



**Centre de
recherches routières**
Ensemble pour des routes durables

Recyclage des plastiques dans les enrobés – une analyse



Synthèse

SF 50

Centre de compétence impartial depuis 1952, le CRR (Centre de recherches routières) est au service de l'ensemble du secteur routier. L'innovation durable est le fil conducteur de toutes ses activités. Le CRR partage ses connaissances avec les professionnels du secteur notamment par la voie de ses publications (codes de bonne pratique, synthèses, comptes rendus de recherche, méthodes de mesure, fiches d'information CRR, Bulletins CRR et Dossiers, rapports d'activité). Nos publications sont largement diffusées en Belgique et à l'étranger auprès de centres de recherche scientifique, d'universités, d'institutions publiques et d'instituts internationaux. Pour plus d'informations sur nos publications et activités, visitez notre site web www.crr.be

Synthèse SF 50

Recyclage des plastiques dans les enrobés – une analyse

Centre de recherches routières

Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947

Bruxelles

2020

Auteurs

Luc De Bock, Alexandra Destrée, Stefan Vansteenkiste, Ann Vanelstraete

Avec le soutien et l'accord des membres du groupe de travail ad hoc du CRR «Recyclage des plastiques dans les enrobés» au sein duquel plusieurs membres du secteur des enrobés (producteurs, administrations publiques, fournisseurs de bitume, producteurs de granulats, instituts de recherche et bureaux-conseils) sont représentés.

Avis au lecteur

Bien que cette méthode de mesure ait été élaborée avec le plus grand soin, des imperfections ne peuvent jamais être exclues. Le CRR et les personnes qui ont contribué à cette publication ne peuvent en aucun cas être tenus responsables des informations fournies, qui font purement office de documentation et ne sont en aucun cas destinées à un usage contractuel.

Recyclage des plastiques dans les enrobés – une analyse / Centre de recherches routières.
Bruxelles: CRR, 2020, 56 p. (Synthèse ; SF 50).

Dépôt légal: D/2020/0690/2

© CRR – Tous droits réservés.

Editeur responsable: Annick De Swaef, boulevard de la Woluwe 42, 1200 Bruxelles.

Table des matières

1	Introduction	7
1.1	Objectif de ce document	7
1.2	Délimitation du domaine d'application: le recyclage des plastiques dans les mélanges bitumineux	7
2	Plastique et déchets plastiques	9
2.1	Types et applications des plastiques	9
2.2	Quantités de production	11
2.3	Composition des déchets plastiques	15
3	(Déchets) plastiques dans l'enrobé	17
3.1	Comme matière première pour le bitume modifié	18
3.2	Comme additif ajouté dans le malaxeur, pour le pré-enrobage des granulats et pour la modification partielle du liant	20
3.3	Comme additif ajouté dans le malaxeur, en remplacement du granulat	20
4	Etat des lieux dans les cahiers des charges types	21
4.1	Bitume modifié aux polymères (PmB)	21
4.2	Mélange bitumineux avec déchets plastiques comme liant (PlmB)	22
4.3	Mélange bitumineux avec déchets plastiques comme granulat (PlgA)	23
5	Le plastique pour la modification du bitume	25
5.1	Production de bitume modifié avec des déchets plastiques recyclés	25
5.2	Production d'enrobé avec du bitume modifié aux déchets plastiques	27
5.2.1	Approvisionnement et transport	27
5.2.2	Stockage à la centrale d'enrobage	27
5.2.3	Production d'enrobé	27
5.2.4	Pose de l'enrobé	28
5.2.5	Phase d'utilisation de la route	28
5.2.6	Fin de vie/démolition de la route	28
5.3	Points d'attention primordiaux du PlmBA	29
6	Les plastiques comme additif dans l'enrobé	31
6.1	Possibilités	31
6.2	Aspects de la production des mélanges asphaltiques avec des déchets plastiques (PlcA)	31
6.2.1	Matériau/type de plastique	32
6.2.2	Transport et approvisionnement	32
6.2.3	Stockage à la centrale d'enrobage	33
6.2.4	Production d'enrobé	33
6.2.5	Pose de l'enrobé	34
6.2.6	Phase d'utilisation de la route	34

6.2.7 Fin de vie/démolition de la route	34
6.3 Points d'attention primordiaux dans la production de PlcA	35
7 Les plastiques comme granulats dans l'enrobé (PlgA)	37
7.1 Possibilités	37
7.2 Aspects de la production de PlgA	37
7.2.1 Le matériau/type de plastique	38
7.2.2 Transport et approvisionnement	38
7.2.3 Stockage à la centrale d'enrobage	38
7.2.4 Production d'enrobé	38
7.2.5 Pose de l'enrobé	39
7.2.6 Phase d'utilisation de la route	39
7.2.7 Fin de vie/démolition de la route	40
7.3 Points d'attention primordiaux dans la production de PlgA	40
8 Conclusions	41
Annexe 1	43
Annexe 2	47
Bibliographie	49
Acronymes utilisés	53

■ Liste des figures

Figure 2.1	Aperçu des types polymères	9
Figure 2.2	Les 3 principales catégories de plastiques	10
Figure 2.3	Aperçu des principaux types de polymères pour plastiques et de leurs applications	11
Figure 2.4	Options de traitement des déchets plastiques	12
Figure 2.5	Partage des méthodes de traitement des déchets plastiques collectés	13
Figure 2.6	Transformation des déchets plastiques en recyclats plastiques en Europe	14
Figure 3.1	Deux manières d'ajouter les déchets plastiques dans une centrale d'enrobage discontinue	17

Chapitre 1

Introduction

1.1 Objectif de ce document

Dans ce document, nous voulons établir, à partir d'une analyse du processus de production des enrobés, une évaluation exploratoire scientifiquement prouvée des possibilités et des limites du recyclage de certains *plastiques* dans les enrobés, sur la base des résultats et des conclusions des recherches (déjà effectuées par d'autres) et des expériences pratiques.

Naturellement, ce document est sujet à d'éventuelles nouvelles perspectives à l'avenir; il reflète la situation et le savoir-faire au moment de sa rédaction, c'est-à-dire début 2020.

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un nom scientifiquement correct, nous pensons que le lecteur comprend que la dénomination populaire de *plastique* inclut un très large éventail de matériaux provenant de l'industrie pétrochimique, fréquemment utilisés dans la vie quotidienne grâce à leurs propriétés bénéfiques telles qu'un faible coût, une apparence flexible et une résistance adéquate. Pour plus d'informations, consultez également le chapitre 2 de ce document.

Dans ce document, nous ne parlerons pas tant des nouveaux produits en plastique, mais plutôt de ces matériaux sous forme de déchets, les déchets plastiques.

1.2 Délimitation du domaine d'application: le recyclage des plastiques dans les mélanges bitumineux

Le fait que notre société consomme en permanence de grandes quantités de plastiques et que ces produits et matériaux finissent en déchets plastiques – parfois même après une très courte durée de vie, comme c'est le cas pour les matériaux d'emballage – qui doivent être traités afin d'éviter leur propagation dans la nature, nous a incités à envisager toutes sortes de possibilités pour leur recyclage.

Le secteur de la production de plastique en est le premier responsable et doit s'efforcer de boucler son propre cycle de matériaux en recyclant les déchets plastiques en matière première pour la production de nouveaux produits en plastique. Vous trouverez davantage de détails sur le matériau plastique au chapitre 2.

Outre le secteur de la transformation des matières plastiques, certains considèrent également le secteur de la construction routière comme une alternative possible pour l'utilisation de déchets plastiques dans diverses applications.

Nous citons entre autres les pistes d'action suivantes, qui ont chacune été entamées avec plus ou moins de succès.

- Application en tant que matériaux légers pour des remblais
En raison de la faible densité des plastiques par rapport aux granulats minéraux et au sol, il peut être intéressant d'utiliser des blocs de déchets de plastique compactés comme matériaux légers pour des remblais, par exemple comme mur de soutènement derrière des palplanches ou bien ancré, cf. Plastbloc® (Daudon, 1992). Cette méthode nécessite peu de prétraitement des déchets plastiques mais apporte également peu de valeur ajoutée; le matériau ressemble toujours à des déchets plastiques.

- Recyclage comme matière première pour des tubes en plastique, du mobilier urbain en plastique (poteaux, signalisation, etc.) ou même des structures de route entières, par exemple PlasticRoad, un concept de structure routière composée d'éléments modulaires en plastique (recyclé) (De Bock et al., 2019).

Cette méthode nécessite un prétraitement intensif des déchets plastiques, généralement aussi la sélection de certains types de plastiques ou seulement des monomatériaux, mais elle est de meilleure qualité car les déchets plastiques sont recyclés et transformés en grains ou en pellets qui servent de matière première pour la production de nouveaux plastiques.

- Utilisation dans des **mélanges bitumineux**: différentes pistes sont envisagées, allant d'un additif pour le liant ou d'un remplacement partiel du liant au remplacement partiel des granulats.
- Nous **traiterons uniquement de cette dernière piste dans ce document**. Nous nous limitons aux **revêtements bitumineux à chaud** et ne nous étendrons pas sur les variantes de mélanges tels que les mélanges préparés à froid (matériaux bitumineux coulés à froid - MBCF, mélanges à base de résine¹). Pour ces autres mélanges très spécialisés et dans une niche de marché restreinte, nous voyons en effet encore plus d'obstacles à cet égard.

Voici ce que l'on entend par revêtements bitumineux à chaud:

- les enrobés bitumineux sont fabriqués en centrale dans une gamme de température comprise entre 145 °C et 180 °C et ils sont constitués de granulats (sables et pierres), de filler et de bitume (Centre de Recherches Routières [CRR], 2002). Ils doivent être compactés lors de leur mise en œuvre, dans une certaine gamme de température (100 °C à 160 °C);
- l'asphalte coulé est préparé et mis en œuvre à très haute température (180 °C à 230 °C). Sa composition diffère de celle des enrobés bitumineux classiques par sa plus grande teneur en liant et en filler ainsi que par sa mise en œuvre qui ne nécessite pas de compactage.

Toutes ces pistes potentielles se trouvent seulement dans la phase d'idée ou sont expérimentales. Très peu d'entre elles sont déjà appliquées dans la pratique, mais des recherches sont menées dans plusieurs pays. L'objectif du présent document est d'expliquer cette situation, d'informer sur les possibilités et les limites, et de clarifier la position du secteur de la construction routière (bitumineuse) en Belgique.

1 A titre d'illustration, nous nous référons à un mélange à base de résine tel que récemment étudié dans le projet de recherche PERSUADE: les grains de caoutchouc (et aucun autre type de plastique) de pneus de voiture recyclés, qui remplacent partiellement les gravillons, sont liés à l'aide de polyuréthane (résine) dans un mélange lié à froid pour créer des revêtements routiers à faible niveau sonore. L'élasticité et l'impédance des particules de caoutchouc assurent un revêtement routier silencieux. Cette variante est encore en phase de recherche. Pour plus d'informations (Persuade, s.d.)

Chapitre 2

Plastiques et déchets plastiques

2.1 Types et applications des plastiques

Le terme «*plastiques*» est un nom collectif courant pour un groupe très vaste de divers matériaux qui peuvent varier considérablement en termes de caractéristiques et qui sont utilisés sous différentes formes dans notre vie quotidienne.

Les plastiques sont des matières synthétiques, souvent constituées de longues chaînes d'hydrocarbonés avec un poids moléculaire élevé: appelés les **polymères**. Les plastiques sont produits à partir de matières premières (monomères) obtenues dans l'industrie pétrochimique à partir de combustibles fossiles (pétrole et produits gazeux apparentés); seule une petite partie des plastiques est également produite à partir de matières premières organiques (végétales).

Les plastiques sont généralement très résistants à la dégradation et les déchets plastiques se décomposent très difficilement. Cependant, certains monomères pourraient également être utilisés comme composants pour produire des plastiques biodégradables.

Les polymères peuvent être classés en fonction de leur réaction de synthèse (par exemple addition/ élimination ou condensation), de leurs propriétés (p. ex. thermoplastiques, thermodurcissables, élastomères) ou de leur origine (naturelle/biologique vs. synthétique); voir figure 1 pour un aperçu schématique.

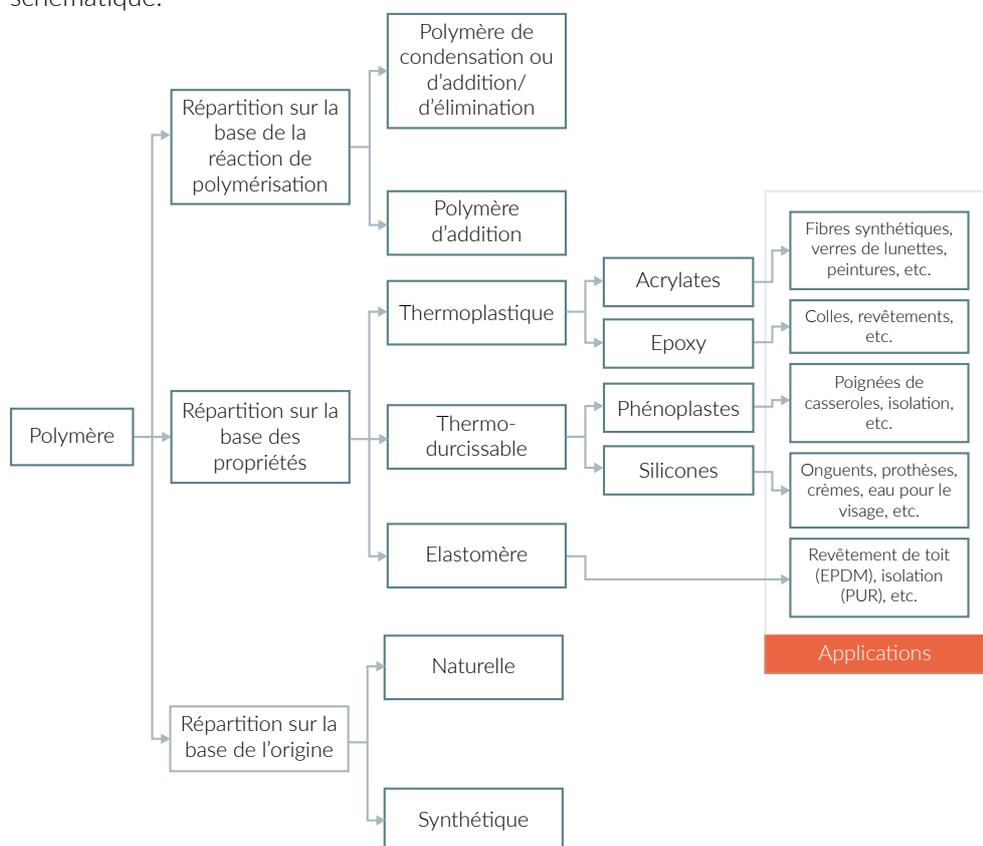


Figure 2.1 – Aperçu des types polymères (Source: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek [VITO], s.d.).



Le saviez-vous?

Le nom *plastiques* vient du terme anglais *thermoplastics* (FR: thermoplastiques, NL: thermoplasten), qui est un sous-groupe de plastiques comme indiqué à la figure ci-dessus.

Selon leurs caractéristiques thermiques, physiques et mécaniques, les plastiques peuvent être divisés en trois groupes ou catégories, à savoir les thermoplastiques ou les plastomères, les thermodurcissables et les élastomères. La figure 2 montre également la grande diversité dans la nature ou les types de matières plastiques.

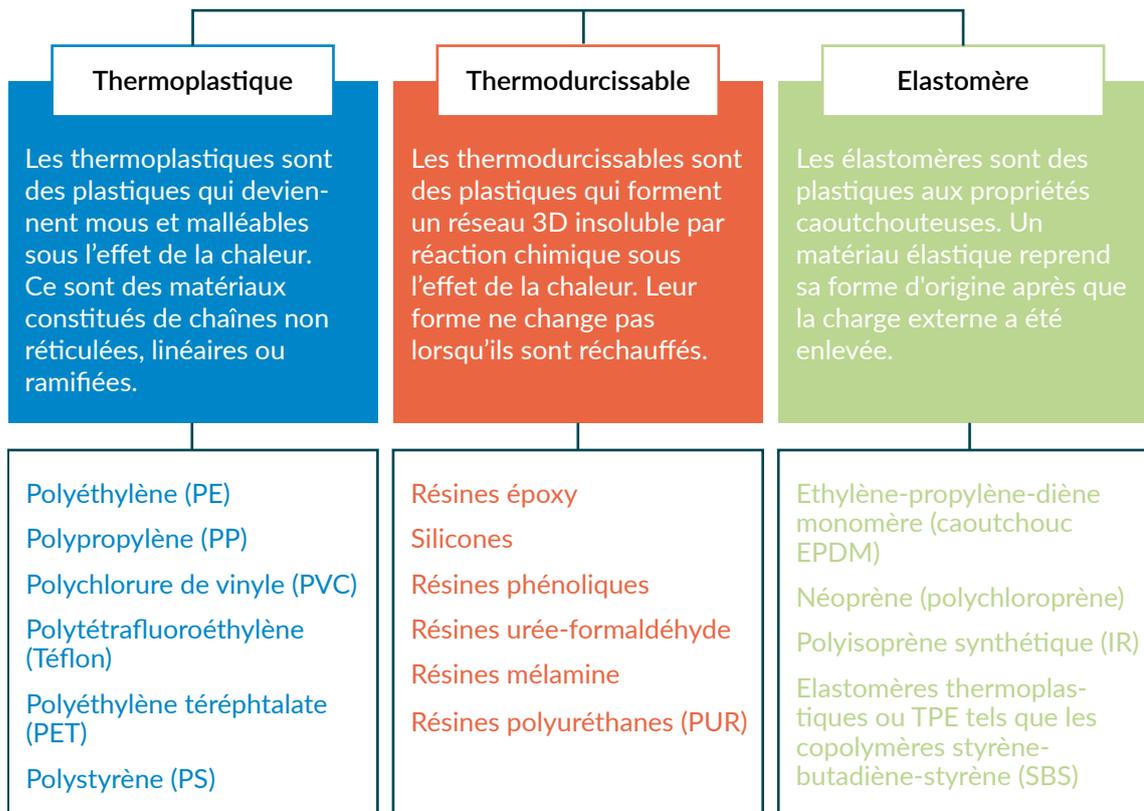


Figure 2.2 – Les trois principales catégories de plastiques et quelques exemples de polymères (d'après une figure dans la référence *PlasticsEurope & European Association of Plastics Recycling & Recovery [EPRO], 2018*).

Les élastomères thermoplastiques (TPE) constituent une sous-famille distincte. TPE est un nom collectif désignant les plastiques qui présentent un comportement élastique à température ambiante (avec un grand allongement réversible sous charge) et un comportement thermoplastique à chaud (ils sont souples et malléables). Ils s'opposent aux caoutchoucs «classiques» qui forment des ponts (réticulation chimique) entre les différentes chaînes de polymères pendant le processus de vulcanisation. Des réticulations physiques se produisent dans les matériaux TPE, qui sont perdues lorsqu'ils sont chauffés et reformées lorsqu'ils sont refroidis. Il s'agit d'un procédé réversible, contrairement aux réticulations chimiques permanentes des caoutchoucs «classiques» (élastomère thermoplastique, s.d.).

2.2 Quantités de production

En 2018, environ 359 millions de tonnes de plastiques ont été **produites** dans le monde², dont environ 17 % en Europe. Les producteurs européens ont transformé un total de 51,2 millions de tonnes de plastique (chiffres pour les 28 Etats membres de l'UE plus la Norvège et la Suisse) en matériaux utilisés dans divers secteurs: comme emballages (environ 40 % du tonnage total annuel), dans le secteur de la construction (20 %), dans l'industrie automobile (10 %), en équipement électrique et électronique (6 %), pour des équipements domestiques, de loisirs et sportifs (4 %), dans l'agriculture (3,5 %) et pour de nombreuses autres applications (16,6 %) (PlasticsEurope & EPRO, 2018, 2019).

La figure 3 reprend les principaux matériaux/polymères, leur part dans la production totale et leurs applications. Les six plastiques les plus couramment utilisés sont les suivants:

- **PP** = Polypropylène (principalement dans les emballages alimentaires, les tuyaux, les pièces automobiles, les billets de banque, etc.);
- **PE** = Polyéthylène, d'une part en faible densité (pour les films et sacs d'emballage) et d'autre part en moyenne/haute densité (pour les jouets, les appareils électroménagers, les tuyaux, les emballages de lait et de shampooing);
- **PVC** = Polychlorure de vinyle (pour profilés de fenêtres, tuyaux, isolation de câbles, tuyaux d'arrosage, etc.), PUR = Polyuréthane (pour l'isolation des bâtiments, les matelas, la mousse isolante, etc.);
- **PUR** = polyuréthanes (pour plaques isolantes en construction, matelas, mousse isolante, etc.)
- **PET** = Polyéthylène téréphtalate (pour les bouteilles d'eau et de boissons gazeuses, les produits d'entretien, etc.);
- **PS, EPS** = Polystyrène, polystyrène expansé (pour les montures de lunettes, les gobelets, l'isolation des bâtiments, etc.).

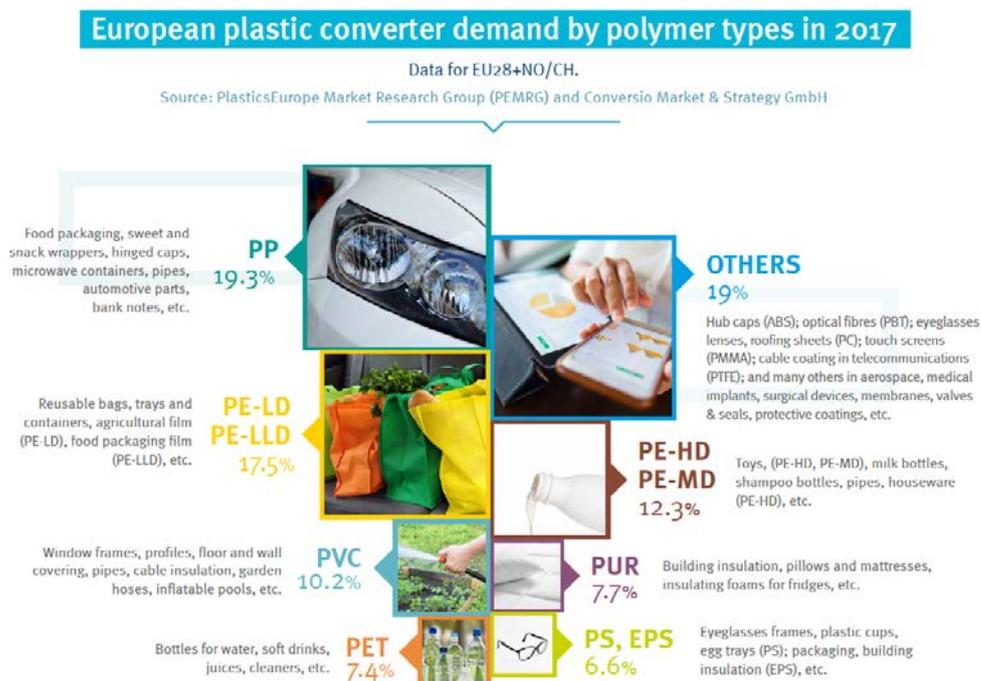


Figure 2.3 – Aperçu des principaux types de polymères pour plastiques et de leurs applications
(Source: www.plasticseurope.org PlasticsEurope & EPRO, 2018)

2 Chiffres de Plasticseurope.org, y compris les thermoplastiques, le polyuréthane, les thermodurcissables, les élastomères, les adhésifs, les enduits et matériaux d'étanchéité et les fibres de polypropylène, mais à l'exception des fibres PET, de polyamide et polyacryliques. (PlasticsEurope & EPRO, 2019)

A la fin de leur durée de vie, les produits fabriqués à partir de plastique deviennent des déchets. Comme tous les déchets, les **déchets plastiques** doivent être collectés et traités correctement, ce qui mène à (de la méthode de traitement la plus recommandée à la moins conseillée) la réutilisation, le recyclage, l'incinération avec ou sans récupération d'énergie, le dépôt dans une décharge contrôlée. La figure 4 donne un aperçu des possibilités de traitement des déchets plastiques.

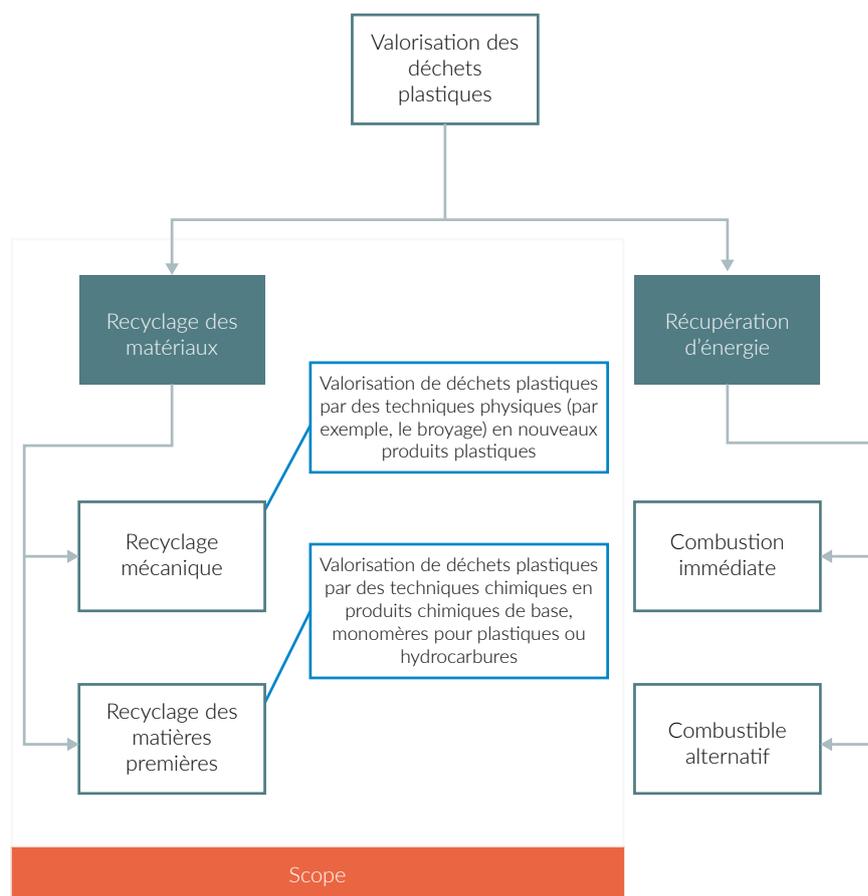


Figure 2.4 – Options de traitement des déchets plastiques (Source: VITO, s.d.)

Le recyclage mécanique est davantage adapté aux flux monomatériaux; le recyclage en matières premières (*feedstock recycling*) ou chimique est, tout comme la récupération d'énergie, plus approprié pour les flux multimatériaux comme les déchets plastiques mixtes³ et les matériaux contaminés ou complexes car le recyclage mécanique est trop difficile dans ce cas (Moerman, 2018 ; Processing of mixed plastic, 2018). Le recyclage chimique des déchets plastiques n'en est encore qu'à ses débuts et n'est actuellement pas un remède miracle (Vanhoutte, 2020).

3 Dans le cadre de son projet plastic2chemicals, Indaver NV expérimente de nouvelles techniques de recyclage moléculaire chimique et thermique: grâce à une technique de dépolymérisation, les molécules du plastique sont décomposées en plus petites chaînes d'hydrocarbures qui fournissent des matières premières de haute qualité (chemical feedstock) pour l'industrie chimique. Une installation pilote a été mise au point en collaboration avec l'UGent et est opérationnelle depuis fin 2017. D'ici 2021, Indaver NV souhaite que la première usine de démonstration avec une capacité de 15 kilotonnes par an soit opérationnelle, avant de l'étendre à 10 usines (de 100 kilotonnes/an chacune) réparties en Europe. Source: référence (Moerman, 2018). .

La durée de vie de certains plastiques peut être longue (plusieurs années, p. ex. dans les voitures ou les bateaux) ou très courte (p. ex. les matériaux d'emballage à usage unique⁴ ou les gobelets en plastique). Cela signifie qu'il n'y a pas de corrélation univoque entre les chiffres de la production annuelle et les quantités de déchets.

Il est très difficile de chiffrer la quantité de déchets plastiques produits au cours d'une période donnée, précisément parce que la durée de vie des plastiques est très variable et que certains de ces déchets sont abandonnés dans notre environnement sans avoir été collectés.

Selon la fédération des producteurs européens de matières plastiques, *PlasticsEurope*, dans les 28 Etats membres de l'UE plus la Norvège et la Suisse, 29,1 millions de tonnes de déchets plastiques ont été **collectés** en 2018.

Pour une population d'environ 530 millions de personnes pour le total de ces 30 pays européens, cela correspond à peu près à une moyenne de 52 kg de déchets plastiques collectés par personne.

Bien plus de la moitié de cette masse de déchets plastiques est collectée par le biais de la collecte sélective des déchets (comme le tri des PMC dans les ménages ou le tri sélectif des plastiques durs et des déchets d'équipements électriques et électroniques (en anglais abrégé WEEE, *Waste Electrical and Electronic Equipment*) dans les entreprises et les parcs à conteneurs), l'autre moitié est constituée de déchets mixtes non triés de manière sélective (comme les déchets résiduels des ménages et les déchets commerciaux; la part des plastiques dans ces déchets est d'environ 2 à 8 % en masse) (PlasticsEurope, 2019).

Ces déchets collectés ont été traités comme suit (figure 5):

- 31 % pour le recyclage (dans et en dehors de l'UE);
- 42 % par incinération (principalement avec récupération d'énergie); et
- 27 % par le dépôt en décharge.



Figure 2.5 – Partage des méthodes de traitement des déchets plastiques collectés (Source: *PlasticsEurope* & *EPRO*, 2018)

4 L'UE a rédigé en 2019 une nouvelle Directive pour restreindre l'utilisation des plastiques à usage unique: «Directive (UE) 2019/904 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 relative à la réduction de l'incidence de certains produits en plastique sur l'environnement». Voir aussi «European strategy for plastics» (Directive (UE) 2019/904, 2019) (European Commission [EC], 2019).

En ce qui concerne les déchets de plastique utilisé comme **matériau d'emballage** (ils font partie de l'ensemble des produits plastiques ayant une durée de vie relativement courte), il est estimé qu'en moyenne presque un tiers des déchets d'emballages plastiques dans le monde ne sont pas collectés, mais sont abandonnés dans notre environnement bâti et dans la nature (les chiffres varient de 2 % pour l'Europe et l'Amérique du Nord à 80 % pour l'Asie et l'Afrique) (World Economic Forum, et al., 2016). Seulement 14 % en moyenne des plastiques d'emballage à l'échelle mondiale (en 2013, 78 millions de tonnes de plastique ont été produites à cet usage) sont collectés après leur utilisation pour être recyclés, alors que 32 % disparaissent dans des dépôts sauvages qui polluent l'environnement et la nature, 40 % finissent dans une décharge et 14 % sont incinérés avec ou sans récupération d'énergie.

Sur les 9,4 millions de tonnes de déchets plastiques post-consommation envoyés dans des usines de recyclage en 2018 dans les 30 pays européens (UE-28 + Norvège et Suisse) après leur collecte, environ 20 % ont été exportés hors d'Europe et environ 4,9 millions de tonnes ont été converties en recyclat, qui est utilisé comme alternative aux matières premières primaires (fossiles) pour produire de nouveaux plastiques, (figure 6).

WHAT IS THE OUTPUT OF RECYCLATES FROM THE RECYCLING PROCESS?

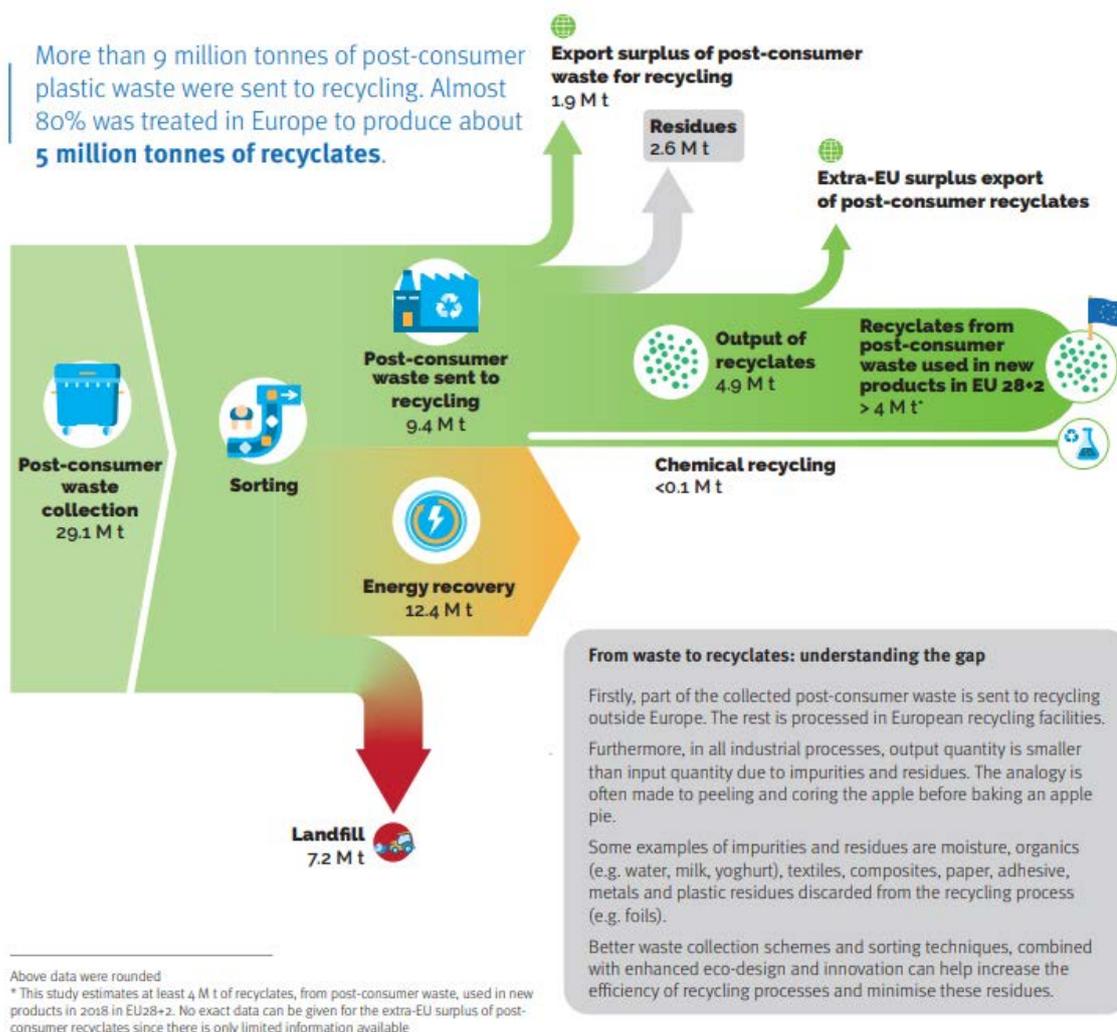


Figure 2.6 – Transformation des déchets plastiques en recyclats plastiques en Europe (source: PlasticsEurope, 2019)

Le recyclat ne doit pas être confondu avec les déchets plastiques (non transformés). Le recyclat de plastique est le produit intermédiaire fabriqué par l'industrie de transformation du plastique à partir de déchets plastiques purifiés collectés, qui (sous forme de pellets) sert de matière première pour la production de nouveaux plastiques (économie circulaire, le cycle des plastiques), comme alternative aux nouveaux polymères. En fonction du degré de tri des déchets plastiques d'origine, le recyclat sera constitué (dans le cas d'un tri sélectif très poussé des déchets plastiques) d'un seul type de plastique ou (dans tous les autres cas) d'un mélange de plusieurs types de polymères. Dans ce dernier cas, ce matériau contient encore les hétérogénéités déjà présentes dans les déchets plastiques d'origine, y compris les additifs. Ainsi, le recyclat constitue simplement une amélioration par rapport aux déchets plastiques d'origine dans la mesure où sa forme physique (pellets ou granulés) permet un mode d'administration plus simple (dosage, forme plus homogène, etc.). Les autres points d'attention comme expliqué plus loin dans ce document (mélange de différents plastiques ou polymères de type plastomères au lieu d'élastomères, des additifs qui compliquent le recyclage, incompatibilité avec des températures élevées lors de la production d'enrobé, etc.) restent à l'ordre du jour.

Le recyclage du plastique comme matière première pour de nouveaux plastiques est principalement utilisé dans les secteurs de la construction, de l'agriculture et de l'emballage. Les taux de recyclage les plus élevés (le recyclage comme matière première par rapport aux matières premières fossiles primaires pour les plastiques) sont appliqués dans les plastiques agricoles (20 % de recyclage) et la construction (14 % de recyclage), dans les autres applications, ce taux est inférieur à 5 % (Plastics-Europe, 2019).

Ces applications dans la construction concernent principalement l'utilisation des plastiques pour les conduites et tuyaux, ainsi que pour le mobilier routier en plastique.

2.3 Composition des déchets plastiques

Étant donné la grande variation des différents types de matières plastiques produites (§ 2.1), les déchets plastiques présentent également une variation de composition tout aussi grande.

De plus, les plastiques eux-mêmes ne sont pas des substances «pures», ils contiennent souvent, outre le polymère typique, de nombreuses autres substances telles que des additifs fonctionnels, comme des plastifiants, des stabilisateurs UV, des retardateurs de flamme, des antistatiques, des pigments (de couleur), des fillers, etc.

Les additifs utilisés pour obtenir une fonction ignifuge sont souvent à base de composés bromés. Les additifs qui sont ajoutés comme plastifiants peuvent former une (très) grande partie de la matière plastique (par exemple, dans certains cas pour le PVC, la teneur en plastifiant peut atteindre 30 %), afin d'obtenir une matière plastique souple à température ambiante (un tuyau d'arrosage p. ex.). L'exemple le plus connu d'un plastifiant fréquemment utilisé est la famille chimique des phtalates ou des esters d'acide phtalique. En raison des risques sanitaires connus liés à l'exposition à ces composés, leur utilisation est de plus en plus restreinte ou interdite en Europe.

C'est justement la grande diversité dans la composition, et donc aussi dans les caractéristiques, qui pose problème pour un recyclage réussi.

Chapitre 3 (Déchets) plastiques dans l'enrobé

Comme nous l'avons déjà introduit au § 1.2, dans plusieurs pays, l'accent est mis sur l'application «enrobé» pour déterminer si les déchets plastiques peuvent y être traités. Différentes pistes sont envisagées (Chin & Damen, 2019).

Le recyclage de déchets plastiques dans la construction des routes, et en particulier dans les revêtements bitumineux à chaud, pourrait être réalisé selon deux différents procédés, appelés «procédé par voie humide» d'une part et «procédé par voie sèche» d'autre part. A la figure 7, le procédé par voie humide est désigné par le parcours «d», le procédé par voie sèche par le parcours «e» (Brasileiro, et al. 2019).

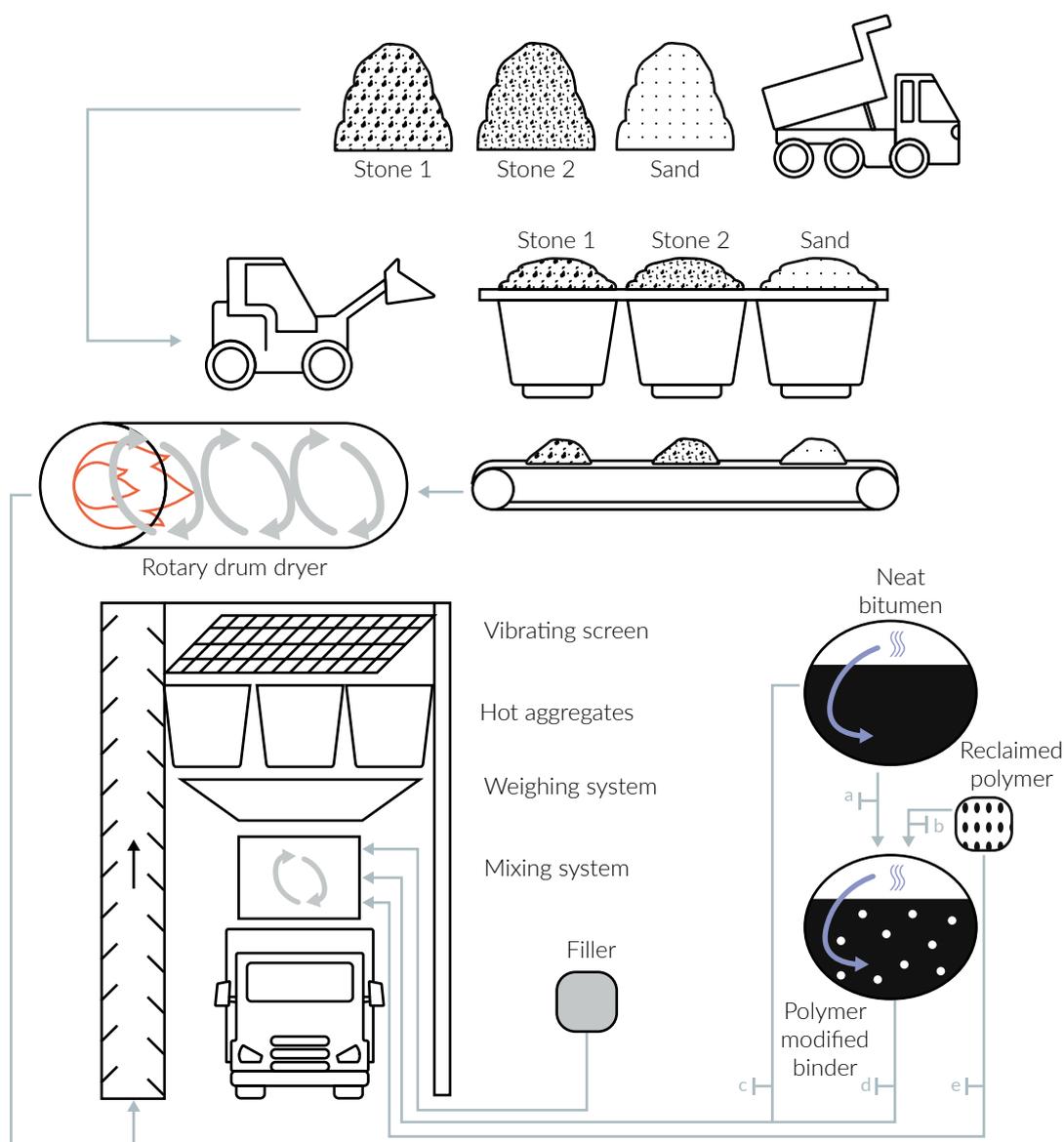


Figure 3.1 - Deux manières d'ajouter les déchets plastiques dans une centrale d'enrobage discontinue.
(vers Brasileiro et al., 2019)

- Le procédé par voie humide

Dans ce procédé par voie humide, le déchet plastique solide est mélangé mécaniquement et intimement au bitume. Ce procédé de modification du bitume avec des plastiques recyclés est réalisé en usine chez le fabricant de «bitume modifié». Ce mélange de déchet plastique et de bitume, fabriqué en usine via le procédé par voie humide, peut donc être considéré comme un bitume «prêt à l'emploi» modifié avec des déchets plastiques (ci-après abrégé en **PImB** = bitume modifié par des déchets plastiques).

Si ces derniers sont utilisés pour fabriquer un revêtement bitumineux à chaud, on parlera alors de revêtement bitumineux à chaud modifié par des plastiques (ci-après abrégé en **PImBA**). Veuillez vous référer au § 3.1 et au chapitre 5 pour plus de détails.

- Le procédé par voie sèche

Dans ce procédé par voie sèche, lors de la fabrication du revêtement bitumineux à chaud, le déchet plastique solide est ajouté directement dans le malaxeur de la centrale d'enrobage, avec les autres composants du mélange bitumineux (liant routier, granulats, sables, filler, etc.).

Ce mélange de déchet plastique et de tous les autres composants du revêtement bitumineux, réalisé en centrale d'enrobage, portera le nom de:

- **PlcA**, c'est un mélange asphaltique avec l'incorporation de déchets de plastiques comme liant; veuillez vous référer au § 3.2 et au chapitre 6 pour plus de détails;
- **PlgA**, c'est un mélange asphaltique avec l'incorporation de déchets de plastiques comme granulats; veuillez vous référer au § 3.3 et au chapitre 7 pour plus de détails.

3.1 Comme matière première pour le bitume modifié

Les bitumes modifiés sont des bitumes dont les caractéristiques rhéologiques ont été modifiées lors de la production au moyen d'un produit chimique conformément à la norme NBN EN 12597 (Bureau de Normalisation [NBN], 2014) ou comme décrit dans la bibliographie (Hunter, et al., 2015).

Les besoins de modification du bitume et des revêtements bitumineux à chaud proviennent des sollicitations sans cesse changeantes et croissantes de notre réseau routier. Les bitumes modifiés aux polymères (abrégé en **PmB**) sont une catégorie à part des bitumes modifiés, il s'agit de bitumes modifiés dans lequel le modificateur utilisé est un, ou plusieurs polymères organiques (élastomères, plastomères).

La modification du bitume a pour but d'améliorer une ou plusieurs caractéristiques:

- amélioration de la résistance aux déformations permanentes;
- amélioration de la cohésion;
- diminution de la susceptibilité thermique;
- augmentation des capacités d'allongement (retour élastique selon la norme EN 13398 (Bureau de Normalisation [NBN], 2018));
- amélioration de l'adhésivité passive (impliquant une meilleure résistance au désenrobage sur la chaussée);
- moindre vieillissement (moindre oxydation), suite aux étapes de fabrication et de mise en œuvre du revêtement bitumineux.

En Belgique, ces bitumes modifiés aux polymères (PmB) sont fabriqués en usine (par voie humide) et prêts à l'emploi (§ 4.1). Les polymères utilisés dans l'industrie routière belge pour ce type de bitume «prêt à l'emploi» sont exclusivement des polymères à caractère élastomérique, et plus spécifiquement des copolymères bloc poly(styrène-butadiène-styrène) (**SBS**), dans une proportion typique de 3 %-m (maximum 5 %-m dans certains cas extrêmes).

L'utilisation de bitume modifié aux polymères en Belgique a augmenté ces dernières années: selon le rapport annuel de 2018 de l'Organisme impartial de contrôle de produits pour la construction (COPRO), la quantité de PmB (certifié par COPRO) est passée d'environ 40 000 tonnes en 2003 à environ 75 000 tonnes en 2017 et même à environ 80 000 tonnes en 2018 (COPRO, 2019). Au cours de la même période, la consommation de bitume routier ordinaire a nettement moins augmenté: d'environ 190 000 tonnes en 2003 à environ 210 000 tonnes en 2018 (avec un pic apparent d'environ 260 000 tonnes en 2017).

Selon les statistiques de l'European Asphalt Pavement Association (EAPA), la consommation de bitume dans l'industrie routière belge en 2018 était d'environ 220 000 tonnes, dont 32 % de bitume modifié. Au cours des années précédentes (2014-2017), ce rapport a varié entre 25 % et 37 % de bitume modifié (European Asphalt Pavement Association [EAPA], 2020).

En supposant une concentration moyenne de 4 % de polymère (SBS) dans le PmB, cela correspond à environ 3 200 tonnes de polymère consommées annuellement pour produire environ 80 000 tonnes de PmB.

En Belgique, le choix a été fait d'exclure l'utilisation d'un plastomère pour fabriquer un PmB, mais d'opter pour un élastomère uniquement. Consultez la figure 2 pour de plus amples informations sur les élastomères, et le § 4.1 pour de plus amples informations sur le choix des polymères pour le PmB.

Les élastomères sont donc utilisés pour fabriquer un PmB et ils permettent d'atteindre les spécifications établies dans les cahiers des charges et plus spécifiquement un **taux d'élasticité** d'au minimum 60 % (à 25 °C, selon la norme EN 13398 [NBN, 2018]) pour le PmB le plus couramment utilisé (type 45/80-50).

La fabrication de ce type de PmB avec du SBS nécessite un équipement spécifique dont un mélangeur à cisaillement élevé (appelé en anglais *high shear mixer*) pour obtenir des mélanges homogènes et stables en termes de dispersion du polymère au sein du bitume. La compatibilité entre le polymère et le bitume est donc un élément clé pour favoriser la formation d'un «réseau polymère» diffus et stable au sein du bitume. Le stockage de ce type de PmB, fabriqué en usine, par le procédé par voie humide, est une étape très importante pour conserver un mélange homogène et performant:

- le PmB doit être stocké dans des réservoirs spécifiques (avec un système d'agitation) pour éviter la ségrégation ou la séparation de phase;
- pour améliorer la stabilité du PmB, le contenu de la cuve doit être maintenu à une température adéquate et suffisante (elle sera fonction de la nature du polymère).

Si l'on souhaite utiliser un système similaire (selon le procédé par voie humide) pour modifier un bitume avec des polymères qui sont contenus dans les déchets plastiques, nous parlerons de bitume modifié avec des déchets plastiques (**PlmB**). Si le revêtement bitumineux à chaud est ensuite lié avec ce bitume, nous parlerons alors de revêtement bitumineux à chaud modifié par des plastiques (**PlmBA**).

L'utilisation de ces déchets plastiques, pour fabriquer un PlmB, suppose une offre suffisante, avec des caractéristiques constantes dans le temps et homogènes. Les contraintes de fabrication et de stockage des PmB décrites ci-dessus, seront également applicables pour les PlmB, pour obtenir au final un produit conforme aux spécifications des cahiers des charges (**Annexe 1**), stable et homogène.

Veillez vous référer au chapitre 5 pour plus de détails.

3.2 Comme additif ajouté dans le malaxeur, pour le pré-enrobage des granulats et pour la modification partielle du liant

Les liants bitumineux routiers, et par conséquent les revêtements bitumineux à chaud, peuvent être améliorés au moyen d'additifs.

Ces additifs sont introduits dans le mélange bitumineux lors de sa fabrication en centrale, ajoutés dans le malaxeur via une installation adaptée (procédé par voie sèche).

Durant cette étape de malaxage, les additifs devront pré-enrober les fractions granulaires du mélange mais également (si possible) former un «liant homogène» avec le bitume routier. Cela ne pourra avoir lieu que si le bitume est compatible avec l'additif, de sorte que la fusion⁵ de cet additif et du mélange puisse se faire à la température de production du revêtement bitumineux.

Ce procédé par voie sèche présente un risque plus important que le procédé par voie humide (méthode du bitume «prêt à l'emploi»).

En Belgique, un additif pour liant bitumineux routier utilisé pour la fabrication d'asphaltes coulés, est le copolymère éthylène/acétate de vinyle (**EVA**). Il s'agit d'un polymère à caractère plastomérique.

L'utilisation d'autres polymères comme additifs dans l'enrobé n'est pas courante.

Nous parlons pour cette piste de **PICA**, c'est-à-dire un mélange asphaltique avec incorporation de déchets plastiques comme additif liant qui recouvre partiellement les granulats.

Veillez vous référer au chapitre 6 pour plus de détails.

3.3 Comme additif ajouté dans le malaxeur, en remplacement du granulat

L'ajout de particules de déchets plastiques dans le malaxeur de la centrale d'enrobage selon le procédé par voie sèche peut être considéré comme une potentielle application avec la fonction de (substitut de) granulat dans l'enrobé.

Dans ce cas, le plastique ne fait pas office de liant, mais seulement de granulat inerte.

Nous parlons de **PIGA**, c'est-à-dire un mélange asphaltique avec incorporation de déchets plastiques en tant que granulat.

La forme géométrique des particules de déchets plastiques est évidemment une propriété importante, qui doit correspondre à celle des granulats classiques que ces particules remplacent, à savoir le sable ou les gravillons. Outre la forme des grains, les granulats sont soumis à d'autres exigences géométriques et physico-mécaniques telles que l'angularité, le coefficient d'aplatissement, le coefficient de polissage accéléré, les valeurs Los Angeles et micro-Deval, etc. (Bureau de Normalisation [NBN], 1996-2005, 2002/2004) qui sont d'une grande importance pour les couches de roulement en phase d'utilisation de la route.

Veillez vous référer au chapitre 7 pour plus de détails.

⁵ Ce terme est utilisé pour indiquer le passage de l'état solide à l'état liquide avec la montée en température.

Chapitre 4

Etat des lieux dans les cahiers des charges types

Avant d'aborder plus en détail les aspects techniques des trois différentes options de traitement des déchets plastiques dans les revêtements bitumineux à chaud (chapitres 5, 6 et 7), il est bon de faire le point sur la situation actuelle des cahiers des charges types régionaux pour la construction routière en Belgique.

Les cahiers des charges types régionaux sont élaborés en concertation entre les administrations routières et les experts techniques de ce secteur (centres de recherche, entrepreneurs, concepteurs, etc.) et intègrent un compromis entre ce qui est scientifiquement et techniquement possible et ce qui relève des bonnes pratiques.

4.1 Bitume modifié aux polymères (PmB)

Le bitume modifié aux polymères (PmB) est une combinaison de bitume, de polymères et d'additifs.

Les trois cahiers des charges types (SB 250 (Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], 2019), CCT Qualiroutes (Service Public de Wallonie [SPW], Direction Générale Opérationnelle des Routes et des Bâtiments [DG01], 2020) et CCT 2015 (Bruxelles Mobilité, 2016)) autorisent le bitume modifié aux polymères, mais uniquement à base de polymères **neufs**, non recyclés à partir de déchets plastiques.

Les PmB sont certifiés en Belgique par COPRO («*Notified Body*») sur la base du TRA55 (4.0) «Règlement d'application pour bitumes modifiés par des polymères utilisés dans la construction routière» (COPRO, 2012).

Actuellement, la certification est obligatoire en Flandre, mais pas en Wallonie.

En Belgique, conformément aux trois cahiers des charges types régionaux:

- un bitume polymère neuf est un bitume fabriqué en usine et prêt à l'emploi. Il consiste en une dispersion homogène constituée en partie largement prépondérante (> 90 % en masse) de bitume de pétrole et en partie restante d'un ou plusieurs polymères neufs à caractère élastomérique et/ou plastomérique. Les bitumes polymères neufs répondent aux prescriptions de la NBN EN 14023 (Bureau de Normalisation [NBN], 2010). **L'annexe 1** donne un aperçu des spécifications des bitumes polymère(s) neuf(s) utilisées dans les trois Régions.
- Les bitumes routiers auxquels un additif est ajouté à la centrale d'enrobage lors de la fabrication de l'enrobé ne sont pas considérés comme des bitumes modifiés aux polymères «neufs». Ils sont appelés des bitumes avec additifs **L'annexe 2** donne un aperçu des spécifications des additifs pour liant et des applications possibles pour les bitumes avec additifs utilisées dans les trois Régions.

La norme NBN EN 14023 (NBN, 2010) pour les bitumes PmB mentionnée ci-dessus est applicable aux bitumes modifiés par un élastomère ou un plastomère. Cette norme de produit, établie comme un cadre de prescriptions, ne fait pas de distinction explicite entre les deux groupes de polymères. En outre, aucune description spécifique n'est donnée en ce qui concerne la nature ou le type possible de modification des polymères. La norme NBN EN 14023 (NBN, 2010) laisse donc intrinsèquement une grande liberté dans le choix du polymère utilisé pour la modification du bitume.

Malgré cette liberté, les autorités routières régionales en Belgique ont fait une sélection réfléchie parmi les propriétés (performantielles) possibles énumérées dans les tableaux 1 et 2 inclus de la norme NBN EN 14023 (NBN, 2010). En effet, les cahiers des charges standard respectifs précisent toujours une valeur minimale pour le retour élastique à 25° C pour les 3 classes de PmB utilisées en Belgique. La valeur la plus basse est de 60 % correspondant à un PmB de la classe 45/80-50. Pour atteindre cette valeur de 60 %, la modification doit être effectuée à l'aide d'un élastomère et les plastomères sont exclus dans la pratique. Ce choix conscient est basé, d'une part, sur des années de bonne expérience avec le PmB modifié avec des élastomères et, d'autre part, sur la conviction que la modification avec des élastomères augmente considérablement la qualité en termes de performance et donc la durée de vie du revêtement bitumineux, compte tenu de la charge de trafic très élevée sur le réseau routier belge.

En conséquence, si les cahiers des charges prescrivent un bitume polymère neuf comme type de liant pour la fabrication d'un revêtement bitumineux à chaud, l'emploi de bitumes modifiés avec des déchets plastiques (**PlmB**) ne sera pas autorisé puisque les déchets plastiques ne sont pas considérés comme des polymères neufs mais bien comme des polymères recyclés.

Si l'on souhaite tout de même étudier les possibilités d'utilisation des déchets plastiques recyclés dans les enrobés, il faut penser au-delà de la pratique actuelle des cahiers des charges types existants.

Etant donné que la production de bitume polymère est déjà un travail spécialisé lors de l'utilisation de polymères neufs, le traitement de polymères appropriés à base de déchets plastiques n'est certainement pas une chose évidente.

4.2 Mélange bitumineux avec déchets plastiques comme liant (PlmB)

Dans le cas d'additifs introduits dans le malaxeur de la centrale d'enrobage, il n'y a aucune exigence explicite concernant la nouveauté des polymères, ce qui pourrait ouvrir la possibilité de travailler avec des polymères recyclés provenant de déchets plastiques, en les considérant comme un additif au bitume routier pour enrobé; on parle alors de bitumes avec additif(s).

Les dispositions des cahiers des charges types sont très vagues et laissent beaucoup de place à l'approche (innovante) de l'entrepreneur/du producteur d'enrobé ou d'additifs (référence aux spécifications en informations dans la fiche technique applicable).

En Belgique, conformément aux deux cahiers des charges types régionaux (SPW, DG01, 2020 ; Bruxelles Mobilité, 2016), les liants bitumineux routiers peuvent être améliorés au moyen d'additifs (**Annexe 2**) tels que:

- des polyoléfines: il s'agit de fibres synthétiques obtenues à partir de polymères hydrocarbonés présentant plusieurs spécifications;
- de l'asphalte naturel: il s'agit d'un mélange d'origine naturelle de bitume et de matériaux fins qui est présent dans des dépôts naturels et qui est traité pour éliminer les composants indésirables tels que l'eau et les matières végétales. Il répond aux prescriptions de la NBN EN 13108-4 (Bureau de Normalisation [NBN], 2016/2017);
- des polymères en forme de granulés (conformes aux spécifications mentionnées dans la fiche technique du fournisseur).

On parle alors de bitumes avec additif(s). Ces additifs sont introduits dans le mélange bitumineux lors de sa fabrication en centrale. Les documents du marché fixent le type de bitume de base, l'additif utilisé et sa proportion dans le liant.

Conformément au cahier des charges types (Annexe 2):

- CCT Qualiroutes (SPW, DG01, 2020), ces liants avec additif(s) peuvent être utilisés dans les asphaltes coulés, les enrobés à squelette sableux, les enrobés à squelette pierreux de type SMA, les enrobés drainants-PA et les enrobés à module élevé-EME.
- CCT de la RBC (Bruxelles Mobilité, 2016), ces liants avec additif(s) de type polyoléfinés pourraient être utilisés dans les enrobés à squelette sableux, les enrobés à squelette pierreux de type SMA et les enrobés à module élevé-EME. En ce qui concerne les additifs de type polymère (à caractère plastomérique exclusivement), ils seront utilisés comme additifs pour bitumes routiers uniquement dans le cadre de la fabrication d'asphalte coulé.
- SB 250 (Vlaamse Overheid, AWV, 2019), pour l'asphalte coulé (type GA = *gietasfalt*)⁶ utilisé comme:
 - Revêtements (GA-C, GA-D et GA-E), les documents du marché indiquent quel type de liant utiliser;
 - Etanchéité (GAA-E), c'est l'entrepreneur qui choisit le type de liant;
 - Couche de protection (GAB-D), c'est l'entrepreneur qui choisit le liant⁷.

À l'heure actuelle, le SB 250 (Vlaamse Overheid, AWV, 2019) n'autorise pas les déchets plastiques en tant qu'additif, car ce matériau n'est pas inclus dans la liste des matériaux décrite au Chapitre 3. Seule l'utilisation de nouveau plastomère (par exemple EVA) est mentionnée pour une utilisation avec de l'asphalte coulé. Les chapitres 6 et 14 décrivent également l'utilisation de liants contenant des additifs pour certaines applications avec de l'asphalte coulé (voir **Annexe 2**). D'éventuels essais et/ou chantiers pilotes doivent être effectués conformément aux conditions décrites au paragraphe 2.3 «Possibilités d'extension» du chapitre 3 du SB 250.

En conséquence, si les cahiers des charges prescrivent un bitume avec additifs comme type de liant pour la fabrication d'un revêtement bitumineux à chaud, les déchets plastiques qui seront utilisés comme additifs devront, d'une part, être conformes aux spécifications établies dans les cahiers des charges types régionaux; et d'autre part, permettre la fabrication d'enrobés bitumineux conformes aux exigences de ces mêmes cahiers des charges.

4.3 Mélange bitumineux avec déchets plastiques comme granulats (PIgA)

Dans les cahiers des charges types existants en Belgique, les granulats utilisés comme matière première pour l'enrobé sont d'une part les gravillons et le sable d'origine naturelle, et d'autre part des granulats recyclés (p. ex. agrégats d'enrobés bitumineux) et/ou artificiels (p. ex. scories), mais il n'est jamais question de granulats issus de déchets plastiques.

6 Asphalte coulé: il s'agit d'un type d'enrobé avec une forte teneur en filler et de bitume (mélange du type squelette de filler) avec un certain nombre de conditions de production spécifiques (températures plus élevées etc.) et des malaxeurs d'asphalte coulé spécifiques. La production d'asphalte coulé nécessite donc des connaissances spécifiques.

7 Si aucun choix n'est fait, alors le choix standard du tableau 6-2-7 du SB 250 doit être appliqué. (Vlaamse Overheid, AWV, 2019)

Chapitre 5

Le plastique pour la modification du bitume

Dans ce chapitre, nous analysons la production de revêtement bitumineux à chaud, à partir de la pratique actuelle dans l'industrie des enrobés, et nous analysons les possibilités et les limites de l'utilisation des déchets plastiques, plus spécifiquement pour modifier le bitume en tant que liant dans l'enrobé.

5.1 Production de bitume modifié avec des déchets plastiques recyclés

Comme introduit au § 3.1, le bitume utilisé comme liant dans l'enrobé peut être modifié en le mélangeant intensément avec un modificateur de type polymère. La compatibilité entre le polymère et le bitume permet de créer une matrice polymère (Kalantar, et al., 2012).

Dans la pratique, il n'existe qu'un nombre très limité de polymères adaptés et pour lesquels l'expérience a été acquise, comme c'est le cas du copolymère bloc poly(styrène-butadiène-styrène), ou SBS (Choquet, 1984 ; Choquet & Ista, 1990).

Comme expliqué au § 4.1, selon les cahiers des charges types, les conditions d'utilisation du bitume modifié comme liant dans l'enrobé sont les suivantes:

- Le bitume polymère est produit dans une usine de liants à base de polymères «neufs» et est livré prêt à l'emploi à la centrale d'enrobage.
- Le bitume polymère répond aux exigences de la norme NBN EN 14023 (NBN, 2010), comme expliqué à l'**Annexe 1** pour les trois cahiers des charges types.

Il n'est pas possible d'utiliser des polymères recyclés à partir de déchets plastiques, car ils ne sont pas considérés comme des polymères «neufs».

Si l'on souhaite tout de même étudier les possibilités d'utilisation des déchets plastiques recyclés dans le bitume, il faut penser au-delà de la pratique actuelle des cahiers des charges types.

Etant donné que la centrale d'enrobage normale n'est pas suffisamment équipée pour produire un PmB ou un PlmB, cela repose sur le savoir-faire spécialisé du **producteur de liant** (exceptionnellement, un producteur d'enrobé peut être équipé d'une unité de production de PmB de haute technologie⁸ si un investissement important est réalisé).

Les bitumes modifiés aux polymères ne sont pas les mêmes que les bitumes purs. Nous ne pouvons donc pas simplement utiliser notre connaissance du bitume pour évaluer le PmB (Brûlé, 1996). Etant donné que non seulement la nature et le dosage du polymère utilisé ont une influence sur les propriétés du bitume polymère résultant, mais également que la méthode de production influence les caractéristiques performantielles du PmB (de Bondt, 2004), il n'est en pratique pas possible d'obtenir un enrobé polymère homogène (avec un faible risque d'échec) en dosant séparément (p. ex. à l'aide de sacs) le polymère dans la centrale d'enrobage au mélange bitumineux.

⁸ Voir par exemple Wanty (s.d.)

En ce qui concerne la production dans l'usine de liants de bitume modifié aux polymères, et plus précisément si l'on veut essayer une production sur la base des polymères présents dans les déchets plastiques, certaines caractéristiques des matériaux sont importantes.

Comme expliqué au § 4.1, le polymère utilisé pour la modification du bitume doit avoir des propriétés de type «élastomère» (en raison de l'exigence stipulant que le degré d'élasticité à 25 °C soit d'au moins 60 %).

Cela exige une sélectivité stricte dans le type de plastique que l'on souhaite utiliser à partir des déchets plastiques. Comme les déchets plastiques contiennent presque toujours une très grande variété de sortes de plastiques, avec ou sans élastomères, et qu'il n'existe pas de méthode réaliste pour séparer les deux types, il est **pratiquement impossible** d'obtenir un flux de déchets plastiques sélectif ne contenant que des élastomères, qui pourraient servir de matière première pour la modification du bitume.

Outre la nature des plastiques utilisables dans les déchets plastiques, la forme et la pureté de ces déchets sont également importantes. Cet aspect doit être détaillé par le producteur de liant PlmB.

Dans ce cas, l'industrie du recyclage des plastiques doit utiliser les moyens et l'énergie nécessaires pour trier, séparer, réduire, façonner et traiter les déchets plastiques selon les spécifications demandées par le producteur de PlmB / l'usine de liants.

La production de bitume modifié se passe à une température élevée (environ 180-185 °C).

Dans le cas de la modification avec des plastiques recyclés à partir de déchets plastiques dont il est question ici, cela exige une attention particulière en termes de sécurité et d'hygiène au travail, en raison de la potentielle émission de certaines substances gazeuses toxiques résultant de la dégradation thermique des particules de plastique présentes dans le bitume polymère chaud qui se produit à température élevée (Mairesse, et al., 1999). Plus précisément, il s'agit de monomères toxiques, d'acides (p. ex. l'acide chlorhydrique HCl), d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone, de nitriles et de composés organiques volatils (aromatiques et aliphatiques).

En outre, les plastiques ne doivent pas être considérés comme des substances «pures», mais de nombreux additifs sont ajoutés pour améliorer ou augmenter les propriétés pendant la phase d'utilisation (voir également le § 2.3). Les exemples typiques sont les stabilisateurs uv, les antioxydants, les pigments de couleur, les fillers, les antistatiques et les plastifiants.

Identifier quel plastifiant spécifique a été utilisé dans le passé est une tâche presque impossible dans le contexte de la caractérisation des déchets plastiques. Leur éventuelle présence entraîne donc des risques supplémentaires (exposition à l'émission), compte tenu des températures élevées auxquelles l'enrobé est produit. En effet, à ces températures plus élevées, certains de ces additifs peuvent être libérés et émis dans l'environnement, nuisant ainsi à la santé et à la sécurité des personnes. Cette remarque concernant les aspects liés aux conditions de santé et de travail (HSE, pour *health, safety and environment*) ne s'applique pas seulement à la filière dont il est question ici (chapitre 5), mais aussi aux deux autres filières comme indiqué aux chapitres 6 et 7, car là aussi les déchets plastiques seront chauffés à des températures plus élevées.

5.2 Production d'enrobé avec du bitume modifié aux déchets plastiques

De l'usine de liants, le liant PlmB continue son chemin vers la centrale d'enrobage. Pour cette utilisation de plastiques recyclés dans l'enrobé (= **PlmBA**), les paragraphes suivants analysent les différentes conditions et exigences qui y sont associées, et ce tout au long du processus (cycle de vie de l'enrobé):

- l'approvisionnement et le transport;
- le stockage;
- la production de l'enrobé;
- la pose;
- la phase d'utilisation;
- la démolition.

Celles-ci sont traitées successivement dans la suite de ce chapitre.

5.2.1 Approvisionnement et transport

Il ne nous semble pas nécessaire de mentionner de détails à ce sujet. Le transport et la livraison de PlmB peuvent être effectués de la même manière que pour le bitume conventionnel.

La logistique de l'approvisionnement du liant doit (comme pour toutes les matières premières) être organisée de manière à ce qu'il y ait toujours un stock suffisant à la centrale d'enrobage.

Comme ces produits sont transportés à une température élevée (environ 180 °C), les mesures de sécurité nécessaires sont indispensables (numéro d'identification de danger 99: diverses substances (dangereuses) transportées à l'état chaud). Cela implique également que les matériaux contenus dans les déchets plastiques doivent avoir une certaine stabilité thermique, ils ne peuvent pas se désintégrer à ces températures plus élevées (§ 5.2.2).

5.2.2 Stockage à la centrale d'enrobage

La centrale d'enrobage dispose d'une ou plusieurs cuves pour le stockage des liants utilisés dans la production de l'enrobé. Différents types de bitume sont stockés séparément, dans des cuves différents.

Dans le cas du PlmB, une cuve supplémentaire doit être prévue pour ce type de liant.

Dans ces cuves de stockage, le bitume est maintenu à la température appropriée pour le traitement; pour ce faire, un système de chauffage est prévu.

Dans le cas du PlmB, une attention particulière doit être accordée à la stabilité (chimique et thermique) du mélange bitumineux. Un mélangeur dans le réservoir doit garantir que le mélange reste en permanence homogène et veiller à ce que les polymères et le bitume ne soient pas séparés (Vonk, et al., 1996; Urquhart, et al., 2016).

5.2.3 Production d'enrobé

Le liant (PlmB) est amené des cuves de stockage en quantité appropriée (en fonction de la composition du mélange) dans le malaxeur déjà rempli de granulats, afin d'être mélangé à l'enrobé.

La viscosité du liant ne doit pas entraîner de problèmes dans le cycle de production en raison d'un colmatage ou d'un nettoyage supplémentaire des pièces de production.

En ce qui concerne l'environnement et les émissions, les conditions de production à la centrale d'enrobage doivent être conformes aux exigences fixées dans le permis d'environnement. L'utilisation de bitume modifié avec du plastique recyclé pourrait entraîner des problèmes d'émission de certaines substances gazeuses toxiques, et plus précisément certains monomères toxiques et matières organiques volatiles, se produisant à des températures élevées en raison de la dégradation thermique des particules de plastique présentes dans le bitume polymère chaud (§ 5.1 et référence Mairesse, Petit, Chéron & Falcy, 1999).

■ 5.2.4 Pose de l'enrobé

Le PlmBA doit pouvoir être posé sur le chantier de la même manière que l'enrobé conventionnel. Cela pose des défis majeurs dans le cas du PlmB étant donné les grandes différences de propriétés des déchets plastiques. Une viscosité plus élevée peut avoir pour conséquence le colmatage ou l'endommagement du matériel (camion, finisseur, compacteur), ce qui affecte négativement les conditions de travail sur le chantier (courbe de température, compactabilité, émissions ou odeur sur le site, etc.).

Le processus de refroidissement de l'enrobé avec PlmB peut avoir un effet négatif sur les caractéristiques souhaitées de la modification, selon la littérature. La vitesse de refroidissement relativement lente, comme traditionnellement observée sur le chantier (environ 30 °C/h) peut modifier la micro-structure de la phase polymère continue souhaitée en une phase bitumineuse continue non souhaitée, conduisant à un point de ramollissement et à une élasticité moindre (Dony, 1991).

■ 5.2.5 Phase d'utilisation de la route

Dans des conditions normales d'utilisation de la route, nous n'attendons pas de problèmes spécifiques liés à la présence de plastiques dans l'enrobé, du moins s'ils conservent la stabilité physique et chimique nécessaire.

Pour une composition bien connue et homogène des plastiques recyclés et de l'enrobé (comme déterminée dans une étude en laboratoire et/ou une planche d'essai), les performances peuvent être mesurées et démontrées. Toutefois, si la maîtrise de la constance de la composition des déchets plastiques ne peut pas être garantie, des variations dans la qualité du matériau de base peuvent entraîner des variations plus importantes dans la performance du produit final (enrobé) et dans la durée de vie de la route construite avec celui-ci.

Qu'en est-il de la lixiviation d'éventuelles substances polluantes dans le plastique? Compte tenu de l'incorporation intime des plastiques dans le bitume modifié (qui est lui-même hydrophobe), aucun problème de lixiviation n'est à prévoir.

■ 5.2.6 Fin de vie/démolition de la route

À la fin de la durée de vie de la construction routière, ou pour d'autres raisons qui rendent nécessaire la démolition de la partie de route en question (dans laquelle les déchets plastiques ont été traités), la construction routière doit être rénovée (par un recyclage in situ) ou retirée (par fraisage) et remplacée.

Qu'en est-il de la recyclabilité et de l'effet sur le cycle ultérieur de l'enrobé? Compte tenu de la nouveauté du problème, l'expérience dans le fraisage ou la rénovation de telles routes n'est pas suffisante, et les caractéristiques des agrégats d'enrobés bitumineux fraisés (qui contiennent une petite partie de déchets plastiques) et les performances du nouvel enrobé à base de ces agrégats d'enrobés bitumineux recyclés sont encore méconnues.

L'évaluation du potentiel d'utilisation des déchets plastiques pour cette application (dans l'enrobé) devrait également inclure les éventuels problèmes liés à la fin de vie, afin d'arriver à une analyse intégrale du cycle de vie de l'enrobé contenant du plastique. Ceci n'est pas encore possible en raison des éléments méconnus mentionnés.

L'analyse globale doit également inclure les aspects économiques: quel est l'avantage économique (prix inférieur) du liant modifié par des polymères à base de déchets plastiques par rapport au bitume modifié aux polymères classique ou encore par rapport au bitume conventionnel utilisé comme liant pour l'enrobé dans la construction routière?

5.3 Points d'attention primordiaux du PlmBA

Il ressort clairement des paragraphes précédents que la production de bitume modifié aux polymères exige des connaissances et des conditions de production très spécialisées, et qu'une potentielle production à base de polymères recyclés à partir de déchets plastiques (mélangés) est encore plus difficile. Au vu de l'état actuel de la technique, cette option est presque totalement exclue.

Chapitre 6

Les plastiques comme additif dans l'enrobé

6.1 Possibilités

Comme introduit au § 3.2, certains additifs peuvent être ajoutés dans le malaxeur pendant la phase de production de l'enrobé, avec pour objectif d'améliorer les performances de l'enrobé. Nous pensons principalement aux additifs qui améliorent les performances du liant, ces combinaisons seraient également appelées additifs pour liant. Pour cette application, les plastiques sont ajoutés directement dans le malaxeur; en entrant en contact avec les granulats chauds, les plastiques vont fondre (en grande partie ou seulement partiellement) et devenir liquides, assurant ainsi un (pré)enrobage des granulats minéraux. Nous parlons de mélange bitumineux avec incorporation de déchets plastiques comme additifs pour liant ou de **PlcA** (p), un mélange bitumineux avec incorporation de déchets plastiques pour le pré-enrobage des granulats.

Une option utilisant des matières plastiques solides comme granulat diffère de cette dernière, car elle est difficile à concilier avec la méthode de production des revêtements bitumineux à chaud en raison de ses propriétés thermoplastiques (§ 3.3 et chapitre 7).

Les dispositions des cahiers des charges types sont très vagues et laissent beaucoup de place à l'approche (innovante) de l'entrepreneur/du producteur d'enrobé ou d'additifs (référence aux spécifications et informations dans la fiche technique d'application).

6.2 Aspects de la production des mélanges asphaltiques avec des déchets plastiques (PlcA)

Nous supposons que la pratique de production de l'enrobé se poursuit normalement, et qu'aucun changement (majeur) n'est apporté permettant l'utilisation des déchets plastiques; les plastiques doivent être fournis sous une forme adaptée à la pratique conventionnelle de l'enrobé.

Pour l'utilisation de plastiques recyclés dans l'enrobé, les paragraphes suivants analysent les différentes conditions et exigences qui y sont associées, et ce tout au long du processus (cycle de vie de l'enrobé):

- le matériau/type de plastique;
- l'approvisionnement et le transport;
- le stockage;
- la production de l'enrobé;
- la pose;
- la phase d'utilisation;
- la démolition.

Celles-ci sont traitées successivement dans la suite de ce chapitre.

6.2.1 Matériau/type de plastique

Comme décrit dans le tableau A en Annexe 2, les cahiers des charges types actuels contiennent très peu de détails sur les caractéristiques des «polymères» éventuellement utilisés comme additif pour liant dans l'enrobé. Conformément à l'article C.12.12.1 du Qualiroutes (SPW, DG01, 2020) ou à l'article C.9.11.1 du CCT 2015 (Bruxelles Mobilité, 2016), les plastiques de type «polyoléfine» sont autorisés à cette fin. Le PE (polyéthylène) et le PP (polypropylène) sont des exemples de polyoléfines.

Pour que l'ajout de plastiques/déchets plastiques dans le malaxeur ne ralentisse pas trop le processus de production de l'enrobé, il ne devrait pas trop faire augmenter le temps de malaxage requis, ce qui implique que les plastiques devraient fondre rapidement⁹.

Afin que les matières plastiques ajoutées puissent jouer leur rôle de pré-enrobage des granulats sous forme liquide, elles doivent pouvoir réaliser l'enrobage rapidement et efficacement.

Ensuite, le bitume chaud arrive dans le malaxeur et nous espérons une bonne compatibilité entre les granulats enrobés de plastique et le bitume.

Conformément aux dispositions des cahiers des charges types concernant les additifs pour enrobé, les matériaux utilisés dans les déchets plastiques, sous forme de fibres synthétiques, sont principalement composés de polyéthylène (PE, au minimum 75 % de la masse totale des polymères) et sont éventuellement complétés par du polychlorure de vinyle (PVC, max. 10 %). Cela signifie que les déchets plastiques doivent être triés afin de sélectionner et de séparer les composants mentionnés, si possible, par exemple en fonction d'une différence de densité.

Toutes les livraisons de déchets plastiques doivent respecter ces exigences, il doit y avoir une garantie de conformité.

Dans ce contexte, il convient de noter qu'en Belgique, l'utilisation de polyéthylène recyclé (PE) comme additif dans les enrobés a déjà été évaluée dans les années nonante par le biais d'un certain nombre d'applications pratiques. Il s'agissait notamment de l'ajout de polyéthylène basse densité ou PEBD sous forme de pellets (pour remplacer 5 à 10 % du liant) lors de la production, en vue de réduire la sensibilité à la température du liant bitumineux. Bien que peu voire pas de problèmes aient été signalés en ce qui concerne la production ou la construction, il a été reconnu que ce type de polymère est incompatible avec le bitume et n'est donc que partiellement «soluble» (voir également la discussion au § 5.1 (Kalantar, et al.,2012).

6.2.2 Transport et approvisionnement

Il ne nous semble pas nécessaire de mentionner de détails à ce sujet.

La logistique d'approvisionnement des matières plastiques recyclées (comme pour toutes les matières premières) doit être organisée de manière à ce qu'il y ait toujours un stock suffisant à la centrale d'enrobage.

⁹ Habituellement (voir le § 5.2.1.10.4 de la référence [3]), le temps de mélange de l'enrobé dure moins d'une minute, c'est-à-dire moins de 15 à 20 secondes pour le prémélange à sec (de gravillons, sable, additifs et filler éventuels, sans liant) et environ 15 à 35 secondes pour le mélange humide (après ajout du liant chaud).

6.2.3. Stockage à la centrale d'enrobage

Les matières plastiques recyclées, sous forme de fibres (polyoléfinés) ou de pellets, doivent être stockées à la centrale d'enrobage de manière à ce qu'elles soient facilement maniables et conservent leur qualité homogène.

Cela signifie que les fibres ou pellets doivent toujours être conservés au sec, et donc être stockés à l'abri et dans des sacs ou en vrac dans un conteneur.

L'homogénéité et la constance dans le temps des caractéristiques (en ce compris la forme et la nature) doivent être garanties.

6.2.4. Production d'enrobé

Afin d'éviter que les plastiques recyclés ne fondent avant d'entrer dans le malaxeur, ils ne doivent pas être séchés et préchauffés avec les autres granulats. Le dosage doit se faire à température ambiante depuis leur silo de stockage directement dans le malaxeur.

Cela nécessite en termes de matériel et d'équipement une vis d'admission supplémentaire.

L'ajout à froid des fibres plastiques ou des pellets de plastique dans le mélange chaud réduit dans une mesure limitée (par rapport aux températures plus élevées des granulats chauffés) la quantité d'apport de chaleur (joules), ce qui signifie que le reste des granulats (et leur contenu thermique) doit être préchauffé à une température légèrement supérieure, ce qui consomme également une énergie supplémentaire. Compte tenu de la faible dose, cet impact est minimal.

Le dosage de plastiques recyclés à appliquer dans le mélange bitumineux à produire doit faire l'objet d'études complémentaires en laboratoire afin d'obtenir une composition optimale. Sur la base des données issues de la littérature, un dosage approprié d'environ 5 à 10 % de la masse du bitume semble approprié (Dalhat, et al., 2019; Ahmad & Ayob, 2015; Mishra, 2016).

De plus, de nombreuses incertitudes ou problèmes potentiels concernant l'interaction des polymères et du bitume dans ce type «d'enrobé avec additifs» persistent, notamment en ce qui concerne les conditions de mélange (à l'état chaud) et après (après le refroidissement à température ambiante). Par exemple, on ne sait pas encore combien de temps ce mélange doit durer pour obtenir une transformation complète des plastiques recyclés de l'état solide à l'état liquide, puis à un pré-enrobage suffisant de tous les granulats. Et combien de temps faut-il encore avant une nouvelle fusion des polymères liquides avec le liant bitumineux liquide chaud?

Le temps supplémentaire nécessaire à ce processus de malaxage adapté (avec la fusion des plastiques et le pré-enrobage des granulats, et ensuite la fusion avec le bitume produit par la suite) a également un impact négatif sur la productivité économique de la centrale d'enrobage tout entière, et donc sur le prix de revient de l'enrobé produit.

Et que se passe-t-il dans les heures qui suivent, lorsque l'enrobé bitumineux est d'abord stocké dans les silos de stockage, puis apporté sur le chantier, lorsqu'il est répandu et ensuite refroidi à température ambiante? Comment se passe ensuite la transformation des polymères liquides en une nouvelle forme solide dans le mélange asphaltique refroidi? Autant d'incertitudes auxquelles il est encore difficile de trouver une réponse en raison de la variabilité et de l'incertitude quant à la composition correcte des polymères dans les déchets plastiques utilisés.

6.2.5 Pose de l'enrobé

Le PlcA doit pouvoir être posé sur le chantier de la même manière que l'enrobé conventionnel.

Cela signifie qu'aucun problème ne doit survenir en raison de la viscosité supplémentaire, provoquant le colmatage ou l'endommagement du matériel (camion, finisseur, compacteur) ou ayant une influence négative sur les conditions de travail sur le chantier (courbe de température, compactibilité, émissions ou odeur sur le site, etc.).

6.2.6 Phase d'utilisation de la route

Dans des conditions normales d'utilisation de la route, nous n'attendons pas de problèmes spécifiques liés à la présence de plastiques dans l'enrobé, du moins s'ils conservent la stabilité physique et chimique nécessaire.

Pour une composition bien connue et homogène des plastiques recyclés et de l'enrobé (comme déterminée dans une étude en laboratoire et/ou sur une planche d'essai), les performances peuvent être mesurées et démontrées.

Toutefois, si la maîtrise de la constance de la composition des déchets plastiques ne peut pas être garantie, des variations dans la qualité du matériau de base peuvent entraîner des variations plus importantes dans la performance du produit final (enrobé) et dans la durée de vie de la route construite avec celui-ci.

En ce qui concerne l'éventuelle lixiviation de substances contaminées dans le plastique, il faut s'attendre à ce que dans le procédé par *voie sèche*, par rapport à l'application via bitume modifié (procédé par voie humide), la fusion du plastique et du bitume soit moins structurée, et donc à ce que le risque de lixiviation des éventuelles substances polluantes des plastiques soit plus élevé.

Étant donné que les plastiques ne servent qu'à un premier enrobage des granulats, et que ces derniers sont ensuite recouverts à nouveau d'une couche de bitume qui va donc enrober le plastique, et étant donné que le bitume lui-même est hydrophobe, aucun problème de lixiviation n'est à craindre.

En ce qui concerne les caractéristiques de surface des couches de roulement bitumineuses de ce type (rugosité, résistance au polissage, etc.), des incertitudes subsistent quant à l'impact sur la rugosité en cas d'usure, dans les couches de roulement bitumineuses, de la couche mince de bitume sur les granulats en surface et sur les granulats enrobés de plastique à la surface du revêtement.

Cet aspect mérite certainement plus d'attention car un problème peut survenir ici, compte tenu de la surface lisse et peu adhérente du plastique durci, et, par conséquent, de la faible rugosité de la surface de la chaussée.

6.2.7 Fin de vie/démolition de la route

À la fin de la durée de vie de la construction routière, ou pour d'autres raisons qui rendent nécessaire la démolition de la partie de route en question (dans laquelle les déchets plastiques ont été traités), la construction routière doit être rénovée (par un recyclage in situ) ou retirée (par fraisage) et remplacée.

Qu'en est-il de la recyclabilité? Quel est l'impact de la composition sur les possibilités de recyclage du matériau « enrobé »? Compte tenu de la nouveauté du problème, l'expérience dans le fraisage

ou la rénovation de telles routes n'est pas suffisante et les caractéristiques des agrégats d'enrobés bitumineux fraisés (qui contiennent une petite partie de déchets plastiques) et, par conséquent, les performances du nouvel enrobé à base de ces agrégats d'enrobés bitumineux recyclés sont encore méconnues.

Dans l'évaluation du potentiel d'utilisation des déchets plastiques pour cette application (additif pour liant dans l'enrobé), il est également nécessaire d'inclure les éventuels problèmes de fin de vie, afin d'arriver à une analyse intégrale du cycle de vie de l'enrobé contenant du plastique. Ceci n'est pas encore possible en raison des éléments méconnus mentionnés.

Une analyse globale de la durabilité (technique, environnement et économie) doit également inclure les aspects économiques: quel est l'avantage économique (prix plus bas) d'un liant modifié aux polymères à base de déchets plastiques par rapport au PmB classique ou par rapport à l'enrobé produit de manière conventionnelle comme liant pour l'enrobé en construction routière.

6.3 Points d'attention primordiaux dans la production de PlcA

Les conditions de production de la centrale d'enrobage exigent un processus de ramollissement clairement démontrable des polymères contenus dans les déchets plastiques, qui sont principalement constitués de polyoléfines. Les plastiques fondus doivent pouvoir être mélangés rapidement et uniformément avec les autres granulats, les enrober de manière efficace. Les polymères doivent également être hautement compatibles (et de préférence former un *blend*) avec le bitume qui agit efficacement comme liant dans le mélange bitumineux.

La composition des déchets plastiques recyclés doit être bien connue et la constance de la composition et de la qualité par rapport aux paramètres les plus pertinents doit être garantie.

Chapitre 7

Les plastiques comme granulats dans l'enrobé (PlgA)

7.1 Possibilités

En poursuivant sur la lancée du § 3.3, nous abordons les possibilités d'ajouter des particules de plastique dans le malaxeur de la centrale d'enrobage avec la fonction de (substitut de) granulats dans l'enrobé.

Nous parlons de **PlgA**, c'est-à-dire un mélange bitumineux avec incorporation de déchets plastiques en tant que granulat.

Nous voyons ici des difficultés considérables:

- au niveau du comportement thermique des matières plastiques, à savoir que ces matériaux perdraient leur intégrité mécanique en ramollissant ou en fondant, en raison des températures de production de l'enrobé relativement élevées;
- les propriétés physico-mécaniques et géométriques des granulats jouent un rôle important dans les performances de l'enrobé. Les granulats de plastique doivent répondre aux mêmes exigences que les granulats minéraux classiques (sable et gravillons): angularité, coefficient d'aplatissement, coefficient de polissage accéléré, valeurs Los Angeles et micro-Deval, etc.;
- de plus, ces caractéristiques ne doivent pas être sensibles au processus de production de l'enrobé. Pour l'instant, c'est loin d'être faisable et nous voyons des défis majeurs, notamment concernant la qualité et caractéristiques du matériau du PlgA à démontrer et à garantir en permanence à chaque livraison.

7.2 Aspects de la production de PlgA

Nous partons de l'hypothèse que le secteur de l'enrobé s'attend, lors de l'application de ce matériau, à ce que la pratique de la production d'enrobé puisse se poursuivre comme d'habitude, et à ce qu'aucun changement significatif ne soit nécessaire pour appliquer des déchets plastiques dans le processus; les plastiques doivent être fournis sous une forme adaptée à la pratique conventionnelle de l'enrobé.

Pour l'utilisation de plastiques recyclés dans l'enrobé, les paragraphes suivants analysent les différentes conditions et exigences qui y sont associées, et ce tout au long du processus (cycle de vie de l'enrobé):

- le matériau/type de plastique;
- l'approvisionnement et le transport;
- la production de l'enrobé;
- la pose;
- la phase d'utilisation;
- la démolition.

Celles-ci sont traitées successivement dans la suite de ce chapitre.

7.2.1 Le matériau/type de plastique

Etant donné que les propriétés thermoplastiques de ce type de matériau sont difficiles à concilier avec la méthode de production de revêtement bitumineux à chaud, la solution consistant à utiliser des plastiques solides comme granulat semble limitée aux types de plastiques qui conservent leur intégrité physique et géométrique à des températures plus élevées, c'est-à-dire dont le point de fusion ou de ramollissement se situe à une température plus élevée que celle du mélange de l'enrobé. Ce peut être le cas en particulier pour les matières plastiques de type thermodurcissable ou PET¹⁰.

Pour ce faire, le matériau PlGA doit être mis à disposition sous forme «pure» et la qualité et les propriétés requises (voir ci-dessus) doivent être contrôlées de manière à ce qu'elles puissent être garanties en permanence.

7.2.2 Transport et approvisionnement

Il ne nous semble pas nécessaire de mentionner de détails à ce sujet.

La logistique d'approvisionnement des matières plastiques recyclées (comme pour toutes les matières premières) doit être organisée de manière à ce qu'il y ait toujours un stock suffisant à la centrale d'enrobage.

7.2.3 Stockage à la centrale d'enrobage

Les matières plastiques recyclées, sous forme de grains anguleux ou de pellets, doivent être stockées à la centrale d'enrobage de manière à ce qu'elles soient facilement maniables et conservent leur qualité homogène.

Tout comme les autres, les granulats classiques doivent être conservés au sec, et donc être stockés à l'abri, afin d'éviter les pertes d'énergie dues à la nécessité d'évacuer l'eau.

L'homogénéité et la constance dans le temps des caractéristiques (en ce compris la forme et la nature) doivent être garanties.

7.2.4 Production d'enrobé

Pour une application en tant que (substitut de) granulats dans l'enrobé, les déchets plastiques doivent être compatibles avec le bitume, c'est-à-dire que le bitume doit avoir une bonne adhésion aux particules plastiques. Cela doit être testé et prouvé à l'avance.

Il n'est pas clair si les granulats de plastique doivent être préchauffés, comme c'est l'usage avec les granulats minéraux, ou non. Le préchauffage et le séchage seront nécessaires pour permettre à l'eau de s'évaporer afin d'améliorer l'adhérence du bitume, ainsi que pour réduire le choc thermique au moment du contact avec le bitume chaud. Toutefois, le préchauffage ne doit pas être intense au point de s'approcher du ramollissement des morceaux de plastique.

¹⁰ Le PET (polytéréphtalate d'éthylène) est un plastique qui est souvent utilisé dans les textiles (comme fil ou comme fibre) mais également comme matériau d'emballage, notamment pour les boissons gazeuses. Sa température de fusion est d'environ 255 °C. Source: (Duyndam, et al., 2006).

Le dosage peut être effectué séparément ou en combinaison avec les granulats minéraux chauffés, de leur silo de stockage directement dans le malaxeur. Cela nécessite éventuellement une vis d'admission supplémentaire.

Le risque de collage pendant le malaxage est estimé très élevé, surtout étant donné que cela implique une quantité considérable de matière dans le mélange. Ici aussi, il est essentiel que le matériau PlgA fourni ne présente aucun problème à cet égard.

Comme décrit au § 3.3, cette application est loin d'être évidente dans la pratique pour le moment. L'expérience limitée de la recherche en laboratoire concerne l'utilisation de quantités très limitées (10 à 20 % en volume des granulats (Zoorob & Suparma, [2000]) de matériau PlgA et l'étude de certaines propriétés de performance en laboratoire.

7.2.5 Pose de l'enrobé

Le PlgA doit pouvoir être posé sur le chantier de la même manière que l'enrobé conventionnel.

Cela signifie qu'aucun problème ne doit survenir en raison de la haute viscosité, provoquant le colmatage ou l'endommagement du matériel (camion, finisseur, compacteur) ou ayant une influence négative sur les conditions de travail sur le chantier (courbe de température, compactage, émissions ou odeur sur le chantier, etc.). Les risques sont estimés très élevés.

7.2.6 Phase d'utilisation de la route

Pour une composition bien connue et homogène des plastiques recyclés et de l'enrobé (comme déterminée dans une étude en laboratoire et/ou une planche d'essai), les performances peuvent être mesurées et démontrées. Toutefois, si la maîtrise de la constance de la composition des déchets plastiques ne peut pas être garantie, des variations dans la qualité du matériau de base peuvent entraîner des variations plus importantes dans la performance du produit final (enrobé) et dans la durée de vie de la route construite avec celui-ci.

En ce qui concerne l'éventuelle lixiviation de substances contaminées dans le plastique, il faut s'attendre à ce que dans ce procédé par *voie sèche*, par rapport à l'application via bitume modifié (procédé par voie humide), l'accessibilité des polluants du plastique soit plus élevée, et donc à ce que le risque de lixiviation des éventuelles substances polluantes des plastiques soit plus élevé.

En ce qui concerne les caractéristiques de surface des couches de roulement bitumineuses de ce type (rugosité, résistance au polissage, etc.), des incertitudes subsistent quant à l'impact sur la rugosité en cas d'usure, dans les couches de roulement bitumineuses, de la couche mince de bitume sur les granulats en surface et sur les granulats enrobés de plastique à la surface du revêtement.

Cet aspect mérite certainement plus d'attention car un problème peut survenir ici, compte tenu de la surface lisse et peu adhérente de la plupart des matières plastiques, et, par conséquent, de la faible rugosité de la surface de la chaussée.

7.2.7 Fin de vie/démolition de la route

A la fin de la durée de vie de la construction routière, ou pour d'autres raisons qui rendent nécessaire la démolition de la partie de route en question (dans laquelle les déchets plastiques ont été traités), la construction routière doit être rénovée (par un recyclage in situ) ou retirée (par fraisage) et remplacée.

L'évaluation du potentiel d'utilisation des déchets plastiques pour cette application (dans l'enrobé) devrait également inclure les éventuels problèmes liés à la fin de vie, afin d'arriver à une analyse intégrale du cycle de vie de l'enrobé contenant du plastique. Ceci n'est pas encore possible en raison des éléments méconnus mentionnés.

Qu'en est-il de la recyclabilité? Quel est l'impact de la composition sur les possibilités de recyclage du matériau de l'enrobé? Compte tenu de la nouveauté du problème, l'expérience dans le fraisage ou la rénovation de telles routes n'est pas suffisante et les caractéristiques des agrégats d'enrobés bitumineux fraisés (qui contiennent une partie importante de déchets plastiques) et, par conséquent, les performances du nouvel enrobé à base de ces agrégats d'enrobés bitumineux recyclés sont encore méconnues.

7.3 Points d'attention primordiaux dans la production de PlgA

Si les déchets plastiques sont utilisés comme granulats dans l'enrobé, l'objectif est de trouver une alternative aux granulats minéraux, les gravillons, qui sont les composants les moins coûteux dans l'enrobé. Dans le squelette minéral du mélange asphaltique, une fraction non inerte et généralement plus facilement déformable (à savoir un granulat composé de particules de plastique) est ensuite insérée. Il est difficile de trouver ici une valeur ajoutée.

Les grains de plastique recyclé doivent répondre à toutes les exigences traditionnellement fixées pour les granulats minéraux (gravillons) et qui constituent la base d'un mélange asphaltique de qualité.

La composition des déchets plastiques recyclés doit être bien connue et la constance de la composition et de la qualité par rapport aux paramètres les plus pertinents doit être garantie.

Les particules de plastique insérées conservent leur forme physique de plastique, même si la chaussée asphaltique est fraisée à la fin de sa durée de vie et produit des agrégats d'enrobés bitumineux non inertes. Il n'est pas encore clair quelles en seront les conséquences pour le recyclage ultérieur des agrégats d'enrobés bitumineux.

L'impact de la présence de particules de plastique non inertes dans l'enrobé sur le comportement en cas de catastrophes comme un incendie n'est pas claire non plus.

Chapitre 8

Conclusions

Certains types de (nouveaux) plastiques ont des propriétés intéressantes qui peuvent aider à améliorer l'enrobé pour les routes, comme le copolymère styrène butadiène (SBS) comme matière première pour le bitume modifié aux polymères.

Le passage des nouveaux polymères à l'application de polymères recyclés à partir de déchets plastiques est un grand pas, qui se heurte à de nombreux obstacles en raison des exigences de qualité élevées auxquelles un produit tel que l'enrobé doit satisfaire.

Cela demande un ajustement majeur dans le secteur du recyclage de plastique en termes de prétraitement et de sélectivité du flux des matières premières, ainsi qu'une plus faible flexibilité en termes de production dans la centrale d'enrobage. Ces conditions restrictives ne sont pas encore remplies dans le secteur.

Nous discutons ici des points d'attention principaux pour les trois options discutées pour l'éventuelle incorporation de déchets plastiques dans le revêtement bitumineux préparé à chaud.

- **En tant que matière première pour le bitume modifié**

Il apparaît dans le chapitre 5 que la production de bitume modifié aux polymères est une activité qui exige en soi des connaissances et des conditions de production hautement spécialisées, et qu'une éventuelle production à base de polymères recyclés à partir de déchets plastiques (mélangés) est encore plus difficile. Au vu de l'état actuel de la technique, cette option est presque totalement exclue.

- **En tant qu'additif pour enrobé (pré-enrobage des granulats et modification partielle du liant)**

L'explication au chapitre 6 montre que les conditions de production de la centrale d'enrobage exigent un processus de ramollissement clairement démontrable des polymères contenus dans les déchets plastiques, qui sont principalement constitués de polyoléfines. Les plastiques fondus doivent pouvoir être mélangés rapidement et uniformément avec les autres granulats, et être enrobés d'une manière performante. Les polymères doivent également être hautement compatibles (et de préférence former un *blend*) avec le bitume qui agit efficacement comme liant dans le mélange asphaltique.

La composition des déchets plastiques recyclés doit être bien connue et la constance de la composition et de la qualité par rapport aux paramètres les plus pertinents doit être garantie ce qui n'est pas le cas actuellement.

Le temps supplémentaire nécessaire à ce processus de mélange adapté (avec la fusion des plastiques et le pré-enrobage des granulats, et ensuite la fusion avec le bitume produit par la suite) a également un impact négatif sur la productivité économique de la centrale d'enrobage toute entière, et donc sur le prix de revient de l'enrobé produit.

- **En tant que granulats alternatifs pour l'enrobé**

Si les déchets plastiques sont utilisés comme granulats dans l'enrobé, l'objectif est de trouver une alternative aux granulats minéraux, les gravillons, qui sont les composants les moins coûteux dans l'enrobé. Dans le squelette minéral, qui constitue la colonne vertébrale de la résistance du mélange asphaltique, une fraction non inerte et généralement plus facilement déformable (à savoir un granulats composé de

particules de plastique) est ensuite insérée. Il est difficile de trouver ici une valeur ajoutée.

Les grains de plastique recyclé doivent répondre à toutes les exigences traditionnellement fixées pour les granulats minéraux (gravillons) et qui constituent la base d'un mélange asphaltique de qualité.

La composition des déchets plastiques recyclés doit être bien connue et la constance de la composition et de la qualité par rapport aux paramètres les plus pertinents doit être garantie. Ce n'est pas encore le cas à l'heure actuelle.

Les particules de plastique insérées conservent leur forme physique de plastique, même si la chaussée asphaltique est fraisée à la fin de sa durée de vie et produit des agrégats d'enrobés bitumineux non inertes. Il n'est pas encore clair quelles en seront les conséquences pour le recyclage ultérieur des agrégats d'enrobés bitumineux.

L'impact de la présence de particules de plastique non inertes dans l'enrobé sur le comportement en cas de catastrophes comme un incendie n'est pas claire non plus.

Une concertation¹¹ avec une représentation du secteur belge des enrobés a montré que ni les fabricants d'enrobés et les entrepreneurs de travaux routiers, ni les autorités routières ne demandent actuellement que les déchets plastiques soient traités dans les enrobés. Ce n'est que lorsque tous les problèmes expliqués dans ce document auront été résolus que cette attitude pourra changer.

Le secteur s'interroge également sur le rapport coûts/bénéfices de ce problème, étant donné les quantités relativement faibles de déchets plastiques qui pourraient être traitées dans ces filières et la grande sélectivité des flux de déchets plastiques requise. Il reconnaît également les nombreuses limites et incertitudes qui pèsent sur les voies de développement des déchets plastiques dans les enrobés, telles qu'elles sont décrites dans ce document.

11 Groupe de travail ad hoc "Recyclage des palstiques dans les enrobés", réunion tenue le 23 janvier 2020 au CRR à Sterrebeek.

Annexe 1

A. Définition d'un bitume polymère neuf dans les trois cahiers des charges types régionaux belges: Wallonie (SPW, DG01, 2020), Région flamande (Vlaamse Overheid, AWW, 2019), Région de Bruxelles-capitale (Bruxelles Mobilité, 2016)

CCT Qualiroutes - Edition 01/01/2020	SB 250 - Version 4.1	CCT 2015 - Version 2015
<p>Chapitre C</p> <p>C. 12.3. Bitume polymère(s) neuf(s)</p> <p>Un bitume polymère(s) neuf(s) est un bitume fabriqué en usine et prêt à l'emploi.</p> <p>Il consiste en une dispersion homogène constituée en partie largement prépondérante (> 90 % en masse) de bitume de pétrole et en partie restante d'un ou plusieurs polymères à caractère élastomérique et/ou plastomérique.</p> <p>Les bitumes routiers auxquels un additif est ajouté à la centrale d'enrobage lors de la fabrication de l'enrobé ne sont pas des bitumes polymère(s) neuf(s) au sens du C. 12.3.</p> <p>Les bitumes polymères neufs répondent aux prescriptions de la NBN EN 14023 (NBN, 2010).</p>	<p>Hoofdstuk 3</p> <p>11.6 Polymeerbitumen</p> <p>Koolwaterstofproducten aangeduid met de term polymeerbitumen zijn kool-waterstofproducten bestaande uit bitumen, innig gemengd met een nieuw elastomeer.</p> <p>Voor gietafsalt, of indien expliciet aangegeven in de aanbestedingsdocumenten, mag een nieuw plastomeer gebruikt worden. Ze worden warm verwerkt.</p> <p>Op de technische fiche dient vermeld te worden de optimale mengtemperatuur.</p> <p>Tabel 3-11-14 en 3-11-15 leggen de keuzes vast voor de norm NBN EN 14023 (NBN, 2010), waaraan polymeerbitumen moeten voldoen.</p>	<p>Chapitre C</p> <p>C.9.2 Bitume polymère neuf</p> <p>Un bitume polymère neuf est un bitume fabriqué en usine et prêt à l'emploi. Il consiste en une dispersion homogène constituée en partie largement prépondérante (> 90 % en masse) de bitume de pétrole et en partie restante d'un ou plusieurs polymères à caractère élastomérique et/ou plastomérique.</p> <p>Les bitumes routiers auxquels un additif est ajouté à la centrale d'enrobage lors de la fabrication de l'enrobé ne sont pas des bitumes polymère neuf au sens du § C.9.2.</p> <p>Les bitumes polymère(s) neuf(s) répondent aux prescriptions de la norme NBN EN 14023 (NBN, 2010).</p> <p>Sauf prescription contraire au cahier spécial des charges, un ou plusieurs élastomères sont utilisés dans le cas d'enrobés bitumineux compactés à chaud de même que pour un enduit bitumineux ou un MBCF.</p> <p>Dans le cas d'un asphalte coulé, et pour les autres produits bitumineux si cela est explicitement indiqué au cahier spécial des charges, un plastomère neuf peut être utilisé.</p>

(Note: Les paragraphes surlignés en bleu sont des paragraphes différents du CCT Qualiroutes.)

B. Les spécifications des bitumes polymère(s) neuf(s) utilisés en Wallonie (SPW, DG01, 2020), en région flamande (Vlaamse Overheid, AWW, 2019) et en région de Bruxelles-Capitale (Bruxelles Mobilité, 2016)

1. CCT QUALIROUTES, EDITION 01/01/2020 (SPW, DG01, 2020)

Chapitre C, paragraphe C. 12.3.2. SPECIFICATIONS

Les bitumes polymères neufs répondent aux prescriptions de la NBN EN 14023 (NBN, 2010).

Caractéristique	Unité	Bitume polymère neuf		
		45/80 - 50	45/80 - 65	75/130 - 75
Pénétrabilité à 25 °C, 5 s	0,1 mm	45 - 80	45 - 80	75 - 130
Point de ramollissement A & B, minimum	°C	50	65	75
Cohésion par force ductilité (vitesse de traction: 50 mm/min) à 5°C minimum	J/cm ²	1	2	2
Point de fragilité Fraass, maximum	°C	- 10	- 12	- 15
Retour élastique à 25 °C, minimum	%	60	80	80
Point d'éclair, minimum	°C	235	235	235
Résistance au durcissement à 163 °C:				
- variation de masse, maximum, +	%	0,5	0,5	0,8
- pénétrabilité restante, minimum	%	60	55	50
- augmentation du point de ramollissement, maximum	°C	12	12	12
- retour élastique à 25 °C, minimum	%	TBR	TBR	TBR
- diminution du point de ramollissement	°C	TBR	TBR	TBR

C. 12.3.3. CARACTERISTIQUES INFORMATIVES

Caractéristique performantielle	Unité	45/80 - 50	45/80 - 65	75/130 - 75
DSR: ⁽²⁾				
- G*	Pa	TBR	TBR	TBR
- δ	°	TBR	TBR	TBR
BBR:				
Température critique la plus élevée ⁽³⁾	°C	TBR	TBR	TBR
Viscosité dynamique à 135, 150, 165 et 180 °C	mPa s	TBR	TBR	TBR

(1) TBR: valeur à déclarer par le fabricant.

(2) |G*| et δ sont déterminés pour les conditions d'essais suivantes:

- 52 °C et 1,6 Hz
- 15 °C et 10 Hz.

(3) Cette température est la plus élevée des suivantes:

- température à laquelle la rigidité S après 60 s = 300 MPa
- température à laquelle la pente « m » après 60 s (courbe de rigidité en fonction du temps) = 0,3.

2. SB 250, VERSION 4.1 (Vlaamse Overheid, AWV, 2019)

Chapitre 3, paragraphe 11.6 Bitume modifié aux polymères

Tabel 3-11-14 en 3-11-15 leggen de keuzes vast voor de norm NBN EN 14023, waaraan polymeerbitumen moeten voldoen.

Kenmerken	Eenheden	Nieuw-polymeerbitumen		
		45/80-50	45/80-65	75/130-75
Indringing 5 s	0,1 mm	45 tot 80	45 tot 80	75 tot 130
Verwekingspunt R&K	°C	min. 50	min. 65	min. 75
Breekpunt van Fraass	°C	max. -10	max. -12	max. -15
Elastische terugvering 25 °C volgens NBN EN 13398	%	min. 60	min. 80	min. 80
Vlampunt	°C	min. 235	min. 235	min. 235

Tabel 3-11-14 eisen waaraan nieuw polymeerbitumen moet voldoen
 NPD = *No Performance Determined*: er wordt geen eis opgelegd voor deze klasse
 TBR = *To Be Reported*: mee te delen waarde door de producent (de bepaling van deze kenmerken heeft als doel informatie in te winnen)

Kenmerken	Eenheden	Nieuw-polymeerbitumen			
		45/80-50	45/80-65	75/130-75	
Weerstand tegen verharding (na RTFOT)	resterende indringing	%	≥ 60	≥ 55	≥ 50
	toename verwekingspunt R&K	°C	≤ 12	≤ 12	≤ 12
	afname verwekingspunt R&K	°C	TBR	TBR	TBR
	massaverandering	%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8
	elastische terugvering 25 °C	%	TBR	TBR	TBR
DSR (bij 52 °C; 1,6 Hz en 15 °C; 10 Hz)	G*	kPa	TBR	TBR	TBR
	δ	°	TBR	TBR	TBR
Trekeigenschappen d.m.v. kracht-ductiliteit-methode bij 5 °C	J/cm ²		≥ 2	≥ 2	≥ 2
BBR	hoogste kritische temperatuur	°C	TBR	TBR	TBR
Dynamische viscositeit bij 135, 150, 165 en 180 °C	mPa.s		TBR	TBR	TBR

Tabel 3-11-15: mee te delen waarden door de producent
 TBR = *To Be Reported*: mee te delen waarde door de producent (de bepaling van deze kenmerken heeft als doel informatie in te winnen)

De “hoogste kritische temperatuur” voor de BBR-proef is de hoogste temperatuur van de volgende:

- temperatuur waarbij de stijfheid S na 60 s = 300 MPa;
- temperatuur waarbij de helling “m” na 60 s (stijfheidscurve versus tijd) = 0,3.

3. CCT 2015 – version 2015 (Bruxelles Mobilité, 2016)

Chapitre C, paragraphe C.9.2.2 SPECIFICATIONS

Les bitumes polymère(s) neuf(s) répondent aux prescriptions de la norme NBN EN 14023 (NBN, 2010).

Les spécifications des bitumes polymère(s) neuf(s) utilisés en Région de Bruxelles-Capitale sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Caractéristique	Unités	Bitume polymère neuf			Norme d'essai
		45/80 – 50	45/80 – 65	75/130 – 75	
Pénétrabilité à 25°C, 5 s	0,1 mm	45 – 80	45 – 80	75 – 130	NBN EN 1426
Ramollissement A & B	°C	≥ 50	≥ 65	≥ 75	NBN EN 1427
Cohésion par force-ductilité à 5°C	J/cm ²	≥ 1	≥ 2	≥ 2	NBN EN 13703
Point de fragilité Fraass	°C	≤ – 10	≤ – 12	≤ – 15	NBN EN 12593
Retour élastique à 25°C	%	≥ 60	≥ 80	≥ 80	NBN EN 13398
Point d'éclair	°C	≥ 235	≥ 235	≥ 235	NBN EN ISO 2592
Résistance au durcissement (RTFOT)					NBN EN 12607-1
- Pénétrabilité restante	%	≥ 60	≥ 55	≥ 50	NBN EN 1426
- Augmentation du point de ramollissement A & B	°C	≤ 12	≤ 12	≤ 12	NBN EN 1427
- Diminution du point de ramollissement A & B	°C	TBR	TBR	TBR	NBN EN 1427
- Variation de masse	%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	NBN EN 12607-1
- Retour élastique à 25°C	%	TBR	TBR	TBR	NBN EN 13398

C.9.2.3 CARACTERISTIQUES INFORMATIVES

Caractéristiques performantielles					
	Unités	45/80 – 50	45/80 – 65	75/130 – 75	Norme d'essai
DSR ⁽¹⁾ (52°C ; 1,6 Hz et 15°C ; 10 Hz)					NBN EN 14470
- G *	kPa	TBR ⁽⁴⁾	TBR	TBR	
- δ	°	TBR	TBR	TBR	
BBR ⁽²⁾ :					
Température critique la plus élevée ⁽³⁾	°C	TBR	TBR	TBR	NBN EN 14771
Viscosité dynamique à 135°C, 150, 165 et 180° C	Pas.s	TBR	TBR	TBR	NBN EN 13702-2 ou NBN EN 13302

⁽¹⁾ Dynamic shear rheometer (DSR).

⁽²⁾ Bending beam rheometer (BBR).

⁽³⁾ La « température critique la plus élevée » pour l'essai BBR est la plus élevée des températures suivantes :

- température à laquelle la rigidité S après 60 s = 300 MPa ;
- température à laquelle la pente « m » après 60 s (courbe rigidité/temps) = 0,3.

⁽⁴⁾ TBR = (to be reported) : valeur à déclarer par le fabricant.

Annexe 2

A. Définition des additifs pour liants (plus spécifiquement les polyoléfines et les polymères) décrits dans les cahiers des charges types de la Wallonie (SPW, DG01, 2020) et de la Région de Bruxelles-capitale (Bruxelles Mobilité, 2016)

CCT Qualiroutes - Edition 01/01/2020	CCT 2015 - Version 2015
<p>Chapitre C</p> <p>C. 12.12. Additif pour liant</p> <p>Les liants bitumineux routiers (C. 12.1) peuvent être améliorés au moyen des additifs spécifiés ci-après. Ceux-ci sont introduits dans le mélange bitumineux lors de sa fabrication en centrale. Les documents du marché fixent le type de bitume de base, l'additif utilisé et sa proportion dans le liant.</p>	<p>Chapitre C</p> <p>C.9.1.1 Additifs pour liant</p>
<p>Chapitre C</p> <p>C. 12.12.1. Polyoléfines</p> <p>Les polyoléfines sont des fibres synthétiques obtenues à partir de polymères hydrocarbonés. Les spécifications sont les suivantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teneur en eau: maximum 2 % - Teneur en parties métalliques: maximum 15 % - Teneur en PVC (polychlorure de vinyle): maximum 10 % - Teneur en polyéthylène: minimum 75 % - Passant au tamis de 4 mm: minimum 85 % - Passant au tamis de 2 mm: 10 à 40 % 	<p>Chapitre C</p> <p>C.9.1.1.1 Polyoléfines</p> <p>Les polyoléfines sont des fibres synthétiques obtenues à partir de polymères hydrocarbonés. Les spécifications sont les suivantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teneur en eau: maximum 2 % - Teneur en parties métalliques: maximum 15 % - Teneur en PVC (polychlorure de vinyle): maximum 10 % - Teneur en polyéthylène: minimum 75 % - Passant au tamis de 4 mm: minimum 85 % - Passant au tamis de 2 mm: 10 à 40 %
<p>C. 12.12.5. Polymères</p> <p>Ces polymères - sous forme de granulés - peuvent être utilisés comme additifs pour bitumes routiers. Ils sont ajoutés directement dans le malaxeur pour améliorer les caractéristiques des bitumes routiers.</p> <p>Les polymères sont conformes aux spécifications mentionnées dans la fiche technique du fournisseur.</p>	<p>C.9.1.1.3 Polymères</p> <p>Des plastomères – en formes de granulés – peuvent être utilisés comme additifs pour bitumes routiers uniquement dans le cadre de la fabrication d'asphalte coulé. Ils sont ajoutés directement dans le malaxeur pour améliorer les caractéristiques des bitumes routiers.</p> <p>Les polymères sont conformes aux spécifications mentionnées dans la fiche technique du fournisseur.</p>

(Note: Les paragraphes surlignés en bleu sont des paragraphes différents du CCT Qualiroutes.)

- B. Chapitres des trois cahiers des charges types régionaux belges (Région wallonne (SPW, DG01, 2020), Région flamande (Vlaamse Overheid, AWW, 2019) et la Région de Bruxelles-capitale (Bruxelles Mobilité, 2016) dans lesquels l'utilisation des bitumes avec additifs est envisageable.

CCT Qualiroutes - Edition 01/01/2020	SB 250 – Version 4.1	CCT 2015 - Version 2015
<p>x = 11 bitume avec additifs (à préciser dans les documents du marché ou à déclarer par le fabricant)</p> <p>Chapitre C:</p> <ul style="list-style-type: none"> • C.60.1. Asphalte coulé pour étanchéité • C.60.2. Asphalte coulé pour élément linéaire • C.60.3. Asphalte coulé pour couche de protection de l'étanchéité • C.60.4. Asphalte coulé pour revêtement et réparation • C.60.5. Asphalte coulé pour réparation de fissures <p>Chapitre G:</p> <p>G. 2. REVETEMENTS BITUMINEUX</p> <p>G. 2.2.1. MATERIAUX</p> <p>Les bitumes routiers avec additif(s) sont toutefois autorisés sur les routes du réseau I et du réseau IIa dans les enrobés pour couches de liaison et de reprofilage.</p> <ul style="list-style-type: none"> • G. 2.2.2.1. Enrobés à squelette sableux (AC) - G. 2.2.2.1.1. Couches de liaison et de reprofilage - G. 2.2.2.1.2. Couches de roulement - G. 2.2.2.1.3. Couche posée en dessous d'un revêtement en béton de ciment (couche sandwich) (d'application à partir du 01/01/2017) • G. 2.2.2.2. Enrobés à squelette pierreux - G. 2.2.2.2.1. Béton bitumineux grenu à forte teneur en mastic (SMA) - G. 2.2.2.2.2. Enrobés drainants (PA) • G. 2.2.2.3. Enrobés à module élevé (EME) 	<p>X staat voor het type bindmiddel</p> <p>X= 9 = bindmiddel met additieven</p> <p>Hoofdstuk 6</p> <p>2.2.1.2.E Gietasfalt (GA)</p> <p>2.2.1.2.E.2 Bindmiddel</p> <p>Voor de mengsels GA-C, GA-D en GA-E geven de opdrachtdocumenten aan welk bindmiddel gebruikt wordt. Indien geen keuze gemaakt werd, dan wordt de standaardkeuze van tabel 6-2-7 gevolgd.</p> <p>2.2.1.5.A Mengsels voor afdichtingslagen</p> <p>→ GAA-E</p> <p>2.2.1.5.B.2 Bindmiddel</p> <p>De aannemer kiest het soort bindmiddel.</p> <p>2.2.1.5.B Mengsels voor beschermingslagen</p> <p>→ GAB-D</p> <p>2.2.1.5.B.2 Bindmiddel</p> <p>De aannemer kiest het bindmiddel.</p>	<p>x = 11 bitume avec additifs (à déclarer par le fabricant)</p> <p>Chapitre C:</p> <ul style="list-style-type: none"> • C.40.3 Asphalte coulé comme couche d'étanchéité de ponts et de toitures de tunnel • C.40.4 Asphalte coulé pour couche de protection de l'étanchéité • C.47 Asphalte coulé pour réparation de fissure <p>→ bitume avec additifs</p> <p>(à préciser dans les documents du marché)</p> <p>Chapitre F:</p> <ul style="list-style-type: none"> • F.6 Revêtements en asphalte coulé routier <p>→ x = 11: bitume avec additif (à décrire dans le cahier spécial des charges).</p>

Bibliographie

- Ahmad, M. & Ayob, M.B. (2015, April). Improvement of road pavement infrastructure by using polyethylen terephthalate & polypropylene. In *Proceedings of the 23rd TheIIER international conference, Singapore*. Khandagiri, Odisha, India: International Institute of Engineers & Researchers (IIER).
- Brasileiro, L., Moreno-Navarro, F., Tauste-Martínez, R., Matos, J. & del Carmen Rubio-Gámez, M. (2019). Reclaimed polymers as asphalt binder modifiers for more sustainable roads: A Review. *Sustainability*, 11(3), 646. <https://doi.org/10.3390/su11030646>
- Brûlé, B. (1996). Polymer-modified asphalt cements used in the road construction industry: Basic principles. In *Characteristics of asphalt binders* (Transportation Research Record [TRR] No 1535, pp. 48-53). <https://doi.org/10.1177/0361198196153500107>
- Bruxelles Mobilité. (2016). *CCT 2015: Cahier des charges type relatif aux voiries en Région de Bruxelles-Capitale*. Récupéré de <https://mobilite-mobiliteit.brussels/sites/default/files/cct2015fr.pdf>
- Bureau de Normalisation (NBN). (1996-2015). *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats* (NBN EN 933-[1-11]). Bruxelles: Auteur.
- Bureau de Normalisation (NBN). (2002/2004). *Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et d'autre zones de circulation* (NBN EN 13043+AC). Bruxelles: Auteur.
- Bureau de Normalisation (NBN). (2010). *Bitumes et liants bitumineux: Cadre de spécifications des bitumes modifiés par des polymères* (NBN EN 14023). Bruxelles: Auteur.
- Bureau de Normalisation (NBN). (2014). *Bitumes et liants bitumineux: Terminologie* (NBN EN 12597). Bruxelles: Auteur.
- Bureau de Normalisation (NBN). (2016/2017). *Mélanges bitumineux: Spécifications des matériaux. Partie 4: Hot rolled asphalt* (NBN EN 13108-4+AC). Bruxelles: Auteur.
- Bureau de Normalisation (NBN). (2018). *Bitumes et liants bitumineux: Détermination du retour élastique des bitumes modifiés* (NBN EN 13398). Bruxelles: Auteur.
- Centre de Recherches Routières (CRR). (2002). *Code de bonne pratique pour la fabrication des enrobés bitumineux* (Recommandations CRR No R72/O2). Bruxelles: Auteur.
- Chin, C. & Damen, P. (2019). *Viability of using recycled plastics in asphalt and sprayed sealing applications* (Austroads Technical Report No AP-T351-19). Sydney, Australia: Austroads. Récupéré de <https://austroads.com.au/publications/pavement/ap-t351-19>
- Choquet, F. (1984). *Identification et propriétés de bitumes modifiés ou non pour chapes d'étanchéité* (Compte Rendu de Recherche CRR No CR23/84). Bruxelles: Centre de Recherches Routières (CRR).

- Choquet, F.S. & Ista, E.J. (1990, December). The determination of SBS, EVA and APP polymers in modified bitumens. In Wardlaw, K.R & Shuler, S. (eds.), *Symposium on polymer-modified asphalt binders, San Antonio, USA* (ASTM Special Technical Publication [STP] No 1108, pp. 35-49). <https://doi.org/10.1520/STP17825S>
- COPRO. (2012). *Règlement d'application pour bitume modifié par des polymères utilisés dans la construction routière* (Règlement d'Application COPRO No TRA 55, version 4.0). Récupéré de <https://www.copro.eu/fr/document/tra-55-40-reglement-dapplication-pour-bitumes-modifies-par-des-polymeres-utilises-dans-la-construction-routiere>
- COPRO. (2019). *Celebrating 35 years on the road* (Rapport annuel 2018). Récupéré de <https://www.copro.eu/fr/about>
- Dalhat, M.A., Al-Abdul Wahhab, H.I. & Al-Adham, K. (2019). Recycled plastic waste asphalt concrete via mineral aggregate substitution and binder modification. *Journal of materials in civil engineering*, 31(8), 04019134. 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002744
- Daudon, D. (1992). *Remblais allégés en déchets de matières plastiques: Étude du procédé Plastbloc* (Dissertation doctorale). Université Claude Bernard, Lyon.
- De Bock, L., Duerinckx, B., Beaumesnil, B., Glorie, L., Vansteenkiste, S. & Vanelstraete, A. (2019). *Programma Comité vergadering van 23 april 2019: Analyse van het PlasticRoad-concept*. (Document Interne CRR TC 4-118). Bruxelles: Centre de Recherches Routières (CRR).
- de Bondt, A.H. (2004). Polymeerbitumen in de wegenbouw. *Asfalt* 31(1), 10-13.
- Directive (UE) 2019/904 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 relative à la réduction de l'incidence de certains produits en plastique sur l'environnement. Journal officiel de l'Union européenne, L 155, 1-19. Récupéré de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2019:155:FULL&from=EN>
- Dony, A. (1991). *Liants bitumes-polymères: De la fabrication à la mise en œuvre en enrobés: Influence de la nature du bitume sur leurs propriétés mécaniques, leur micromorphologie et leur stabilité thermique* (Études et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Série Chaussées No CR15). Récupéré de https://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/lcpc/ERLPC/ERLPC-CR-LCPC-CR15.pdf
- Dri, M., Canfora, P., Antonopoulos, I.S. & Gaudilat, P. (2018). Processing of mixed plastic packaging waste to maximize recycling yields of high-quality output. In *Best environmental management practice for the waste management sector* (JRC Science for Policy Report No EUR 29136 EN, paragraph 4.7.2, pp. 425-444). <https://doi.org/10.2760.50247>
- Duyndam, A., van Opstal, M., van Zuylen, A. & Stout, G. (eds.). (2006). *De PET-fles. Chemische feitelijkheden* 50(225). Récupéré de <https://www.yumpu.com/nl/document/read/29107019/de-pet-fles-chemische-feitelijkheden>
- European Asphalt Pavement Association (EAPA). (2020). *Asphalt in figures 2018*. Récupéré de https://eapa.org/wp-content/uploads/2020/02/Asphalt-in-figures_2018.pdf
- European Commission (EC). (2019). *European strategy for plastics*. Récupéré de https://ec.europa.eu/environment/waste/plastic_waste.htm
- Hunter, R.N., Self, A. & Read, J. (2015). *The Shell bitumen handbook* (sixth ed.). London: ICE Publishing.

- Kalantar, Z.N., Karim, M.R. & Mahrez, A. (2012). A review of using waste and virgin polymer in pavement. *Construction and building materials*, 33, 55-62. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.01.009>
- Mairesse, M., Petit, J.M., Chéron, J. & Falcy, M. (1999). Produits de dégradation thermique des matières plastiques. *Cahiers de notes documentaires: Hygiène et sécurité du travail* (174), 47-57. Récupéré de www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ND/TI-ND-2097/nd2097.pdf
- Mishra, B. (2016). Use of plastic waste in bituminous mixes of flexible pavements by wet and dry methods: A comparative study. *International journal of modern engineering research (IJMER)*, 6(3), 41-50. Récupéré de http://www.ijmer.com/papers/Vol6_Issue3/Verson-3/G6334150.pdf
- Moerman, E. (2018, January). *Plastic to chemicals as part of Indaver's molecule management*. Présentation au Sotevent Flanders recycling hub, Technopolis, Mechelen. Récupéré de <https://vil.be/wp-content/uploads/2018/01/20180123-Sotevent-FRH-Indaver-Plastic-to-Chemicals-as-part-of-Indaver%E2%80%99s-Molecule-Manage.pdf>
- Persuade. (s.d.). Récupéré de <http://persuade.fehrl.org/>
- PlasticsEurope. (2019). *The circular economy for plastics: A European overview*. Récupéré de <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1899-circular-economy-plastics-european-overview>
- PlasticsEurope & European Association of Plastics Recycling & Recovery Organisations (EPRO). (2018). *Plastics: The facts 2018: An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Récupéré de <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications>
- PlasticsEurope & European Association of Plastics Recycling & Recovery Organisations (EPRO). (2019). *Plastics: The facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Récupéré de <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications>
- Service Public de Wallonie (SPW), Direction Générale Opérationnelle des Routes et des Bâtiments (DGO1). (2020). *CCT Qualiroutes: Cahier des charges-type* (Édition 2020). Récupéré de http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/Qualiroutes/Qualiroutes_2020_01.pdf
- Thermoplastisch elastomeer. (s.d.). Récupéré mars 25, 2020 de Wikipedia: https://nl.wikipedia.org/wiki/Thermoplastisch_elastomeer
- Urquhart, R., Woodall, E., Malone, S. & Lourensz, S. (2016, June). Effects of hot storage on polymer modified binder properties and field performance. In *Proceedings of the 6th Eurasphalt & Eurobitume (E&E) congress, Prague, Czech Republic* (64). [dx.doi.org/10.14311/EE.2016.064](https://doi.org/10.14311/EE.2016.064)
- Vanhoutte, I. (2020). *Chemische recyclage (nog) geen wondermiddel tegen plastic afval*. Récupéré de <https://www.apache.be/2020/02/17/plastic-recyclage/?sh=9183f8981a7a849b66cf2-140283620>
- Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). (s.d.). *Energie- en milieu-informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest (EMIS): Afval en mest verwerkingsselectiesysteem (AFSS): Materiaal-recyclage: Kunststof*. Récupéré de <https://afss.emis.vito.be/techniek/materiaalrecyclage-kunststof>
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). (2019). *Standaardbestek 250 voor de wegenbouw* (version 4.1). Récupéré de <https://docs.wegenenverkeer.be/Standaardbestek%20250/Versie%204.1/>

- Vonk, W., Korenstra, J., Bodt, D. & Heimerikx, G. (1996, Mai). SBS copolymers for road binders with improved processing characteristics and heat stability. In *Proceedings of the Eurasphalt & Eurobitume congress, Strasbourg, Luxembourg* (6.165). Bruxelles: Eurobitume.
- Wanty. (s.d.). *Les Enrobés du Centre (LEDC): Fabrication d'enrobés bitumineux*. Récupéré de <https://www.wanty.eu/enrobes-bitumineux/>
- World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation & McKinsey & Company. (2016). *The new Plastics economy: Rethinking the future of plastics*. Récupéré de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>
- Zoorob, S.E. & Suparna, L.B. (2000). Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt). *Cement & concrete composites*, 22(4), 233-242. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00026-3)

Acronymes utilisés

- PmB** bitume/liant modifié aux polymères
- PlmB** bitume modifié par des déchets plastiques
- PlmBA** enrobé produit avec du bitume modifié par des déchets plastiques
- PlcA** mélange asphaltique avec des déchets plastiques comme liant
- PlgA** mélange asphaltique avec déchets plastiques comme granulat
- SBS** copolymère bloc poly(styrène – butadiène-styrène)
- WEEE** Déchets d'équipements électriques et électroniques (WEEE, *waste electrical and electronic equipment* en anglais)

Les membres ressortissants et adhérents reçoivent gratuitement les publications CRR. Les non-membres peuvent commander une version papier au CRR moyennant paiement.

Plus d'informations:

<https://brrc.be/fr/expertise/publications>

Pour commander cette publication:

publication@brrc.be – Tel.: +32 (0)2 766 03 26

Référence: SF 50 – Prix: 12,00 € (Hors TVA de 6 %)

Autres publications dans la série «Synthèse»

La série «Synthèse» rassemble les publications CRR qui font l'état de la question sur des problèmes déterminés et proposent des voies de recherche.

Référence	Titre	Prix
F 49	Synthèse des connaissances et pratiques à propos des chantiers de nuit	12,00€
F 48/14	Instruments pour les gestionnaires routiers	gratuit
F 47/10	Manuel relatif à la réalisation pratique des passages pour piétons	gratuit
F 46/09	La route: acteur de la mobilité durable	14,00€
F 45/09	Gestion de la sécurité des infrastructures routières: d'une politique curative à une politique préventive	14,00€
F 44/07	Véhicules plus longs et plus lourds – Rapport final	15,00€

Autres séries CRR

-  Recommandations
-  Méthode de mesure
-  Compte rendu de recherche



Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables

Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947
boulevard de la Woluwe 42
1200 Bruxelles
Tél. : 02 775 82 20 - Fax : 02 772 33 74
www.crr.be

«Plastique» est une dénomination populaire qui inclut un très large éventail de matières plastiques fréquemment utilisées dans notre vie quotidienne. Cependant, cet usage engendre – parfois même après une très courte durée de vie – de grandes quantités de déchets plastiques. Ces déchets posent des problèmes majeurs à notre environnement et le défi pour résoudre le problème des déchets plastiques est colossal. Il exige avant tout un effort important de la part de l'industrie du plastique elle-même qui, dans le cadre d'une transition vers une économie plus circulaire, doit s'efforcer de boucler son propre cycle de matériaux en recyclant.

Outre le secteur des matières plastiques même, certains considèrent également le secteur de la construction (routière) comme une alternative possible pour l'utilisation de déchets plastiques, y compris dans la construction des routes en enrobé.

Dans cette synthèse «Analyse relative au recyclage des plastiques dans les mélanges bitumineux», une estimation des possibilités et des limites est établie à partir d'une analyse du processus de production des enrobés pour recycler durablement les déchets plastiques dans l'enrobé, étayée scientifiquement, sur la base des résultats pratiques et des conclusions des recherches. Le document reflète la situation et le savoir-faire actuels en matière de déchets plastiques et d'enrobé.

Trois pistes pour le recyclage des déchets plastiques sont envisagées, à savoir comme matière première pour la production de bitume modifié, comme additif dans le malaxeur pour l'enrobage des minéraux et le remplacement partiel du bitume, et enfin comme granulats, en remplacement de la pierre concassée et du sable. Pour chacune de ces pistes, l'ensemble du processus et du cycle de vie de l'enrobé, de la préparation avant la production de l'enrobé, jusqu'à la démolition de la route en enrobé et enfin sa réutilisation dans du nouvel enrobé, est analysé et discuté.

Cette synthèse a été réalisée avec le soutien et l'accord des membres du groupe de travail ad hoc du CRR «Recyclage des déchets plastiques dans les mélanges bitumineux». Une délégation représentative du secteur belge des enrobés a pris part aux activités de ce groupe de travail, notamment des producteurs d'enrobé, des administrations publiques, des fournisseurs de bitume, des producteurs de granulats, des instituts de recherche et des bureaux-conseils.

Mots-clés ITRD

0177 – RECOMMANDATIONS; 2944 – CHAUSSEE SOUPLE; 3612 – ENDUIT (GEN); 4562 – GESTION DES DECHETS; 4573 – RECYCLAGE (MATER); 4577 – GRANULAT; 4948 – LIANT; 4963 – BITUME; 7454 – MATIERE PLASTIQUE; 8008 – BELGIQUE; 9048 – MODIFICATION