'avoir une première phase de mélange énergique, suivie d'une période de digestion pendant laquelle le bitume-caoutchouc est continuellement agité au moyen d'un agitateur, comme cela se produit dans le réservoir de digestion à l'échelle industrielle.

Dans l'Annexe 1 de ce Guide, on pourra trouver quelques modèles caractéristiques des deux types.

5.5 Température de mélange et temps de digestion

Il a été constaté que l'intensité avec laquelle le bitume et le caoutchouc interagissent pendant la phase de fabrication, double approximativement à chaque fois que la température augmente de 10°C. Plus la

température sera élevée, plus le temps de digestion nécessaire sera court.

Toutefois, en chauffant les liants, ceux-ci ont tendance à vieillir. On devra donc éviter des températures inutilement élevées. Il est conseillé, conformément aux pratiques habituelles, de maintenir les températures de mélange dans les fourchettes suivantes :

- Bitumes contenant du caoutchouc jusqu'à 22% : 185-195°C
- Bitumes contenant du caoutchouc jusqu'à 15% : 175-185°C

Il faut également préciser que bien que le bitume de base soit préparé à une certaine température, après ajout du caoutchouc et, éventuellement, du polymère, la température diminuera dans le mélangeur de laboratoire entre 10 et 40°C environ suivant le taux de caoutchouc ajouté et la température ambiante. Il est donc indispensable, après un premier mélange à la main avec une spatule, de porter le mélange de bitume et de caoutchouc

à la température souhaitée avant de procéder à la fabrication proprement dite.

Quant aux temps de digestion, ils doivent être fixés généralement à 60 minutes, bien qu'à l'échelle industrielle ce temps puisse être légèrement réduit.

5.6 Prise d'échantillons et tests de contrôle

Cet aspect est éminemment important. En général, les bitumes-caoutchouc ont une tendance à la sédimentation. C'est pourquoi, en prenant les échantillons pour chaque essai, les précautions suivantes doivent être prises :

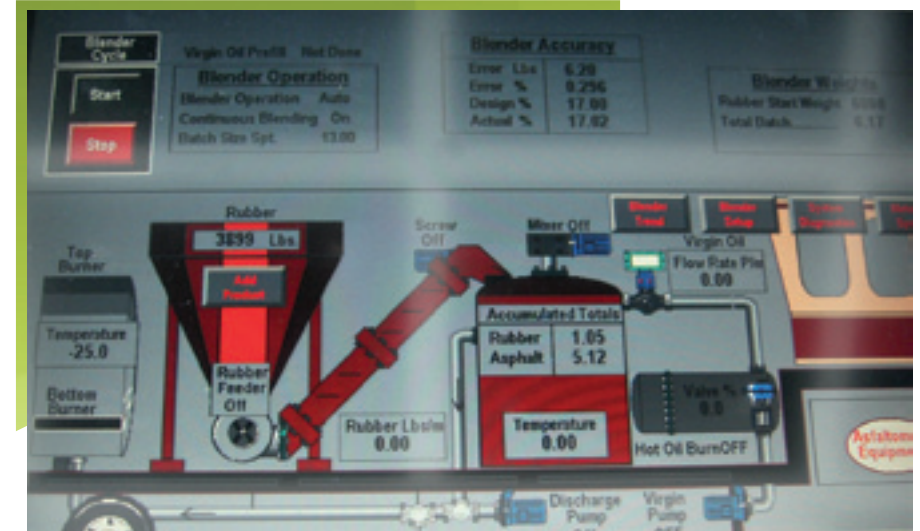
- Remuer avec la spatule avant et pendant la prise de l'échantillon.
- Prendre les échantillons dans de petits récipients et les refroidir le plus rapidement possible.
- Si des essais sur le même échantillon doivent être effectués sur plusieurs jours, diviser au début l'échantillon en plusieurs parties, de sorte qu'elles puissent être chauffées de manière individuelle et que le matériau en trop soit éliminé.

À titre d'exemple, pour effectuer les essais habituels, un échantillon de 650 g sera suffisant. Il sera divisé en plusieurs parties pour les différents essais à effectuer.

5.7 Formulation du bitume en laboratoire

Après un ou plusieurs essais, une fois que les spécifications ont été obtenues, il sera nécessaire de rédiger un document de formulation en laboratoire qui comprendra, au minimum, les éléments suivants :

- La composition pondérale du produit à fabriquer : taux en poids de bitume, de caoutchouc et éventuellement de polymère.
- Les prescriptions du bitume de base, notamment sa pénétration ainsi que l'origine de ce dernier.
- Les prescriptions du caoutchouc, notamment sa granulométrie et le type de pneumatique d'origine (pourcentages).
- Identification du polymère, s'il y en a. On fera figurer sa dénomination commerciale mais également la forme sous laquelle il se présente : en poudre, en granulats etc.



- La température de mélange ainsi que la température de digestion, si elles sont différentes.
- Le temps de digestion minimum, entendu comme la somme du temps dans le mélangeur et du temps dans le digesteur, si ce dernier existe et est différent du premier.
- Caractéristiques du produit fini : pénétration, température de ramollissement. Dans le cas des bitumes à haute viscosité, on fournira également la valeur de référence du paramètre viscosité.

Ce document servira à la formulation à l'échelle industrielle.

5.8 Vérification des caractéristiques du liant à l'échelle industrielle

Il existe généralement des différences entre les caractéristiques des bitumes fabriqués en laboratoire et celles des bitumes fabriqués

à l'échelle industrielle, ce qui est dû à différentes raisons, comme le type et l'énergie du mélangeur, une exposition différente à l'oxygène et par conséquent un vieillissement différent dans l'un et l'autre cas.

La procédure de vérification habituelle doit commencer par la formulation du liant en laboratoire et continuer par la fabrication d'une première gâchée à l'échelle industrielle. En vérifiant la correspondance de ses propriétés avec celles qui ont été mesurées dans les échantillons de laboratoire. Il faudra ensuite apporter les modifications nécessaires dans la formulation afin d'ajuster les résultats à l'échelle réelle. Il s'agit d'un processus itératif qui s'avérera moins long et même inutile avec le temps.





Fabrication de bitumes-caoutchouc à l'échelle industrielle



Une fois qu'on a obtenu la formulation du liant avec caoutchouc à l'échelle du laboratoire, il est possible de procéder à la fabrication à l'échelle industrielle. Pour cela, il existe une série d'équipements dont les principes de base sont expliqués ci-dessous.

Ce chapitre présente également les différentes phases du processus de fabrication industrielle : la réception du bitume, du caoutchouc et éventuellement du polymère, la fabrication du liant avec caoutchouc, le contrôle de la production et du produit fini et les conditions de stockage.

6.1 Systèmes pour la fabrication de bitumes-caoutchouc à l'échelle industrielle

La production de bitumes-caoutchouc exige une interaction intime entre le bitume, le caoutchouc, dans certains cas les polymères, et éventuellement d'autres additifs de différents types qui permettent d'acquérir ou de maintenir certaines propriétés du bitume.

“ **L'objectif de l'unité de fabrication de bitumes modifiés est de faciliter l'interaction entre les composants le plus rapidement possible.** ”

6.1.1 Configurations d'unités de production les plus fréquentes

Il existe principalement deux procédés de fabrication : le mélange en ligne, aussi appelé mélange en continu, et le mélange par gâchées.

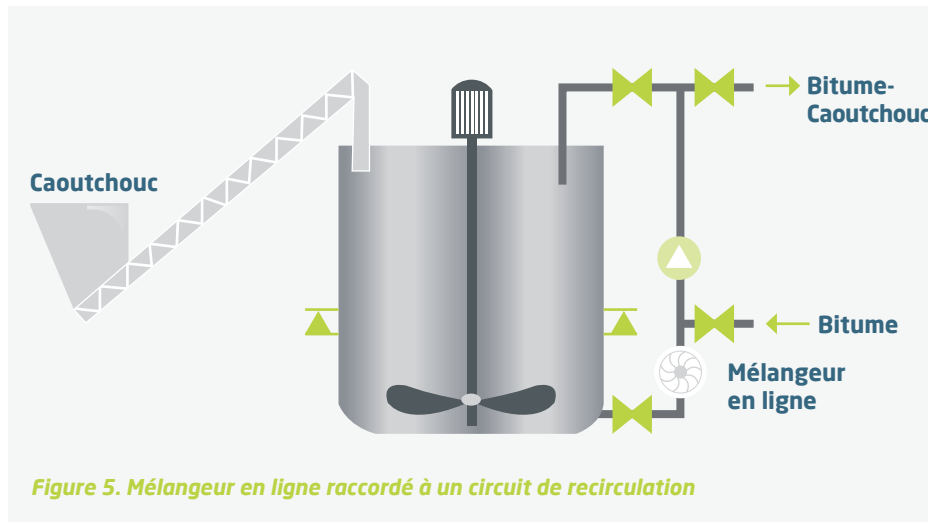
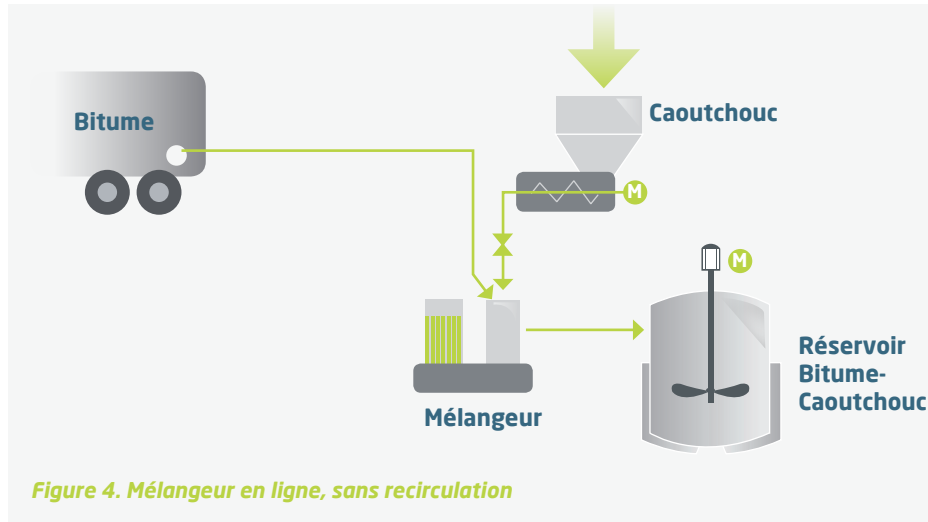
- **Mélange en ligne**

Dans le **mélange en ligne**, les composants à mélanger passent dans l'équipement de manière continue et en sortent déjà mélangés. Voir le schéma de la **figure 3**.



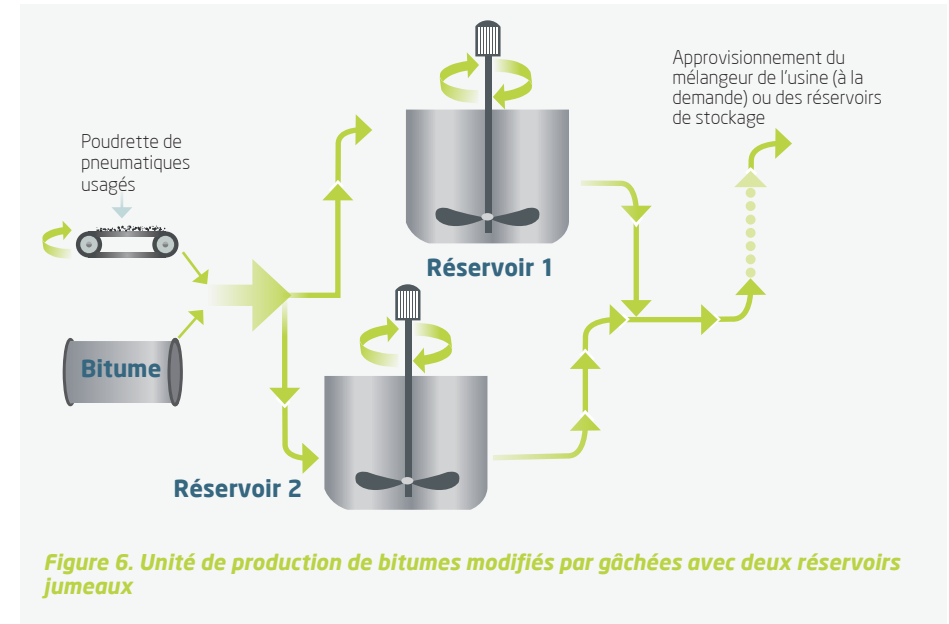
Figure 3. Mélangeur en ligne

Dans ce type de mélangeur, la fabrication peut être réalisée sans recirculation (figure 4) ou au moyen d'un circuit de recirculation (figure 5) en répétant les passages nécessaires par le mélangeur jusqu'à atteindre un degré d'intégration suffisant garantissant le respect des spécifications du produit.



• Mélange par gâchées

D'autre part, le procédé de mélange par gâchées consiste à introduire un dispositif d'agitation dans un réservoir, de sorte que pendant un temps préétabli le mélange du bitume et du caoutchouc et des additifs éventuels soit continuellement en mouvement afin de permettre une bonne interaction entre eux.



“ Le mélangeur à cisaillement est capable de couper les particules de poudre de pneumatiques pour favoriser l'interaction avec le bitume.”

Dans tous les cas, pour obtenir une bonne interaction entre le bitume et la poudre de caoutchouc, la configuration de l'unité de bitume modifié devra permettre au bitume-caoutchouc, avant son utilisation, de disposer du temps de digestion prescrit dans la formulation de laboratoire, calculé en ajoutant le temps de mélange et le temps de permanence dans le réservoir de digestion, si ce dernier existe et est différent du mélangeur.

6.1.2 Types de mélangeurs

Indépendamment de la configuration de l'unité de production de bitumes-caoutchouc, le mélangeur proprement dit peut être doté de cisaillement ou pas.

S'il l'est, l'élément mécanique qui produit le mélange est capable de couper ou de rompre les particules. Leur taille est donc réduite, ce qui provoque l'apparition de nouvelles surfaces en interaction. Ce type de mélangeurs à cisaillement dispose généralement d'une partie fixe, le stator, et d'une partie mobile, le rotor, avec un petit espace entre elles. Grâce à un

effet d'aspiration, le mélange passe entre les deux pièces, ce qui produit un effet de coupe très intense qui contribue à réduire la taille des particules de caoutchouc et à augmenter leur surface spécifique, ce qui favorise l'interaction de ces dernières avec le bitume.

Les mélangeurs traditionnels sans cisaillement consistent en un système agitateur plus ou moins puissant qui maintient le fluide en agitation et améliore l'interaction du bitume avec le caoutchouc qui, sinon, serait plus lente.

Outre ces deux types de mélangeurs précédents, il existe des dispositifs à haute vitesse (>3 000 rpm) pourvus d'une tête conçue non seulement pour créer un tourbillon dans le fluide, mais également pour couper ou rompre les particules, au moins partiellement.

Le choix d'utiliser l'une ou l'autre configuration et l'un ou l'autre type de mélangeur appartiendra au final au fabricant de l'unité de bitumes modifiés. Dans l'Annexe II figurent des informations plus détaillées sur les équipements les plus fréquents sur le marché, leurs avantages et leurs inconvénients, les machines auxiliaires nécessaires, le raccordement à la centrale d'enrobés bitumineux, etc.

Il est généralement recommandé d'utiliser des mélangeurs à cisaillement quand on utilise des polymères et du caoutchouc simultanément pour obtenir certains degrés de modification du liant.

6.2. Composants de la formulation du liant

Une fois les vérifications nécessaires effectuées à l'échelle industrielle, comme indiqué aux points 5.7 et 5.8, on prendra comme formulation de départ celle obtenue en laboratoire. Il est recommandé de prêter une attention particulière à :

6.2.1 Poudrette de caoutchouc : réception, stockage et contrôle

La poudrette de caoutchouc est généralement livrée soit en citerne soit en big-bags de 2 m³

environ. À son arrivée, il conviendra de vérifier la feuille de spécifications jointe à chaque livraison, où sont indiquées les informations suivantes :

- Raison sociale du fournisseur et date de production.
- Courbe granulométrique.
- Proportions, en pourcentage, des types de pneumatiques utilisés pour sa fabrication.
- Teneur en humidité en pourcentage (%).
- Teneur en fibres textiles en pourcentage (%).
- Teneur en particules ferromagnétiques en pourcentage (%).
- Teneur en autres polluants en pourcentage (%).

En fonction du système de gestion de la qualité des matériaux, on vérifiera la conformité aux paramètres. La poudrette sera stockée jusqu'à son utilisation dans des conditions adéquates, notamment à l'abri de la pluie. Si les emballages (*big-bags*) ne sont pas pourvus d'une lamelle interne en polyéthylène protégeant le caoutchouc en cas de pluie, il sera nécessaire de recouvrir les sacs d'une toile ou d'un autre élément les protégeant de l'eau. Dans le cas contraire, le caoutchouc doit être stocké à couvert.

Pour comprendre l'importance qu'il y a à préserver le caoutchouc de l'humidité, il faut tenir compte du fait que même si l'humidité s'en va au cours de la fabrication du bitume-caoutchouc, elle pourrait produire de la mousse en entrant en contact avec le bitume, ce qui suppose, d'une part, un accroissement du risque des projections et d'écoulement et, d'autre part, une diminution de la productivité de l'unité.

6.2.2 Polymère : réception, stockage et contrôle

Le polymère, quelle que soit sa forme, devra être accompagné du certificat correspondant de la part du fournisseur. Avant son utilisation, il convient de vérifier que le produit correspond

à celui employé dans la formulation de laboratoire.

Quant aux conditions de stockage, les mêmes précautions que pour le caoutchouc doivent être observées, surtout en ce qui concerne l'humidité.

6.3 Fabrication du bitume-caoutchouc

Avant de commencer la fabrication, il faut vérifier que tous les éléments de l'équipement sont en parfait état de fonctionnement : chaudières, circuit thermique, dispositifs de dosage, pompes, etc.

Une fois la fabrication commencée, il faudra vérifier que les températures du bitume de base entrant dans l'unité de fabrication, celles du bitume à l'intérieur du mélangeur ainsi que celles du bitume-caoutchouc dans le réservoir de digestion, s'il est différent du mélangeur, correspondent bien aux conditions de production prescrites dans la formulation de laboratoire. À cet effet, l'équipement devra être pourvu des systèmes de prise de température adéquats, ces derniers devant être facilement accessibles.

On vérifiera également les températures dans la tuyauterie, les coudes, les pompes et autres éléments en contact avec le bitume, surtout s'ils ne sont pas chauffés. Pour cela, l'utilisation d'une caméra thermique peut s'avérer très utile. Il s'agit d'éviter les « bouchons froids » dans les circuits que doit parcourir le bitume et surtout le bitume-caoutchouc.

On continuera de vérifier la température du bitume durant toutes les phases de sa production, en prenant les mesures nécessaires pour corriger les écarts constatés par rapport à la formulation de laboratoire.

Une fois la fabrication commencée, on fera particulièrement attention à ce que la proportion des composants soit bien celle décrite dans la formulation de laboratoire.

De la même manière, et dans le but de respecter les temps minimaux de digestion, on évitera de dépasser la production horaire de l'équipement, conformément à sa conception.

6.4 Contrôle de la production

La viscosité du liant s'accroît avec la présence de caoutchouc dans le bitume. Il s'agit d'une propriété qui peut être mesurée en continu, par exemple dans un tuyau de recirculation. Pour cette raison, ce paramètre est utilisé pour contrôler la qualité en temps réel sans avoir besoin de recourir à l'extraction d'échantillons, ce qui permet de détecter immédiatement des anomalies importantes dans le processus de fabrication.

Toutefois, l'extraction d'échantillons constitue, avec le contrôle des températures et du temps de fabrication (y compris la digestion), le principal élément de contrôle de la qualité du liant.

À cet effet, l'unité de fabrication doit être équipée des valves de prise d'échantillons correspondantes. Pour que l'échantillon soit représentatif du matériau livré à la centrale de fabrication d'enrobés bitumineux, notamment en ce qui concerne sa composition, son degré de digestion et sa température, il devra être extrait d'un point proche de la sortie du réservoir.

Pour un bon contrôle des spécifications du bitume, il est nécessaire d'éliminer la quantité de liant nécessaire afin de garantir que l'échantillon provient bien du réservoir et non de la tuyauterie ou de la valve de prise d'échantillons (minimum 3-4 Kg).

L'échantillon doit être constitué de 3-4 autres kg de bitume-caoutchouc recueilli dans un contenant métallique d'une capacité de 5 kg environ, pourvu d'une fermeture garantissant sa conservation.

Ce volume d'échantillon permet, avec un bon contrôle de la température du bitume,



d'effectuer l'essai de viscosité avec un viscosimètre manuel puisque, grâce aux dimensions de l'échantillon, la partie du milieu conserve la température de fabrication plus longtemps que ne le ferait un échantillon plus petit, typique d'autres types de bitume. La prise des sous-échantillons à partir de l'échantillon-maître doit être effectuée en prenant les précautions mentionnées au paragraphe 5.6 de ce Guide, concernant la prise d'échantillons en laboratoire.

Lors des premiers essais à l'échelle industrielle à partir d'une formulation de laboratoire, on prendra des échantillons pour vérifier que le produit fabriqué est conforme aux spécifications de référence présentées au chapitre 2 de ce Guide, avec les limitations qui y sont décrites.

En ce qui concerne la fréquence des contrôles, il est conseillé de prélever au moins deux fois par jour un échantillon de 3-4 kg pour 50 tonnes de produit fabriqué, dont on mesurera la viscosité *in situ* au moyen d'un viscosimètre manuel. À partir de cet échantillon, des sous-échantillons de bitume devront également être prélevés pour

déterminer en laboratoire la valeur de pénétration, de température de ramollissement et de retour élastique. Le récipient contenant l'échantillon restant sera scellé et étiqueté en spécifiant l'origine, la date et l'heure de l'échantillonnage, ainsi que les possibles anomalies constatées (temps de stockage prolongé, nombre de réchauffements, etc.). L'échantillon correctement identifié sera conservé pour des vérifications ultérieures, le cas échéant.

De plus, pendant la fabrication de bitume à haute viscosité, un échantillon sera prélevé toutes les heures et soumis à l'essai de viscosité avec viscosimètre rotatif manuel. Il est recommandé de le faire aussi pour les autres types de liants-caoutchouc. Toutes les informations obtenues sur les viscosités devront figurer dans un rapport qui sera remis à l'organisme de contrôle.

6.5 Stockage des bitumes-caoutchouc

Généralement, les bitumes incorporant de la poudre de caoutchouc sont des produits qu'il convient de consommer dès qu'il est

possible. Les raisons de cette recommandation sont au nombre de trois : la première est la tendance à la décantation des particules, la seconde la formation d'une couche à la surface quand sont intégrés les polymères, et enfin, l'évolution de leurs propriétés à mesure que s'écoule le temps de stockage.

Toutefois, la dynamique des travaux en cours obligera dans de nombreux cas à un stockage pendant de nombreuses heures, la production de bitume-caoutchouc et sa consommation en chantier n'étant pas toujours synchronisées étant donné les nombreux imprévus qui ont coutume d'affecter les travaux de revêtements routiers.

Par conséquent, il s'agit de chercher une solution de compromis entre ces deux réalités : la nécessité de consommer le produit immédiatement après sa fabrication et celle de disposer d'une certaine capacité de stockage et de régularité dans l'approvisionnement de la centrale.

Voici quelques indications pour réussir le stockage :

- Les réservoirs de stockage devront, comme il est d'usage, disposer de systèmes de chauffage et d'isolement thermique, et être pourvus d'un agitateur pour maintenir le produit constamment en mouvement afin d'empêcher la décantation et les hétérogénéités.
- Le temps maximal de stockage doit être de 3 jours.
- La température de stockage doit être égale ou inférieure à celle de la digestion.
- Si le stockage est prolongé au-delà de 24 heures, il faut en général faire descendre la température progressivement et réchauffer avant la reprise de la consommation. Ces cycles refroidissement-réchauffement doivent être au nombre de deux maximum, la répétition de ce processus pouvant accélérer la dégradation

du caoutchouc et la perte de propriétés du bitume-caoutchouc.

Si un nombre plus élevé de cycles de refroidissement-réchauffement est inévitable, ou si les durées de stockage sont prolongées au-delà de 3 jours (par exemple, en cas de conditions météorologiques défavorables au travail de revêtement), les paramètres de base du bitume seront vérifiés : pénétration, température de ramollissement et retour élastique. La viscosité sera contrôlée pour les bitumes-caoutchouc à haute viscosité. En cas de légères variations par rapport aux spécifications du produit, il est recommandé de :

- Consommer le bitume-caoutchouc comme s'il s'agissait d'un bitume conventionnel et toujours dans des enrobés bitumineux destinés à des applications moins exigeantes techniquement.
- Une alternative pourrait consister à ajouter au réservoir davantage de produit fabriqué avec une concentration en caoutchouc et/ou polymères supérieure à la concentration d'origine jusqu'à récupération des propriétés perdues.

En respectant ces règles, la qualité du liant ainsi que l'absence d'anomalies dans la centrale d'enrobés bitumineux peuvent être assurées.

“ Il s'agit de trouver un compromis entre ces deux réalités : la nécessité de consommer le produit immédiatement après sa fabrication et celle de disposer d'une certaine capacité de stockage et de régularité dans l'approvisionnement de la centrale.”

Formulations-type de bitumes-caoutchouc

7

Comme il a été expliqué auparavant, l'un des objectifs principaux de ce Guide est de donner des orientations précises sur la composition qui permet d'obtenir les bitumes-caoutchouc les plus utilisés en Espagne, tout en restant en conformité avec les spécifications espagnoles, que ce soient celles de l'article 212 du PG-3 ou celles de la Directive 21/2007.

On sait que les caractéristiques d'un bitume-caoutchouc dépendent de l'origine et de la granulométrie du caoutchouc, du bitume de base et éventuellement du polymère, non seulement en ce qui concerne sa pénétration, mais aussi sa caractérisation chimique. De plus, le type de mélangeur utilisé peut affecter certaines propriétés du liant final.

Pour cette raison, il est impossible de donner une composition idéale pour tous les bitumes et caoutchoucs, et pour tous les équipements de mélange. Toutefois, certaines formulations qui respecteront les spécifications dans la plupart des cas à un niveau pratique peuvent être données à titre indicatif. Il s'avère toutefois nécessaire d'effectuer des travaux supplémentaires en laboratoire afin d'optimiser cette formulation, tant en ce qui concerne ses propriétés qu'en matière de coûts de fabrication.

“ Les caractéristiques d'un bitume-caoutchouc dépendent de l'origine et de la granulométrie du caoutchouc, du bitume de base et éventuellement du polymère. De plus, le type de mélangeur utilisé peut affecter certaines propriétés du liant final.”

C'est en ce sens qu'ont été Réalisées une série de travaux en laboratoire, décrites ci-dessous, conçues afin que les formulations proposées dans les sections suivantes soient applicables et validées le plus largement possible.

7.1 Caractéristiques et choix des matériaux

Les caractéristiques des matériaux employés pour réaliser ce travail en laboratoire sont décrites ci-dessous.

7.1.1 Caractéristiques ou choix des bitumes de base

Conformément à ce qui figure dans la bibliographie et aux expériences réalisées, des contenus élevés en composés aromatiques facilitent l'interaction du bitume avec le caoutchouc. Des échantillons de bitumes purs de pénétration 50/70 provenant de 4 raffineries espagnoles ont été analysés pour le développement expérimental du travail. Pour le choix, on a pris en considération tant l'origine des bruts traités que le procédé de préparation appliqué. Les bitumes utilisés sont très différents entre eux et la variété des comportements est suffisamment vaste pour que le résultat du travail soit applicable à 100% des bitumes utilisés communément dans notre pays.

	Bitume de la Raffinerie 1	Bitume de la Raffinerie 2	Bitume de la Raffinerie 3	Bitume de la Raffinerie 4
(A) Asphaltènes, %	18,2	13,8	18,8	14,1
(B) Saturés, %	17,7	9,7	12,0	22,4
(C) Naphténoaromatiques, %	43,4	48,3	46,4	45,8
(D) Aromatiques-Polaires, %	20,2	28,0	22,3	17,7
(C+D) Aromatiques, %	63,6	76,3	68,7	63,5

Tableau 4. Composition des bitumes testés.

Au vu de ces résultats, les raffineries 2 et 4 ont été choisies car leurs bitumes présentent les valeurs maximale et minimale pour la teneur totale en aromatiques. C'est avec les bitumes de ces deux raffineries qu'ont été effectués les autres travaux en laboratoire.

7.1.2 Caractéristiques ou choix de la poudrette de caoutchouc

Les principales caractéristiques de la poudrette de caoutchouc ayant une influence sur les propriétés des bitumes sont, d'une part, sa composition (la teneur en polymères et même le pourcentage de caoutchouc naturel) et sa granulométrie et, d'autre part, le mode de fabrication utilisé.

« La méthode habituelle pour la caractérisation des bitumes est celle du fractionnement, décrit dans la norme NLT-373/94 ». On distingue quatre fractions différentes : les maltènes, solubles dans le n-heptane, les saturés non adsorbés dans l'alumine calcinée, les naphténoaromatiques ou simplement aromatiques, qui sont adsorbés dans l'alumine calcinée en présence de n-heptane et qui se désorbent dans le toluène, et les aromatiques polaires, aussi appelés résines, qui se désorbent de l'alumine calcinée après que les fractions saturées et naphténoaromatiques aient été séparées, en employant pour cela le toluène et le trichloréthylène comme éluants.

Les résultats de fractionnement (NLT-373/94) des quatre bitumes sont les suivants :

Pour des raisons pratiques, la poudrette de caoutchouc commercialisée en Espagne est obtenue par des systèmes de granulation à température ambiante. C'est donc la seule qui a été utilisée pour ce travail.

Quant à la **granulométrie**, 100% du caoutchouc utilisé passe par le tamis de 0,8 mm avec une rétention dans le tamis 0,5 mm de plus de 35%. Il s'agit d'une granulométrie comprise dans une fourchette fréquente sur le marché pour la modification d'asphaltes.

Enfin, en ce qui concerne la *composition chimique*, le type de caoutchouc utilisé

à des fins pratiques dépend de l'origine pneumatique, soit de camion soit de véhicules légers, avec des pourcentages en caoutchouc naturel et synthétiques différents. Ainsi, pour l'étude en laboratoire, deux caoutchoucs, dont la granulométrie est celle mentionnée plus haut, ont été sélectionnés, le premier provenant à parts égales de pneumatiques de camion et de véhicules légers (50/50) et

le second provenant de poids lourds (100/0). La composition des deux produits figure dans les **tableaux 5, 6 et 7**.

Pour mesurer le composant non caoutchouteux de la poudrette, en dehors du noir de carbone, une analyse des extraits (selon l'ISO 1407) a été réalisée et fait apparaître les résultats suivants :

Origine de la Poudrette de pneumatiques	Plastifiant + additifs %		
	mesure 1	mesure 2	valeur moyenne
50% camion + 50% véhicule léger	8,40%	7,92%	8,16%
100% camion	5,75%	6,01%	5,88%

Tableau 5. Analyse d'extrait de caoutchouc

La mesure des composants principaux de la poudrette est réalisée grâce à une analyse thermogravimétrique au moyen d'une thermobalance TGA/SDTA 851 de Mettler, dans les conditions suivantes :

- Masse d'échantillon de 20 mg

- Flux d'azote de 80 mL/min.
- Flux d'oxygène = 45 mL/min.
- Température d'essai = 30 à 1 000 °C.
- Vitesse de réchauffement = 20 °C/min.

Les résultats sont les suivants :

Origine de la Poudrette de pneumatiques	TGA			
	Volatiles %	Caoutchouc %	Noir de carbone %	Cendres %
50% camion + 50% véhicule léger	4,67	57,41	32,22	6,02
100% camion	4,83	57,05	31,69	6,83

Tableau 6. Analyse thermogravimétrique de caoutchouc

Pour une caractérisation complète de la poudrette, on a mesuré le contenu en caoutchouc naturel au moyen de la méthode du C¹⁴. Les résultats pour les deux types de poudrette sont les suivants :

Origine de la Poudrette de pneumatiques	% Caoutchouc naturel
50% camion + 50% véhicule léger	38%
100% camion	47%

Tableau 7. Contenu en caoutchouc naturel

Tout le travail expérimental ultérieur en laboratoire a été effectué à partir de ces deux types de granulation de caoutchouc, de sorte que les formulations qui sont proposées dans les paragraphes suivants sont valables tant avec du caoutchouc 100/0 (100% camion) qu'avec du caoutchouc 50/50 (à parts égales camion/véhicule léger). Toutefois, tout autre échantillon de poudrette provenant de mélanges de pneumatiques qui sont compris dans ces fourchettes ou qui sont similaires devrait avoir un comportement semblable à celui qui résulte de ce travail.

7.1.3 Caractéristiques ou choix des polymères

Pendant les premiers essais en laboratoire, on a observé que la modification obtenue était plus efficace dans le cas d'un copolymère thermoplastique butadiène/styrène 70/30, polymérisé en solution et à structure radiale. Son nom commercial est Calprene 411. Il se présente sous la forme de miettes poreuses, de pellets et de poudrette avec silice. En laboratoire, c'est la poudrette qui a été utilisée puisque le mélangeur était de type hélicoïdal à haute vitesse, mais sans tête à cisaillement, raison pour laquelle il est recommandé d'employer la poudrette afin de faciliter son intégration dans le bitume.

7.2 Protocole de fabrication

Les bitumes ont été fabriqués au moyen de l'équipement des **figures 9 et 10 de l'Annexe I**. Il s'agit d'un mélangeur hélicoïdal à haute vitesse pourvu d'un récipient d'1 litre dans un bain thermique d'huile dans lequel on met un échantillon d'un poids de 650 g. Après un premier mélange manuel avec spatule, on introduit la tête du mélangeur. Le récipient était fermé par un couvercle perforé qui permettait la sortie de l'axe de la tête et un ruban adhésif en aluminium qui scellait l'ensemble pour empêcher l'entrée d'air. Après 10 minutes de pause pour permettre à l'échantillon d'atteindre à nouveau la température de travail, le processus de mélange pouvait commencer et sélectionnait la vitesse de rotation la plus adéquate à chaque type de bitume. Les informations concernant les températures, les vitesses du mélangeur, les temps d'opération, etc., sont détaillées sur les fiches correspondantes présentées dans ce Guide.

Une fois la fabrication du bitume-caoutchouc effectuée, des échantillons ont été prélevés pour les essais de pénétration, de température de ramollissement et de retour élastique, ainsi que pour l'essai de viscosité dans le cas des bitumes à haute viscosité.

4 liants ont été fabriqués pour la conception de chaque type de bitume-caoutchouc :

- Bitume de la raffinerie 2 + Caoutchouc 50/50 (+ polymère dans la fabrication des liants de type PMB).
- Bitume de la raffinerie 2 + Caoutchouc 100/0 (+ polymère dans la fabrication des liants de type PMB).
- Bitume de la raffinerie 4 + Caoutchouc 50/50 (+ polymère dans la fabrication des liants de type PMB).
- Bitume de la raffinerie 4 + Caoutchouc 100/0 (+ polymère dans la fabrication des liants de type PMB).

Pour chacune de ces quatre combinaisons, plusieurs teneurs en caoutchouc et, dans le cas des liants PMB, plusieurs teneurs en polymère ont été testées.

Enfin, et au vu des résultats des essais, les compositions les plus conservatrices ont été sélectionnées de sorte que leur conformité soit garantie dans les 4 cas d'étude. Ce qui n'empêche pas d'intégrer dans les formulations des pourcentages plus élevés de caoutchouc quand d'autres types de poudrette de caoutchouc ont des granulométries ou des contenus en caoutchouc naturel plus favorables, ou quand les bitumes sont plus compatibles.

Grâce à ce protocole de fabrication, on a déterminé la composition appropriée pour fabriquer des liants BC 35/50, BC 50/70, PMB 45/80-60, PMB 45/80-65, BMAVC-1, BMAVC-3, et un dernier liant qui n'est pas repris dans la réglementation, le BMAVC-1b, plus mou que le BMAVC-1, et dont l'utilisation est recommandée pour les régions froides.

“ Les compositions les plus conservatrices ont été sélectionnées afin de garantir leur conformité dans les 4 cas étudiés. ”

Les formulations-type pour chacun de ces liants sont présentées dans les paragraphes suivants.

7.3 Formulations recommandées de bitumes-caoutchouc

Une série de formulations recommandées pour différents types de bitumes-caoutchouc est présentée dans ce paragraphe. Par simplicité, ces formulations sont présentées sous forme de fiche d'utilisation facile. Toutefois, on devra tenir compte du fait qu'il s'agit de formulations qui ont produit de bons résultats avec les matériaux et dans les conditions de laboratoire décrites plus haut. Elles doivent par conséquent être interprétées comme des formulations approximatives nécessitant d'être vérifiées préalablement en laboratoire et d'être parfois légèrement modifiées afin que le produit obtenu soit conforme aux spécifications.

7.3.1 Bitumes améliorés avec du caoutchouc

Les bitumes améliorés avec du caoutchouc sont repris dans la Directive 21/2007 du

Ministère du Développement. Il s'agit de bitumes ayant des caractéristiques améliorées par rapport à des bitumes dont la pénétration est similaire, car ils ont une température de ramollissement légèrement plus élevée que ces derniers. Leur nomenclature est composée des lettres BC suivies de la fourchette de pénétration. Il en existe deux types : BC 35/50 et BC 50/70. Ils peuvent être utilisés dans la fabrication de n'importe quel enrobé bitumineux et de n'importe quelle couche et catégorie de trafic pour lesquelles on utilisait les bitumes de pénétration.

Leur fabrication est simple de par leur contenu limité en caoutchouc, ce qui fait que leur viscosité n'est pas élevée. Toutefois, ils peuvent décanter. Les mesures adéquates doivent donc être prises pendant leur fabrication et manipulation.

La formulation recommandée pour ces liants est présentée dans les **Fiches 1 et 2**.

FICHE 1

BC 35/50

Composants	Fabrication
Bitume de base : B50/70 Caoutchouc : 0/0,8 mm % Caoutchouc (s/bitume) : 10	Température (°C) : 185 Type d'agitateur : hélicoïdal, 4.000 rpm Temps de digestion : 60 min

Manipulation et stockage

Le produit peut décanter. L'utilisation de réservoirs pourvus d'un agitateur est nécessaire.

FICHE 2

BC 50/70

Composants	Fabrication
Bitume de base : B70/100 Caoutchouc : 0/0,8 mm % Caoutchouc (s/bitume) : 10	Température (°C) : 185 Type d'agitateur : hélicoïdal, 4.000 rpm Temps de digestion : 60 min

Manipulation et stockage

Le produit peut décanter. L'utilisation de réservoirs pourvus d'un agitateur est nécessaire.

7.3.2 Bitumes modifiés avec du caoutchouc

Ces liants sont en partie seulement modifiés avec du caoutchouc, puisqu'ils incorporent généralement aussi des polymères. Leurs caractéristiques technologiques sont reprises dans l'article 212 du PG-3 consacré aux bitumes modifiés avec des polymères. Cet article prévoit que, si la plus grande partie de la modification est obtenue avec du caoutchouc de pneumatiques, la nomenclature de ce liant doit être signalée par un « C » à la fin qui indique qu'ils contiennent du caoutchouc. Ainsi, un liant PMB 45/80-60 ayant une pénétration entre 45 et 80 dixièmes de millimètre et une température de ramollissement égale ou supérieure à 60°, s'il a été obtenu en utilisant majoritairement du caoutchouc, est alors appelé PMB 45/80-60 C.

Ce Guide présente deux liants modifiés avec du caoutchouc : PMB 45/80-60 C, qui correspond à l'ancien BMC-3b, et le PMB 45/80-65 C, qui correspond à l'ancien BMC-3 C. L'ajout de la lettre « C » est destiné à informer du fait qu'ils contiennent une plus grande proportion de caoutchouc de pneumatiques.

Ces liants peuvent être utilisés pour les enrobés bitumineux, les couches et catégories



de trafic pour lesquels on utilise les bitumes modifiés avec des polymères.

On doit tenir compte du fait que ces liants peuvent également décanter. Il est alors nécessaire de prendre les mesures adéquates pendant leur fabrication et leur manipulation afin que cela ne se produise pas.

Les formulations de ces bitumes figurent dans les *Fiches 3 et 4*.

FICHE 3

PMB 45/80-60 C

Composants	Fabrication
Bitume de base : B110/120	Température (°C) : 185
Caoutchouc : 0/0,8 mm	Type d'agitateur : hélicoïdal, 8.800 rpm
% Caoutchouc (s/bitume) : 4 - 5	Temps de digestion : 60 min
% Polymère C411 (s/bitume) : 2,5 - 3	

Formulation

Suivant la teneur en aromatiques du bitume de base, des essais préalables en laboratoire sont nécessaires afin de déterminer précisément le dosage optimal.

Fabrication

Pour sa fabrication, il est recommandé d'utiliser un mélangeur à cisaillement.

Manipulation et stockage

Le produit peut décanter. L'utilisation de réservoirs pourvus d'un agitateur est nécessaire.

FICHE 4

PMB 45/80-65 C

Composants	Fabrication
Bitume de base : B110/120	Température (°C) : 185
Caoutchouc : 0/0,8 mm	Type d'agitateur : hélicoïdal, 8.800 rpm
% Caoutchouc (s/bitume) : 4 - 5	Temps de digestion : 60 min
% Polymère C411 (s/bitume) : 3 - 4	

Formulation

Suivant la teneur en aromatiques du bitume de base, des essais préalables en laboratoire sont nécessaires afin de déterminer précisément le dosage optimal.

Fabrication

Pour sa fabrication, il est recommandé d'utiliser un mélangeur à cisaillement.

Manipulation et stockage

Le produit peut décanter. L'utilisation de réservoirs pourvus d'un agitateur est nécessaire.

7.3.3 Bitumes modifiés à haute viscosité avec du caoutchouc

Les bitumes à haute viscosité sont repris dans la Directive 21/2007 du Ministère du Développement et constituent des liants très modifiés. Ce Guide donne des orientations pour la fabrication de deux des bitumes les plus utilisés : les BMAVC-1 et BMAVC-3. Le premier

est obtenu avec des taux élevés de caoutchouc et sa viscosité est également très élevée. Le deuxième est fabriqué avec du caoutchouc et des polymères, et éventuellement d'autres additifs. Il s'agit d'un liant moins visqueux que le premier mais beaucoup plus que les bitumes conventionnels.

Un troisième type de liant à haute viscosité est également présenté dans ce Guide et est appelé BMAVC-1b, « b » indiquant qu'il s'agit d'une variété plus molle que le BMAVC-1. La raison pour laquelle il a été inclus dans ce Guide est que, suite à l'approbation de la Directive 21/2007, il a été observé que le BMAVC-1 n'offre pas la souplesse requise dans des régions où les hivers sont très froids. Un liant similaire mais fabriqué à partir d'une base plus molle a donc été testé avec succès. Il a été appelé BMAVC-1b.

Les liants à haute viscosité avec du caoutchouc sont spécialement recommandés quand une résistance élevée à la fissuration est nécessaire, notamment pour les renforcements de revêtements semi-rigides et de dalles en béton.

Il s'agit de liants ayant une tendance à la sédimentation, raison pour laquelle il convient de prendre les mesures adéquates pendant leur fabrication et leur manipulation.

Les formulations de ces liants sont présentées dans les *Fiches 5, 6 et 7*.

FICHE 5

BMAVC-1

Composants	Fabrication
Bitume de base : B35/50 Caoutchouc : 0/0,8 mm % Caoutchouc (s/bitume) : 22	Température (°C): 195 Type d'agitateur : hélicoïdal, 4.000 rpm Temps de digestion : 60 min
Formulation	
Avec certains bitumes de base, plus riches en fractions aromatiques, la teneur en caoutchouc tournerait autour de 20%.	
Manipulation et stockage	
Le produit peut décanter. L'utilisation de réservoirs pourvus d'un agitateur est nécessaire.	

FICHE 6

BMAVC-1b

Composants	Fabrication
Bitume de base : B50/70 Caoutchouc : 0/0,8 mm % Caoutchouc (s/bitume) : 22	Température (°C): 195 Type d'agitateur : hélicoïdal, 4.000 rpm Temps de digestion : 60 min
Formulation	
Avec certains bitumes de base, plus riches en fractions aromatiques, la teneur en caoutchouc tournerait autour de 20%.	
Manipulation et stockage	
Le produit peut décanter. L'utilisation de réservoirs pourvus d'un agitateur est nécessaire.	
Note explicative	
Ce liant n'est pas repris dans la Directive 21/2007. C'est un bitume plus mou et il a démontré un meilleur comportement que le BMAVC-1 dans des régions froides. Les propriétés de base de ce type de liant sont :	<ul style="list-style-type: none"> • Pénétration (UNE-EN 1426) : 30/40 10-1 mm • Point de ramollissement bille et anneau (UNE-EN 1427) : $\geq 68^{\circ}\text{C}$ • Viscosité dynamique à 170°C (UNE-EN 13302) : $\geq 2\ 000\ \text{cP}$ • Récupération élastique à 25°C (UNE-EN 13398) : $\geq 10\%$

FICHE 7

BMAVC-3

Composants	Fabrication
Bitume de base : B110/120 Caoutchouc : 0/0,8 mm % Caoutchouc (s/bitume) : 4 - 5 % Polymère C411 (s/bitume) : 3,5 - 4,5	Température (°C) : 185 Type d'agitateur : hélicoïdal, 8 800 rpm Temps de digestion : 60 min
Formulation	
Suivant la teneur en aromatiques du bitume de base, des essais préalables en laboratoire sont nécessaires afin de déterminer précisément le dosage optimal.	
Manipulation et stockage	
Le produit peut décanter. L'utilisation de réservoirs pourvus d'un agitateur est nécessaire.	

Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau suivant :

	Bitume de base	Teneur en Caoutchouc ⁽¹⁾ (%)	Teneur en Polymère ⁽²⁾ (%)	Temp. (°C) mélange	Niveau d'agitation ⁽³⁾	Temps de digestion (min)
BC 35/50	B 50/70	10	-	185	Moyen	60
BC 50/70	B 70/100	10	-	185	Moyen	60
PMB 45/80-60C	B 110/120	4 - 5	2,5 - 3	185	Élevé	60
PMB 45/80-65C	B 110/120	4 - 5	3 - 4	185	Élevé	60
BMAVC-1	B 35/50	22	-	195	Moyen	60
BMAVC-1b	B 50/70	22	-	195	Moyen	60
BMAVC-3	B110/120	4 - 5	3,5 - 4,5	185	Élevé	60

(1) Par rapport au poids du bitume de base

(2) Par rapport au poids du bitume de base

(3) L'agitateur à palettes ou tourbillon est considéré comme Moyen. Pour obtenir un niveau élevé, il est recommandé d'utiliser un dispositif à cisaillement.

Tableau 8. Formulations recommandées pour le bitume-caoutchouc

Appareils de fabrication de bitumes-caoutchouc en laboratoire

ANNEXE

Il existe divers appareils et équipements pour la fabrication de bitumes modifiés en laboratoire, depuis les mélangeurs, très simples, jusqu'aux unités pilotes plus complexes intégrant un contrôle informatisé des principaux paramètres de fabrication.

Cette annexe donne quelques règles générales et décrit plusieurs appareils fréquemment utilisés dans la fabrication de bitumes-caoutchouc.

Types de mélangeurs

Pour la modification de bitumes-caoutchouc, on peut utiliser deux types de mélangeurs :

- ceux qui soumettent les composants à un processus d'agitation plus ou moins énergétique, et
- ceux qui disposent d'un mécanisme à cisaillement qui, en plus de mélanger les composants, coupent les particules de caoutchouc, réduisant ainsi leur taille

Il existe de nombreux fabricants et appareils. La frontière entre un type et un autre n'est donc pas toujours évidente. D'un côté, il y a les agitateurs, déclinés sur des modèles différents, qui présentent une hélice qui, introduite dans le récipient, remue continuellement un mélange

de bitume et de caoutchouc pour favoriser leur interaction et éviter les décantations. Ces dispositifs peuvent tourner, selon leur modèle et celui de leur réservoir, à des vitesses allant jusqu'à 1 000 rpm.



Figure 7. Tête d'un mélangeur à hélice

Totalement à l'opposé, les mélangeurs à cisaillement disposent généralement d'une pièce fixe (stator) et d'une partie mobile (rotor), séparées par un petit espace qui provoque un effet d'aspiration obligeant le mélange bitume/caoutchouc à passer entre ces deux pièces, ce

qui provoque un effet de coupe très intense qui contribue à diminuer la taille des particules de caoutchouc et augmente donc leur surface spécifique afin de favoriser l'interaction entre

les deux. La figure suivante présente la tête d'un mélangeur à cisaillement et les étapes auxquelles l'appareil soumet les composants du mélange.

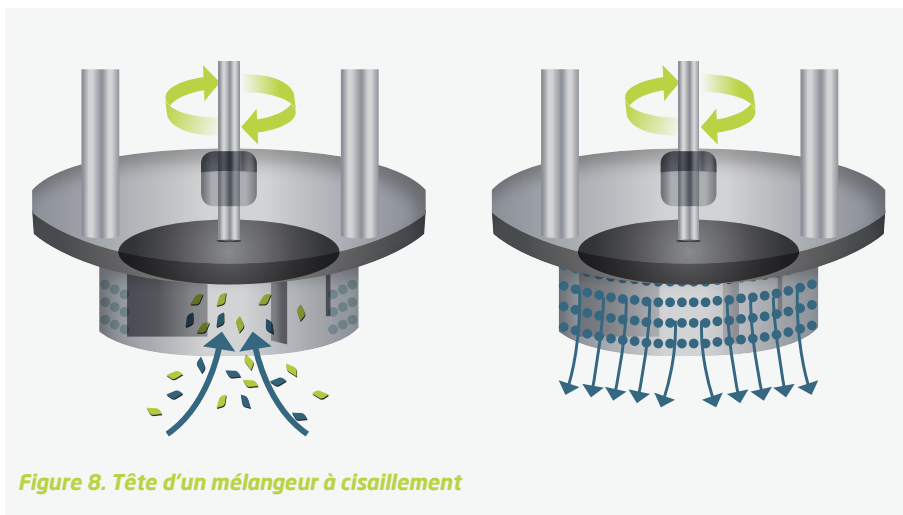


Figure 8. Tête d'un mélangeur à cisaillement

Il existe différents modèles de mélangeurs qui, suivant la forme de la tête et la vitesse de rotation sélectionnée, peuvent faire juste office d'agitateurs ou provoquer en plus un effet de cisaillement. Quand un agitateur à hélice est utilisé à haute vitesse, c'est à dire entre 1 000 et 10 000 rpm, il produit un effet dynamique qui peut provoquer la coupure des particules.

atteignent des vitesses de rotation allant jusqu'à 10 000 rpm. C'est le cas de l'appareil représenté en Figure 9.



Figure 9. Mélangeur de laboratoire fonctionnant à des vitesses comprises entre 500 et 10 000 rpm

Ci-dessous sont présentés trois appareils différents pouvant être utilisés en laboratoire pour fabriquer des bitumes-caoutchouc.

1. Système de mélangeur à hélice à haute vitesse

Il s'agit d'un dispositif simple qui provoque uniquement une agitation continue du mélange de bitume et de caoutchouc. Toutefois, en augmentant la vitesse de rotation de certains de ces appareils, on obtient une forte énergie de mélange qui va au-delà de la simple agitation. C'est le cas des appareils pourvus d'un « propeller » qui

La fabrication du bitume-caoutchouc suivant ce procédé est effectuée par gâchées successives en introduisant l'accessoire dans un récipient métallique placé dans un bain thermostatique d'huile. L'ensemble serait disposé de la manière suivante (figure 10) :



Figure 10. Disposition d'un appareil de laboratoire de base pour la fabrication de bitumes-caoutchouc

Il est très important de s'assurer que le contact de l'échantillon du bitume avec l'air soit le moins élevé possible afin de minimiser l'oxydation du bitume durant sa fabrication. Cela peut être fait en utilisant un couvercle perforé permettant d'y introduire la tête du mélangeur, de sorte que, pendant les 60 minutes que dure l'opération, le contact avec l'air soit très limité.

Il faudra sélectionner les paramètres de fabrication : la température au moyen du thermostat du bain d'huile, ainsi que la vitesse de rotation du mélangeur sur le sélecteur dont est pourvu l'appareil à cet effet.

L'opération se déroule en deux phases : la première à haute vitesse (3 000-10 000 rpm) afin d'obtenir un mélange très énergique, suivie d'une seconde phase de digestion, durant laquelle l'appareil peut fonctionner à basse vitesse (500-1 000 rpm) afin d'éviter les sédimentations et favoriser l'interaction du bitume et du caoutchouc. La première phase dure environ 15 minutes, la seconde 45 minutes environ.

Avec le même appareil de laboratoire et en essayant d'arriver à la plus grande similitude possible avec certains appareils industriels dans lesquels le mélangeur fait aussi office de réservoir digesteur, on pourrait travailler à haute vitesse pendant les 60 minutes. Dans tous les cas, il s'agit de disposer en laboratoire des conditions les plus proches possibles d'une application à l'échelle industrielle.

Généralement, le mélange est effectué dans un récipient métallique d'une capacité d'1 litre, qui ne peut pas être entièrement rempli de bitume puisqu'il déborderait au moment où la tête du mélangeur y serait introduite. Il est également nécessaire de laisser un espace entre celui-ci et le couvercle afin de faciliter sa manipulation. L'échantillon doit être préparé par gâchées, dont on recommande, par expérience, qu'elles ne dépassent pas les 650 g de bitume-caoutchouc. Il n'est pas non plus nécessaire de produire des gâchées de taille beaucoup plus petite car la tête ne serait alors pas recouverte.

Dans tous les cas, on vérifiera visuellement que selon la capacité du récipient choisi et les caractéristiques du mélangeur utilisé, il ne reste pas à la périphérie du récipient des « zones mortes », c'est à dire des zones qui reçoivent moins d'énergie d'agitation que le reste de l'échantillon.

2. Système de mélangeur de laboratoire à cisaillement

Il s'agit de mélangeurs ayant une tête pourvue d'un dispositif de cisaille. L'opération est semblable à la précédente, sauf que les particules sont soumises à une coupe plus efficace. La figure 11 présente un appareil de ce type ainsi que sa tête détaillée :



Figure 11. Mélangeur de laboratoire à cisaillement

Comme dans le cas précédent, un récipient pouvant contenir l'échantillon, ainsi qu'un bain thermostatique d'huile servant à contrôler la température pendant la fabrication sont nécessaires. On peut aussi sélectionner la vitesse de rotation, laquelle peut atteindre 8 000 rpm.

Ces appareils peuvent fabriquer le produit soit en une seule phase à haute vitesse (4 000-8 000 rpm), soit en deux phases, la première à haute vitesse et la seconde à une vitesse moins élevée (500-1 000 rpm). La décision d'effectuer le travail en une ou deux phases dépendra de la configuration de l'appareil industriel. Dans les deux cas, l'échantillon devra rester en agitation et à haute température pendant 60 min jusqu'à ce que la digestion soit complète.

Il est également nécessaire d'éviter, dans la mesure du possible, le contact avec l'air afin de minimiser l'oxydation du bitume pendant sa fabrication.

Dans ce type de mélangeurs, la gâchée est aussi de 650 g et est contenue dans un récipient métallique d'une capacité d'1 litre.

3. Unité pilote de fabrication de bitumes-caoutchouc

Il existe également des unités pilotes de laboratoire pour la fabrication de bitumes-caoutchouc qui possèdent un système de cisaillement. Vu les difficultés d'incorporation du caoutchouc au bitume, il est fréquent que ces mélangeurs travaillent en ligne avec recirculation. Dans ce cas, il est donc nécessaire de disposer d'un réservoir supplémentaire. La figure suivante présente un de ces modèles auquel on associe un système en ligne à cisaillement par lequel circule plusieurs fois le contenu du réservoir supérieur. Le contenu reste constamment en mouvement grâce à un mélangeur à hélice.



Figure 12. Unité pilote pour la fabrication de bitume-caoutchouc

Ces dispositifs offrent l'avantage d'une haute technicisation, avec un contrôle direct des paramètres de fabrication les plus importants. Ils nécessitent normalement une chaudière externe pour maintenir tout

le système à la bonne température grâce au gainage thermique qui recouvre leurs principaux éléments.

Ils ont également d'autres avantages, comme le fait que l'échantillon ne soit pas en contact avec l'air à travers leurs circuits, bien qu'il faille appliquer les mêmes précautions pour leur réservoir supérieur que celles recommandées pour les autres appareils.

Parmi les inconvénients de ces appareils, il faut souligner que leur nettoyage courant peut être plus difficile que les appareils 1 et 2, où le récipient est éliminé après chaque gâchée et où il n'existe pas de circuits par où le bitume-caoutchouc s'écoule, ce qui évite les obstructions et le nettoyage. En outre, leur prix est très supérieur à celui des deux premiers appareils décrits.



Recommandations sur l'appareil à utiliser en laboratoire

Bien qu'il soit assez délicat de recommander un appareil particulier pour une utilisation en laboratoire, on peut toutefois donner quelques indications utiles avant de prendre une décision à ce sujet :

1. Pour une meilleure reproductibilité du processus industriel, le principe de fonctionnement (par gâchées ou en ligne, avec ou sans cisaillement) de l'appareil de laboratoire doit être en adéquation avec les appareils industriels qui seront utilisés.
2. Pour la plupart des bitumes-caoutchouc, un mélangeur à hélice est généralement suffisant, du moment que sa conception lui permette de fonctionner à des vitesses moyennes et élevées au-dessus des 3 000 rpm.
3. Si des polymères sont utilisés avec le caoutchouc, il conviendra d'utiliser des dispositifs à cisaillement ou, au moins, des mélangeurs à hélice capables de fonctionner à des vitesses de rotation élevées supérieures à 8 000 rpm.
4. La décision doit aussi tenir compte de l'utilisation qui va être faite de l'appareil : pour des utilisations modérées, les deux premiers appareils décrits peuvent s'avérer suffisants. Leur prix est à peu près 4 fois plus bas que celui d'une unité pilote et leur nettoyage courant est plus facile.

Appareils destinés à la fabrication à l'échelle industrielle de bitumes-caoutchouc

ANNEXE 2



Les appareils industriels destinés à la fabrication de bitumes-caoutchouc doivent posséder, d'un point de vue fonctionnel, deux unités bien définies : d'un côté le mélangeur et, de l'autre, le réservoir de digestion. Grâce au premier, on obtient le mélange entre le bitume et le caoutchouc et parfois même, des particules plus petites si le mélangeur est doté de cisaillement. Dans le réservoir de digestion, l'interaction entre les particules de caoutchouc et le bitume est complétée à haute température grâce à l'existence d'un système agitateur dont l'appareil doit être obligatoirement doté.

À partir de là, on peut trouver plusieurs configurations : des mélangeurs à cisaillement ou sans cisaillement, des mélangeurs séparés du digesteur ou un regroupement des deux fonctions dans le même réservoir, et même, l'utilisation de réservoirs auxiliaires de stockage afin de disposer in situ d'une plus grande capacité de régulation de l'approvisionnement en bitume-caoutchouc, ce dernier pouvant être stocké jusqu'à ce que la centrale de fabrication d'enrobés asphaltiques redemande un approvisionnement.

Les types de mélangeurs les plus courants sur le marché sont décrits ci-dessous. Une étude de cas présente plusieurs configurations d'une unité de fabrication de bitume-caoutchouc, ainsi que leurs différentes possibilités d'installation dans la centrale d'enrobés bitumineux.

Mélangeurs à palettes

Pour les bitumes à faible teneur en caoutchouc, en dessous de 10%, les mélangeurs à palettes ou de type hélicoïdal, qui maintiennent le bitume agité (< 1 000 rpm) avec le caoutchouc en suspension pendant le temps nécessaire pour réaliser la digestion, peuvent suffire. Le réservoir dans lequel ils sont installés fait simultanément office de mélangeur et de digesteur. Dans des configurations aussi simples, le caoutchouc doit être fin, d'une taille maximale de 0,5 mm. En outre, pour garantir la digestion, il sera souvent nécessaire de prolonger le temps de fabrication au-delà des 60 minutes habituellement suffisantes avec un système de mélange plus énergétique.

Ce système ne possède pas de dispositif de cisaillement et se trouve uniquement sur des dispositifs destinés à de petites productions. Son utilisation n'est pas recommandée, car son énergie d'agitation et sa capacité de production sont faibles. Un exemple d'arbre à palettes est représenté dans la **figure 13**.



Figure 13. Mélangeur à palettes

Mélangeurs à disque Cowles

Grâce à sa conception et à sa vitesse de rotation (>3 000 rpm), ce type de mélangeurs dispose d'une énergie de mélange élevée avec un certain effet de cisaillement. La **Figure 14** présente un disque de type Cowles ainsi que sa position dans un mélangeur de bitume.

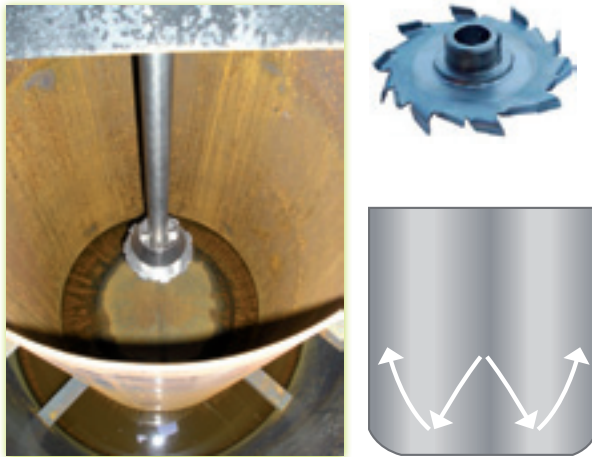


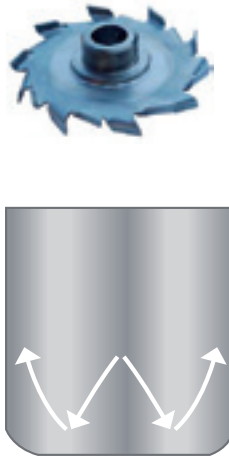
Figure 14. Mélangeur à disque Cowles

Ce type de mélangeur produit un tourbillon qui oblige le mélange de bitume et de caoutchouc à passer plusieurs fois par le disque Cowles, ce qui provoque progressivement la réduction des particules de caoutchouc et l'homogénéisation du mélange.

Il peut être présent soit dans de simples mélangeurs soit dans des réservoirs où sont réalisés le mélange et la digestion. Sa productivité est élevée et son entretien facile. Son utilisation est très répandue dans la fabrication de bitumes-caoutchouc.

Mélangeurs à système de cisaillement rotor-stator

Il s'agit sans aucun doute du mélangeur le plus évolué. Il soumet le mélange de bitume et de caoutchouc à une forte intensité grâce à la vitesse élevée de son cisaillement. Entre la partie fixe et la partie mobile se trouve un petit espace par où circule le mélange.



“L'utilisation des mélangeurs à disque Cowles est très répandue car leur production horaire est élevée et leur entretien simple.”

Les aubes coupent les particules de caoutchouc jusqu'à ce que leur taille soit inférieure à la taille de cet espace. Ce type de mélangeurs, connu sous le nom de Polymill, n'est pas installé dans un réservoir. Ces mélangeurs travaillent en ligne, souvent par recirculation du bitume-caoutchouc vers le réservoir qui, lui, dispose généralement d'un agitateur à palettes. Ce type de mélangeur est représenté **Figure 15**.

Les mélangeurs constituent la clef de voûte de l'unité de fabrication de bitumes-caoutchouc, laquelle peut adopter différentes configurations.

Configurations les plus courantes

Les configurations les plus courantes sont présentées dans l'étude de cas suivante.



Figure 15. Mélangeur de type rotor-stator à cisaillement

Configuration 1. Mélangeur de petit volume et réservoir de digestion

Dans ce cas, les deux fonctions nécessaires pour réaliser la fabrication sont séparées :

D'abord, un mélange énergique est effectué par un mélangeur doté généralement d'un disque Cowles. Ensuite, le produit passe dans un réservoir digesteur de plus grandes dimensions où le bitume-caoutchouc reste en agitation grâce à un arbre à palettes ou un agitateur hélicoïdal jusqu'à la fin des 60 minutes de digestion nécessaires.

L'appareil est complété par des trémies pour le stockage et le dosage du caoutchouc pour les éventuels polymères ou additifs, des pompes d'impulsion et même une chaudière pour les équipements mobiles, ce qui lui permet de fonctionner de manière autonome sans avoir besoin d'être relié au circuit d'huile thermique de l'unité de fabrication de mélanges asphaltiques.

La **figure 16** présente un appareil de ce type, dans le cas présent, mobile. Il peut donc être déplacé jusqu'à la centrale de fabrication d'enrobés pour fabriquer et fournir le bitume-caoutchouc et être retiré une fois les travaux terminés. Dans d'autres cas, le même équipement est fixe et reste toujours dans la même unité de mélanges asphaltiques.



Figure 16. Unité de fabrication avec mélangeur et réservoir digesteur

En ce qui concerne son intégration à la centrale de mélanges asphaltiques, cet appareil prend le bitume pur dans les réservoirs de stockage, le mélange avec le caoutchouc et le dispense à la demande de la centrale grâce à une pompe d'impulsion commandée à partir du tableau de commande de la centrale. Sur la **figure 17**, on peut voir un schéma d'installation qui n'affecte presque en rien les éléments de la centrale de mélanges.

Le caoutchouc se présente généralement sous la forme de big-bags d'une capacité approximative d'1 tonne (2 m³) qui sont déversés sur la trémie de l'unité de mélange et à partir de laquelle le caoutchouc est dosé (**figure 18**). Dans des installations fixes, il peut aussi être fourni en vrac et stocké dans des silos verticaux pourvus d'un doseur.

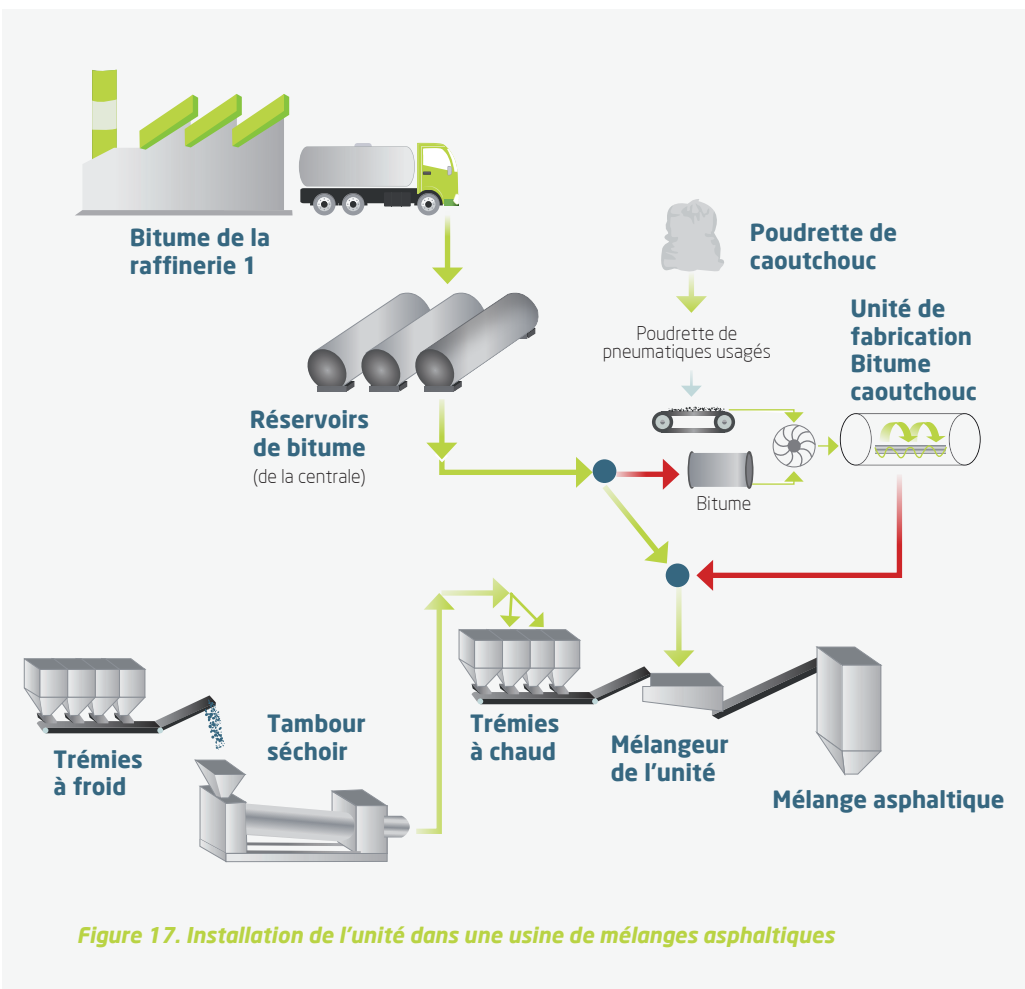


Figure 18. Chargement du caoutchouc dans les trémies de l'unité

Quant à la production horaire de ces équipements (t/h), elle correspond à la

capacité du réservoir de digestion. Si l'on dispose d'un réservoir de digestion de 15 tonnes, la production horaire de bitume-caoutchouc de l'appareil sera la même.

Configuration 2. Réservoirs jumeaux mélangeurs et digesteurs

Dans ce cas, le mélange et la digestion sont complétés dans le réservoir lui-même. Pour une plus grande efficacité et une production horaire plus élevée, la disposition est double puisqu'il existe deux réservoirs jumeaux : tandis que l'un d'eux fournit le bitume qui a atteint la fin de son cycle de digestion de 60 minutes, l'autre réservoir fabrique un nouveau mélange, et ainsi de suite alternativement. Voir le schéma de la **figure 19** et celui de la **figure 6** de ce guide.

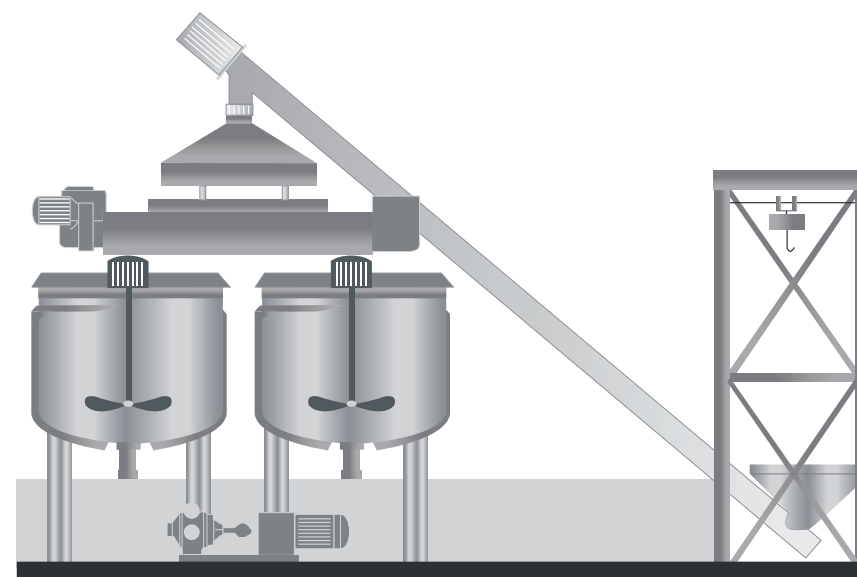


Figure 19. Schéma d'une unité de réservoirs jumeaux



Conditions minimales pour une unité de fabrication de bitumes-caoutchouc

Afin que tous les types d'unités de fabrication de bitume-caoutchouc exposées précédemment puissent garantir la qualité et l'homogénéité du produit, il s'avère indispensable de pouvoir doser ce dernier, le mélanger et permettre des contrôles de qualité réguliers. On considère qu'il doit être équipé au minimum des éléments suivants :

- Dispositifs de dosage pondéral pour le caoutchouc et le polymère.
- Dispositifs de dosage pondéral/volumétrique pour le bitume.
- Thermomètres :
 - » Au point d'entrée du bitume de base
 - » À l'intérieur du mélangeur
 - » À l'intérieur du réservoir de digestion, s'il est différent du mélangeur
 - » Au point de sortie du bitume-caoutchouc vers la centrale de mélanges
- Viscosimètres :
 - » Dans le réservoir digesteur
 - » Au point de sortie du bitume-caoutchouc (il existe des viscosimètres en ligne)
- Becs pour la prise d'échantillons à la sortie du digesteur

Réservoirs auxiliaires de stockage

Bien que toutes les unités de fabrication de bitume-caoutchouc doivent garantir que le produit a atteint un degré de digestion suffisant, ce qui est le cas une fois les 60 minutes écoulées, en incluant dans ce temps le mélange et la digestion, il peut s'avérer nécessaire, pour des raisons logistiques, de disposer de réservoirs supplémentaires pour stocker le bitume-caoutchouc déjà fabriqué. Ces réservoirs ne doivent pas être confondus avec le réservoir de

digestion de l'unité de bitume-caoutchouc.

Quand de tels réservoirs existent, l'unité de fabrication de bitume-caoutchouc fournit le produit au réservoir de stockage au lieu de le faire directement dans la balance de la centrale de mélanges asphaltiques pour qu'il soit déchargé dans le mélangeur.

Les avantages de ces réservoirs auxiliaires sont une plus grande capacité de régulation de l'approvisionnement en bitume-caoutchouc de la centrale de fabrication de mélanges et ils peuvent constituer une solution simple à n'importe quel problème surgissant dans l'appareil de fabrication de bitume-caoutchouc.

Pour la conformité aux critères de stockage, ces réservoirs auxiliaires doivent disposer d'un système de chauffage permettant de maintenir la température du produit pendant des heures ou des jours, et d'un élément qui fasse office d'agitateur et évite ainsi la sédimentation.



Figure 20. Réservoirs auxiliaires de stockage

Les réservoirs sont généralement dotés d'un disque Cowles et, suivant leur modèle, d'un arbre à palettes.

Tout comme dans la configuration 1, ce type d'appareils peut être fixe ou mobile et son installation dans la centrale de mélanges asphaltiques est la même. Sa production horaire (t/h) tourne généralement autour de 150% de la capacité d'un réservoir et dépend en dernier lieu de la vitesse de remplissage et d'autres aspects du cycle de production définis par le fabricant de l'appareil et liés aux conditions d'approvisionnement des travaux.

Configuration 3. Appareils à réservoir unique avec Poly-Mill dans le conduit de recirculation

Cette disposition, propre aux usines traditionnelles de modification de bitumes avec des polymères, consiste en un réservoir auquel on ajoute le bitume et le caoutchouc qui restent tout le temps en mouvement au

moyen d'un arbre à palettes. Le contenu du réservoir est mis en recirculation à travers un conduit dans lequel on a inséré un mélangeur de type rotor-stator à haut cisaillement. La recirculation continue jusqu'à ce que le produit ait atteint l'homogénéité souhaitée, moment où il peut être livré et où un nouveau cycle peut recommencer.

L'appareil est celui de la *figure 5* de ce Guide : on peut observer comment le mélangeur est inséré dans la ligne de recirculation.

Cette configuration est propre aux unités fixes. Sa production horaire est à peu près équivalente au tonnage du réservoir, puisqu'une gâchée sera fabriquée toutes les 60 minutes pour garantir la digestion. Toutefois, la production horaire peut être augmentée si le produit est transporté jusqu'à la centrale de mélanges asphaltiques où il sera consommé. Dans ce cas, le temps de transport permet de compléter la digestion.

Choix de l'unité de fabrication de bitume-caoutchouc

Pour choisir l'équipement le mieux adapté aux nécessités de chaque centrale, l'utilisateur doit tenir compte des critères de base suivants :

- Le mélangeur à palettes fournit peu d'énergie de mélange et il est plus approprié de l'utiliser comme agitateur pour maintenir en mouvement le produit tandis que se termine la digestion. Les équipements uniquement dotés de ce dispositif de mélange sont complètement inadaptés si l'on souhaite ajouter des polymères au caoutchouc.
- Les équipements pourvus d'un mélangeur et d'un digesteur ou de deux réservoirs mélangeurs digesteurs jumeaux sont les plus utilisés pour la fabrication de bitumes-caoutchouc. Ils peuvent être recommandés indistinctement et permettent de fabriquer des bitumes-caoutchouc mais aussi des bitumes modifiés avec des polymères. Ils sont valables dans la majorité des cas. Toutefois, des essais sont nécessaires au début si l'on utilise des polymères pour déterminer si ces derniers doivent être utilisés en poudre ou si le dispositif est capable d'intégrer des pellets ou des granulats de polymère dans le bitume.
- Les équipements dotés d'un moulin à cisaillement constituent l'étape la plus aboutie en matière d'appareils de mélange. Ils produisent une très bonne homogénéité car ils sont capables de faire recirculer le produit autant de fois que cela s'avère nécessaire pour réduire la taille des

particules de caoutchouc. Si l'on travaille avec des polymères, ceux-ci peuvent être utilisés sous forme de pellets ou de granulats.

- Dans tous les cas exposés précédemment, il faudra tenir compte de :
 - » La production horaire de l'équipement, pour ne pas limiter celle de la centrale de mélanges asphaltiques.
 - » Si l'équipement est autonome ou nécessite un approvisionnement en huile thermique ou en électricité à partir de la centrale de mélanges asphaltiques.
 - » L'espace qu'il occupe dans la centrale de mélanges asphaltiques et comment sa mise en œuvre peut affecter le déroulement des opérations dans l'unité : chargement et déchargement des camions qui transportent le mélange asphaltique, accès du fournisseur en bitumes purs aux réservoirs de stockage de l'unité, etc.

SIGNUS

SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS

SIGNUS Ecovalor, S.L.

C/ Caleruega, 102, 5^a
28033 Madrid
T: +34 91 768 07 66
info@signus.es

www.signus.es

Síguenos en:

