

Matériaux Bitumineux recyclés

Mise à jour de la version : 2013

1.	Définition.....	1
2.	Lois, normes, guides	1
3.	Origine, élaboration, stockage.....	3
4.	Caractéristiques physico-chimiques.....	8
5.	Caractéristiques géotechniques	10
6.	Caractéristiques environnementales	12
7.	Aspects sanitaires	16
8.	Usages (Types d'infrastructures).....	18
9.	Références bibliographique.....	24
10.	Auteurs et relecteurs	29

1. Définition

Selon la nomenclature française des déchets [liste unique définie dans le code de l'environnement, Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances, Titre IV : Déchets Chapitre Ier : Dispositions générales relatives à la prévention et à la gestion des déchets, article R541-8, Annexe II), les agrégats d'enrobés sont inscrits dans le chapitre 17, « déchets de construction et de démolition y compris déblais provenant de sites contaminés », et sont répertoriés selon les rubriques suivantes (l'astérisque signifie que le mélange est considéré comme un produit dangereux présentant une ou plusieurs des propriétés énumérées à l'annexe I de l'article R541-8 du code de l'environnement) :

17 03 01 * mélanges bitumineux contenant du goudron,

17 03 02 mélanges bitumineux autres que ceux visés à la rubrique 17 03 01,

17 03 03 * goudron et produits goudronnés, qui sont aussi des déchets dangereux.

La valorisation concerne uniquement les agrégats d'enrobés non dangereux, donc les mélanges bitumineux référencés 17.03.02.

Selon la classification des déchets, les agrégats sans goudron sont des déchets non dangereux (classification 17 03 02).

Les agrégats d'enrobés bitumineux, sans goudron, sont considérés comme admissibles dans la catégorie des déchets inertes sur les installations de concassage/criblage de déchets inertes (annexe I de l'arrêté du 6 juillet 2011).

2. Lois, normes, guides

2.1 Références législatives et réglementaires

Les agrégats d'enrobés sont considérés comme des déchets de la construction routière ([article L.541-1-II du code de l'environnement](#)). Par ailleurs, ces agrégats ne sont pas, dans la grande majorité des cas, des déchets ultimes ([article L. 541-1-III du code de l'environnement](#)).

Selon l'arrêté du 6 juillet 2011 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516 et 2517 de la nomenclature des installations classées, les agrégats d'enrobés bitumineux, sans goudron, sont considérés comme admissibles dans la catégorie des déchets inertes.

2.2 Références normatives

Normes afférentes aux constituants

Ces normes encadrent la fabrication des agrégats d'enrobés

- AFNOR, NF EN 12591, 2009. « Bitumes et liants bitumineux. Spécifications des bitumes routiers ». 23 p.
- AFNOR FD T 65-000, 2003 ; à XP T 66-070. « Normes sur les liants hydrocarbonés Classification ». 6 p.
- AFNOR NF EN 13108-1, 2007. « Mélanges bitumineux – spécifications des matériaux – Partie 1 : Enrobés bitumineux ». Norme faisant l'objet d'un projet de révision.
- AFNOR NF EN 13108-8, 2006. « Mélanges bitumineux – Spécifications de matériaux – partie 8 : Agrégats d'enrobés » Norme faisant l'objet d'un projet de révision.
- AFNOR NF P 18-545, 2011. « Granulats- Éléments de définition, conformité et codification ». Septembre 2011. Norme faisant l'objet d'un projet de révision.

Normes afférentes aux matériaux composés

- AFNOR NF P98-139, 1994. « Enrobés hydrocarbonés – Couches de roulement : béton bitumineux à froid – Définition – Classification – Caractéristiques – Fabrication – Mise en œuvre ». janvier 1994, 9 p.
- AFNOR NF P 98-149, 2000. « Enrobés hydrocarbonés - Terminologie. Composants et composition des mélanges - Mise en œuvre - Produits - Techniques et procédés ». 28 p. Norme faisant l'objet d'un projet de révision.

On parle de recyclage à faible taux en dessous de 10% d'agrégats d'enrobés, de recyclage à taux moyen entre 10 et 30 % et de recyclage à fort taux au dessus de 30% d'agrégats d'enrobés.

- AFNOR série NF EN 13108-xx, 20006, 2007. « Recueil de normes sur les enrobés hydrocarbonés ». Norme faisant l'objet d'un projet de révision.
- AFNOR XP P 98-121, 2005. « Assises de chaussées - Graves-émulsion - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre - Tirage 2 ». Norme faisant l'objet d'un projet de révision.
- AFNOR NF P 98-139, 1994. « Enrobés hydrocarbonés - Couches de roulement : béton bitumineux à froid - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre. » 9p.

- AFNOR XP P98-121, 2005. « Assises de chaussées – Graves-émulsion – Définition – Classification – Caractéristiques – Fabrication – Mise en œuvre- Tirage 2 ». février 2005, 9 p. Norme faisant l'objet d'un projet de révision.
- AFNOR NF P 98-150-1, 2010. « Enrobés hydrocarbonés - Exécution des assises de chaussées, couches de liaison et couches de roulement - Partie 1 : enrobés hydrocarbonés à chaud - Constituants, formulation, fabrication, transport, mise en œuvre et contrôle sur chantier ». Juin 2010. 36 p.
- AFNOR NF P98-150-2, 2011. « Enrobés hydrocarbonés à froid - Exécution des assises de chaussées, couches de liaison et couches de roulement - Partie 2 : enrobés hydrocarbonés à froid - Constituants, formulation, fabrication, transport, mise en œuvre et contrôle sur chantier ». Avril 2011.
- AFNOR XP 98-151, 1996. « Enrobés hydrocarbonés - Contrôles occasionnels du pourcentage de vides lors de la mise en œuvre avec planche de référence ». 16 p. Norme faisant l'objet d'un projet de révision.
- AFNOR NF P 11-300, 1992. « Exécution des terrassements – classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières ».

2.3 Documents relatifs aux techniques de recyclage

Des documents traitent de points spécifiques concernant le matériel, la technique ou le suivi d'un paramètre particulier :

- Le retraitement à chaud des matériaux bitumineux en centrale d'enrobage, note d'information SETRA N° 98, [Monéron, 1997]
- Recyclage en centrale des enrobés bitumineux, synthèse bibliographique des recherches menées à Blois entre 1978 et 1982 [Seytre, 2002].
- Autoroute A2, Recyclage à très fort taux [Surchamp, 1996]
- Le retraitement en place à froid des anciennes chaussées avec un liant hydraulique, [Lefort, 1997]
- La grave mixte enrobés recyclés–liant routier, [Saubot, 1997],
- Le recyclage en place des chaussées, [Baillie et al, 2000]
- Le recyclage des enrobés drainants [Brosseaud, 1999]
- L'évolution sur la route de liants régénérés [Harlin, 1987]
- Les guides techniques du CFTR (Comité Français des techniques Routières) :
- Retraitement en place à froid des anciennes chaussées [CFTR, 2003]
- Thermorecyclage [CFTR (b), 2004]
- Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussées [CFTR (a), 2004].

3. Origine, élaboration, stockage

Dans le cas d'une mise en stock de mélanges bitumineux, l'élaboration d'agrégats d'enrobés conformes à un nouvel usage comprend les phases de stockage des mélanges, de reprise des mélanges sur stocks, de conditionnement et de stockage

des agrégats prêts à être réutilisés. Il existe donc deux types de stockage, avant et après conditionnement : il est question ici de la mise en stock temporaire d'un produit destiné à être utilisé, et non la mise en décharge. En dehors de la mise en stock d'agrégats, l'obtention de fraisats directement recyclables sur le même chantier est possible.

3.1 Origine

Les agrégats d'enrobés sont des mélanges de granulats, de liants bitumineux et quelquefois d'additifs. Lorsque la traçabilité des anciens chantiers permet de situer les zones dites « à risques » contenant des composants répertoriés dangereux (goudron, amiante), il est fortement conseillé de procéder à une déconstruction sélective et à un tri préalable afin d'orienter les agrégats vers les destinations adaptées (cf circulaire interministérielle du 15 février 2000).

Les agrégats d'enrobés proviennent essentiellement de deux origines (Figure 1 et 2) :



Figure 1 : Stockage de fraisats de provenance unique

Les matériaux de **provenance unique** sont typiquement issus de grands chantiers, susceptibles de fournir plusieurs centaines, voire plusieurs milliers de tonnes. Ces *fraisats*, obtenus par un fraisage respectant des consignes de travail définies à l'aide d'une planche de référence, présentent une homogénéité convenable et leur composition d'origine est souvent connue.

Les **matériaux de provenances diverses stockés de façon individualisée** sont issus de chantiers de moyenne importance, et stockés en fonction de la provenance de l'enrobé. Obtenus essentiellement sous la forme de fraisats, ces agrégats d'enrobés de classe (b) nécessitent généralement un conditionnement destiné à les homogénéiser avant réutilisation.



Figure 2 : Stockage d'agrégats de provenances diverses avant conditionnement

Les autres **matériaux de provenances diverses** regroupent les enrobés issus de la déconstruction de chaussées (**fraisats** et **croûtes**), les fonds de camion et les *surplus de centrale d'enrobage*. Ces agrégats d'enrobés sont souvent hétérogènes et subissent un *conditionnement* pour réduire leur dimension maximale et les homogénéiser (figure 2).

3.2. Elaboration

En France le parc de centrales d'enrobage comporte plus de 500 centrales dont une partie importante sont équipées pour permettre le recyclage des agrégats d'enrobés à chaud ou dans des formules tièdes.

3.2.1 Considérations pratiques

La mise en conformité avant passage en centrale d'enrobage, d'agrégats de provenances diverses comprend trois parties : (i) les stockages successifs des différents enrobés à recycler, (ii) la reprise dans le stock ainsi constitué et (iii) le conditionnement de ces agrégats repris. Ces trois opérations sont menées dans l'optique de favoriser l'homogénéité des agrégats d'enrobés. Après conditionnement par concassage, criblage ou fraisage avant emploi immédiat, les agrégats d'enrobés ne doivent pas être stockés sur une hauteur importante (supérieure à 3m), et la durée de stockage doit être limitée afin d'éviter la prise en bloc du matériau.

3.2.2 Conditionnement avant utilisation dans des formules avec recyclés

Le conditionnement des agrégats est fonction de l'usage envisagé, avec des contraintes en matière d'études préalables imposées par la technique de fabrication du nouvel enrobé. Le document de référence est le guide technique du CFTR [CFTR (a), 2004] : « Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussées ».

Les étapes successives d'un conditionnement sous la forme d'agrégats 0/10mm sont représentées sur les figures 3, 4 et 5. Dans tous les cas, il reste des refus au criblage réalisé, qui sont destinés aux techniques autres que celle de l'élaboration à chaud en centrale (figure 6).



Figure 3 : Stock d'agrégats avant conditionnement



Figure 4 : Reprise par pelle mécanique avant concassage



Figure 5 : Stock d'agrégats 0/10mm après concassage – criblage



Figure 6 : Stock de refus au criblage à 12,5 mm

Pour incorporer les AE en centrale à chaud, le conditionnement consiste ainsi à réduire la taille maximale des matériaux et à pratiquer une homogénéisation des agrégats pour les rendre conformes à la norme. Ce conditionnement, réalisé par concassage - criblage, conduit à constituer des stocks temporaires d'agrégats dont la granularité dépend du type de formulation envisagée (béton bitumineux ou grave bitume).

Selon les disponibilités en matière de surface de stockage individualisé, on trouve des stocks de type 0/6, 0/10, 0/12,5 mm destiné à être utilisé dans une formulation bien spécifique (béton bitumineux) ou un stock général destiné à la fabrication de grave bitume.

Lorsqu'il s'agit d'un réemploi (utilisation en place), le conditionnement est effectué par fragmentation lors de l'opération de reprise des agrégats d'enrobés. Les documents de référence sont les guides techniques du CFTR sur le retraitement en place à froid des anciennes chaussées [CFTR (a), 2003] et le thermorecyclage [CFTR (b), 2004].

La valorisation en terrassements (remblais), moins noble que l'utilisation pour la fabrication de nouveaux enrobés, est subordonnée au classement des agrégats d'enrobés, par la taille maximale de ces agrégats et par la connaissance de leurs caractéristiques géotechniques. Les documents de référence sont la norme NF P 11-300 [AFNOR, 1992] et le Guide Technique de réalisation des Remblais et couches de forme (GTR) [SETRA, LCPC, 2000].

4. Caractéristiques physico-chimiques

4.1 Caractéristiques générales

Quel que soit le mode de récupération, fraisage ou récupération par croûtes, la nature minéralogique des agrégats d'enrobés est celle des granulats naturels d'origine, provenant de roches massives ou de matériaux alluvionnaires, dont les caractéristiques sont données dans la rubrique granulats routiers classiques. Par ailleurs ces granulats sont enrobés d'un bitume fabriqué industriellement par distillation des pétroles bruts. La diversité des molécules présentes dans les bitumes rend impossible la détermination de leur composition exacte [Farcas, 1998].

Hormis le goudron, traité à part pour son caractère très nocif, les agrégats, provenant des enrobés très minces, minces ou épais, des enrobés drainants, des couches d'accrochage, des enrobés coulés à froid, des couches antifissures, peuvent contenir :

- ❖ des bitumes routiers, essentiellement fabriqués par distillation directe, et désignés par une fourchette de pénétrabilité à 25°C. Les spécifications auxquelles répondent ces bitumes sont contenues dans la norme NF EN 12591 [AFNOR, 2009],
- ❖ des bitumes modifiés par l'adjonction de polymères thermoplastiques sélectionnés. Les spécifications auxquelles répondent ces bitumes/polymères sont contenues dans la norme NF EN 14023 [AFNOR, 2010],
- ❖ des additifs, tels que matières plastiques recyclées, granulats de caoutchouc, fibres, asphaltes naturels,
- ❖ des bitumes fluxés, (enrobés stockables, émulsion de bitume, enduit superficiel),
- ❖ des bitumes spéciaux de type multigrade, et des bitumes pigmentables (enrobés de couleur se retrouvant au niveau des agrégats de provenances diverses)
- ❖ à l'avenir tous les matériaux issus de déchets, pouvant être incorporés dans les enrobés d'origine.

4.2 Problème spécifique lié au goudron

En technique routière, le bitume a remplacé le goudron après la guerre, suite au développement de l'industrie pétrolière, et son utilisation s'impose dans les années

soixante. Par la suite, l'emploi du goudron a été limité à la fabrication d'enrobés spéciaux à usage anti-kérosène (voies d'accès d'avions, aérodromes, aires de station service...) et accessoirement à la fonction de fluxant des liants pour enduits superficiels. A l'heure actuelle, le goudron n'est plus utilisé dans les enrobés routiers en raison de la présence d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), composés toxiques qui peuvent être libérés lors des différents traitements thermiques. Ainsi, les réglementations en vigueur portent désormais sur la teneur en HAP et non plus sur la présence de goudron. La réutilisation d'agrégats d'enrobés pollués par du goudron est interdite, ou parfois limitée à certaines applications aux couches de fondation liées, dans lesquelles l'agrégat, lors d'un processus de mélange à froid, est encapsulé par un liant d'ajout.

Actuellement, on peut donc penser que le problème du goudron concerne plus spécifiquement les sites répertoriés avec enrobés spéciaux pour la nécessité de résistance aux solvants pétroliers et les agrégats de provenances diverses à cause de la présence d'enduits superficiels réalisés avec des bitumes fluxés. L'entretien des couches de surface ne doit donc pas, dans la quasi totalité des cas, poser de problème particulier. Si les sites avec enrobés spéciaux sont localisables, la traçabilité des autres chantiers potentiellement à risque est néanmoins inexistante, et pouvoir déterminer rapidement et avec certitude si les agrégats contiennent ou non du goudron est nécessaire [Brazillet et al, 2001].

Une analyse pour vérifier l'absence de goudron est nécessaire en cas de doute et en l'absence de connaissances sur les caractéristiques des enrobés d'origine. L'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) a mené une étude sur les différentes méthodes permettant de détecter rapidement l'éventuelle présence de goudron dans les déchets du réseau routier. Le texte intégral du rapport [Brazillet et al, 2001] est consultable (<http://www.ineris.fr>).

L'évacuation de ces produits en installations de stockage de déchets inertes est possible à l'unique condition que la valeur seuil de 50 mg de HAP / kg de déchet sec ne soit pas dépassé (arrêté du 22 mars 2006 JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE Texte 33).

Pour la mesurer, plusieurs méthodes peuvent être mises à contribution selon le but de l'analyse (sur site ou en laboratoire) et selon la limite de détection à atteindre :

- Méthode de détection rapides et qualitatives (vérification de la présence ou absence de goudron)
- Détection semi-quantitative par Chromatographie sur Couche Mince
- Méthodes de détection quantitatives (GC/MS ou CLHP)

4.3. Problèmes spécifiques liés à l'amiante

Dans les enrobés, l'amiante a été utilisé à une certaine époque, sous forme de fibres destinées à fixer une quantité de bitume plus importante conduisant à un film de bitume plus épais et à une amélioration du comportement à la fatigue. Selon le type d'enrobé fabriqué, la teneur pondérale en fibres d'amiante était de 0,5 à 1,4% (% par rapport aux granulats). Les fibres d'amiante utilisées en technique routière étaient du chrysotile (famille des serpentines) constitué de silicate de magnésium hydraté dont la longueur des fibres varie de 1,5 à 40 µm).

Les méthodes de mesure de l'amiante sont réparties en deux catégories :

- celles qui permettent de définir le nombre et la nature des fibres. Ce sont les mesures utilisant la Microscopie Electronique à Transmission Analytique (META)
- celles qui ne fournissent que le nombre de fibres sans en déterminer la nature. Ce sont les mesures utilisant la Microscopie Optique en Contraste de Phase (MOCP) ou des compteurs de fibres instantanés (Fibrous Aerosol Monitor, FAM). Ces fibres ont été abandonnées en France après 1997 suite à l'interdiction de mise sur le marché et d'utilisation d'amiante en France, et remplacées par l'utilisation de fibres végétales ou minérales.

5. Caractéristiques géotechniques

5.1. Caractéristiques de fabrication des agrégats d'enrobés

Les agrégats d'enrobés sont considérés comme des constituants à part entière. La caractérisation de ces agrégats est réalisée pour le classement et les études de formulation imposés par certaines techniques de traitement, en conformité avec la fabrication d'un produit normalisé. Pour le recyclage à chaud en centrale, les caractéristiques des agrégats d'enrobés sont spécifiées dans la Fiche Technique Agrégats d'Enrobés (FTAE) définie dans le Guide d'Utilisation des Normes Enrobés à chaud [SETRA, 2008], et conduisent à des recommandations sur leur utilisation. Cette fiche peut par ailleurs être de type « renseignée » comparable, dans l'esprit, à la fiche technique renseignée des granulats (FTP) de la norme XP P 18-545 [AFNOR, 2004]. Dans ce cas, les valeurs sont annoncées par le fournisseur des agrégats.

Par analogie avec les granulats naturels, les agrégats d'enrobés sont caractérisés après récupération (fraisage) ou après conditionnement (concassage - criblage) comme suit.

Les agrégats d'enrobés récupérés **par fraisage** et destinés à être utilisés sans conditionnement supplémentaire possèdent les caractéristiques moyennes suivantes :

- Une granularité 0/20 à 0/31,5 mm, la granularité étant principalement dépendante de la vitesse d'avancement de la fraiseuse et de la profondeur de fraisage.
- Une teneur en eau inférieure à 3%, la teneur en eau influant sur le séchage dans le tambour sécheur.
- Un refus à 25mm inférieur à 7% ; la quantité de gros agglomérats (> 25mm) est donc limitée pour favoriser la fragmentation de ces agglomérats dans le tambour sécheur.

Les agrégats d'enrobés récupérés par des moyens **autres que le fraisage** (retours chantiers, pelles, brise roches..) se présentent sous la forme de blocs de quelques kg à une centaine de kg pour des surfaces atteignant le m². Le conditionnement par concassage - criblage permet d'obtenir des granularités conformes à celles souhaitées pour l'utilisation envisagée : 0/6, 0/12,5, 0/20mm.

Les caractéristiques moyennes de ces agrégats (obtenus par fraisage ou concassage criblage) deviennent:

- granularité 0/10 à 0/14mm
- % fines variant de 8 à 12

La figure 7 donne une idée de la ***courbe granulométrique*** moyenne et des valeurs extrêmes obtenues à partir d'analyses d'agrégats d'enrobés de diverses origines et de conditionnement différents (fraisage ou concassage criblage) selon des travaux anciens effectués par IFSTTAR (ex-LCPC).

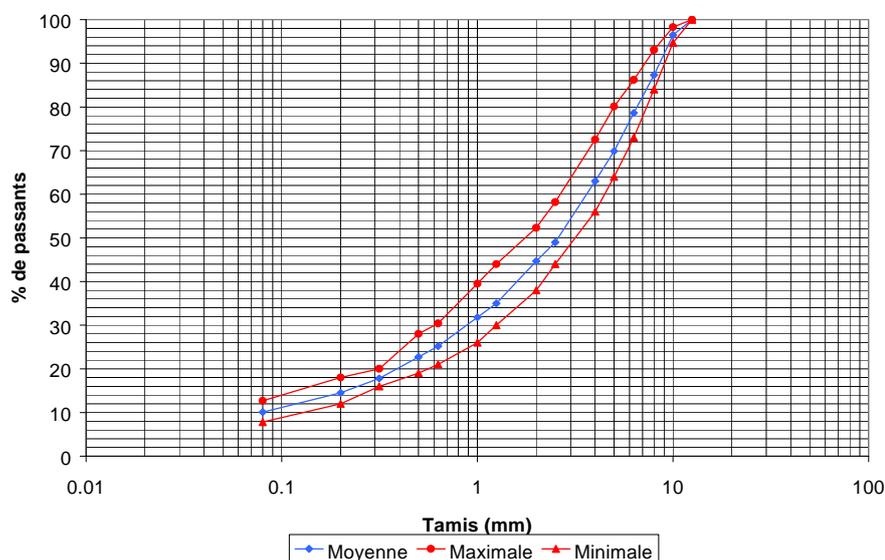


Figure 7 : Courbes granulométriques moyenne des agrégats

5.2 Caractéristiques du liant

La ***teneur en liant*** des agrégats est fonction de leur provenance (type de couche routière) et par là même de leur mode d'obtention (processus de déconstruction). Lorsque les agrégats sont récupérés par fraisage d'une couche d'enrobé homogène, la teneur en liant est proche de celle de l'enrobé d'origine. Lorsque les agrégats sont obtenus après le conditionnement d'enrobés de provenances diverses, la teneur en liant moyenne est généralement de l'ordre de 4,5 à 4,7%.

Ce liant, ***vieilli***, a subi un premier choc (choc thermique et modifications chimiques) au cours de la fabrication et de la mise en œuvre de l'enrobé d'origine, suivi d'une évolution plus lente dans le temps (oxydation à basse température). L'oxydation des bitumes, qui se produit pendant leur vieillissement à l'enrobage comme sur route, se traduit par un changement dans leur composition générique [Farcas, 1998]. Ce « vieillissement » (perte en moyenne d'une classe pour un bitume pur) se traduit par une augmentation de sa consistance (durcissement) et de sa teneur en asphaltènes. Les caractéristiques du liant vieilli dépendent ainsi des caractéristiques du liant d'origine, du nombre d'années de service, de la porosité de l'enrobé, de la température, des rayons ultraviolets du soleil, de la nature des granulats [Farcas, 1998 ; Mouillet & Dumas, 2008] et des sollicitations subies par l'enrobé « récupéré ».

Ces caractéristiques, mesurées après récupération du liant des agrégats, sont représentatives, dans le cas d'agrégats récupérés par fraisage, d'une couche d'enrobés homogènes. En France, les bitumes sont caractérisés par des essais normalisés dont les plus connus sont la pénétrabilité (NF EN 1426) et le point de ramollissement (méthode bille et anneau) (NF EN 1427) qui permettent d'apprécier leur consistance. Par ailleurs, les modifications de consistance pouvant s'accompagner de variations de la quantité et de la qualité des asphaltènes. Cette

teneur en asphaltènes est aussi un élément pris en compte dans la caractérisation du liant ancien, caractéristiques qui influent sur le choix d'un liant d'apport classique ou de régénération.

Le liant ancien peut donc présenter, selon le chantier dont les agrégats sont issus, des caractéristiques très différentes, (Tableau 1).

Pénétrabilité à 25°C (1/10mm)	Température Bille Anneau (°C)	Teneur en asphaltènes (%)
De 8 à 50	De 55 à 80	De 15 à 25

- **Tableau 1** : ordres de grandeurs des caractéristiques des liants anciens

Pour les agrégats **d'enrobés issus de provenances diverses**, la difficulté de prélever des échantillons représentatifs, couplée à la difficulté matérielle (coût et temps) de multiplier les analyses fait que ces caractéristiques restent imprécises. Dans ce cas, le choix de la technique de valorisation et la limitation de la part d'agrégats à incorporer (taux de recyclage) compensent ce manque de précision.

5.3. Classement des agrégats pour différents types d'utilisation

Terrassement

Dans l'optique d'une valorisation en remblais et couches de forme, les agrégats appartiennent à la famille F7 définie dans la norme NF P 11-300 [AFNOR, 1992] (matériaux de démolition). S'ils sont concassés et criblés (ou s'il s'agit de **fraisats**), ils se rattachent à la classe F71. Dans le cas inverse, ils sont à classer en F73. Comme tous les matériaux de la classe F, la définition de leurs possibilités d'utilisation fait ensuite appel à divers critères géotechniques qui permettent de les assimiler à des sols ou roches. Compte tenu de leur diamètre D, de leurs passants à 80µm et 2mm, et de leurs caractéristiques mécaniques (L.A. + M.D.E.), les agrégats concassés-criblés ou fraisés sont assimilables la plupart du temps aux classes D21 ou D23.

Chaussées

Pour l'utilisation dans les **enrobés hydrocarbonés à chaud**, le Guide d'Utilisation des Normes Enrobés à chaud [SETRA, 2008] et la norme NF EN 13108-8 , [AFNOR, 2006] fixent les catégories d'agrégats en fonction de la granularité (G1, G2, GNS) et des caractéristiques intrinsèques des granulats (R1, RNS), ainsi que de la teneur en liant (TL1, TL2, TLNS) et des caractéristiques de ce liant (B1, B2 et BNS). Le qualificatif NS signifie non spécifié, lorsque la caractérisation pose des problèmes de représentativité, et dans ce cas le domaine d'emploi (cf. 8.3) nécessite la limitation du taux de recyclage.

Pour les **autres utilisations** en tant que granulats pour chaussées (G.N.T., M.T.L.H.,...), les agrégats sont considérés comme des granulats recyclés au sens de la norme NF P18-545 [AFNOR, 2011], et doivent donc être classés selon les critères habituels de cette norme.

6. Caractéristiques environnementales

6-1 Effets sur les écosystèmes

6-2 Acceptabilité environnementale

Par le passé, peu d'études ont été menées afin de caractériser le comportement à la lixiviation des agrégats d'enrobés.

Au niveau français, citons les études :

- Du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de St Brieuc [Odie, 2002] sur la caractérisation environnementale de deux fraisats d'enrobés (échantillons issus pour l'un d'une couche de BBSG et l'autre d'un enduit superficiel ayant été tous les deux couches de roulement d'une route nationale de trafic T1 pendant 10 ans, dont les connaissances antérieures permettaient de s'assurer de l'absence de goudron),
- de l'INERIS concernant des essais de percolation sur deux déchets bitumineux (deux échantillons issus pour l'un d'une route départementale et pour l'autre d'un prélèvement urbain, dont les connaissances antérieures ne permettaient pas de s'assurer de l'absence de goudron) [Pépin, 1998],
- de l'IFSTTAR qui ont concerné la réalisation de tests de lixiviation AFNOR XP X 31-210 (1998) sur des échantillons de fraisats d'enrobés prélevés sur un chantier de démolition/reconstruction situé sur la RN76 près de Romorantin (Loir et Cher) [Jullien et al., 2004] et sur des échantillons d'enrobé neuf conventionnel [Legret et al., 2005].

Les résultats montraient :

- Un pH des éluats est proche de la neutralité ou légèrement alcalin (compris entre 7,2 et 7,8)
- Une faible minéralisation des éluats (faible conductivité électrique (<50 $\mu\text{S}/\text{cm}$), faible concentration en chlorure (<5 mg/l) et en sulfate (<2 mg/l)),
- En ce qui concerne les métaux lourds, des concentrations mesurées quasiment toujours inférieures aux limites de détection,
- Un niveau de relargage faible des composés organiques tels que les hydrocarbures totaux (~50-150 $\mu\text{g}/\text{l}$), les HAP (~ 10^{-2} $\mu\text{g}/\text{l}$), avec des valeurs systématiquement inférieures pour l'enrobé neuf conventionnel comparés aux fraisats,
- Pour les éléments relargués (zinc notamment), un épuisement rapide du relargage au cours des essais de percolation.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de la littérature internationale [Kriech, 1997], [Townsend, 1998], [Brantley et Townsend, 1999], [Brandt et De Groot, 2001]. Notons parmi ces résultats, le relargage du plomb sur un échantillon en raison d'une exposition plus longue mais ancienne à la circulation des véhicules roulant au supercarburant.

A partir des résultats des tests de percolation obtenus sur des agrégats (fraisats d'une couche de BBSG ayant été couche de roulement pendant 10 ans sur une route nationale de trafic T1+), une estimation des transferts de substances a été réalisée dans l'optique d'une « mise en stock » [Odie, 2002]. Les calculs effectués montrent que les eaux de percolation issues du stock de fraisats étaient proches du seuil de

potabilité de l'époque [Odie, 2002]. Les fraisats étudiés étaient, certes, assimilés à des déchets inertes, mais le calcul est réalisé sans prendre en compte de facteur de dilution, dilution qui intervient dans la problématique réelle du stockage.

Plus récemment, 2 études de caractérisation de matériaux ont été réalisées en 2010 et 2011 [FNTP, 2010 et FNTP, 2011] dans le cadre de l'élaboration du guide d'application aux matériaux de déconstruction du BTP du guide SETRA « Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière » (cf. rubrique « aspects environnementaux »). Ces études ont permis de déterminer les caractéristiques de relargage et de contenu en certains composés organiques des bétons de démolition, des agrégats d'enrobés et des matériaux mixtes et d'en dériver le référentiel environnemental de contrôle de routine de ces matériaux recyclés en technique routière.

Les caractéristiques de relargage mise en évidence sont cohérentes avec celles identifiées au cours des études antérieures menées en France ou à l'international. Ce guide d'application sera publié début 2014.

6-3 Condition de fabrication et de mise en œuvre

6.3.1 Rejets en lien avec le contenu des AE

En terme de caractéristiques environnementales, l'agrégat d'enrobé pourrait, en dehors du goudron, être potentiellement polluant à cause :

- ❖ des constituants qui entrent dans sa **composition initiale** (liant, additifs..), et qui, même s'ils ne posent pas de problème lors de la fabrication de l'enrobé d'origine, peuvent constituer une source de pollution à la réutilisation (ainsi dans le cas de la réutilisation à chaud en centrale, les agrégats peuvent être exposés à des températures plus élevées que celles du liant et des additifs lors de la fabrication de l'enrobé d'origine, favorisant des émissions gazeuses). Dans ce domaine, il faut noter que l'introduction de produits issus de la valorisation de déchets dans la composition des enrobés bitumineux peut avoir un effet négatif sur l'environnement et qu'il est important de connaître l'existence de ces déchets pour le recyclage ultérieur (fiche de caractérisation FTAE) ;
- ❖ des substances **d'origine externe** amenées lors de la durée de vie de l'enrobé (par exemple circulation routière, corrosion des rails de sécurité...).
- ❖ des **constituants spécifiques** employés lors de la réutilisation (par exemple liant de régénération très susceptible thermiquement dans le cas de la réutilisation en centrale à chaud et à fort taux de recyclage).

Le fait de recycler induit très souvent l'utilisation d'un liant d'apport classique ou éventuellement de régénération qui est différent de celui qui serait utilisé pour une fabrication sans recyclage, avec une aptitude supérieure aux transferts de substances dans les 3 milieux concernés, l'air, l'eau et les sols.

6.3.2 Rejets en lien avec les techniques d'élaboration des enrobés et les AE

Dans la technique du **recyclage à chaud en centrale**, la réutilisation d'agrégats d'enrobés dont le liant est particulièrement vieilli peut nécessiter l'utilisation d'un liant d'ajout ayant un pouvoir fluidifiant et repectisant (dispersion et stabilisation des asphaltènes) sur ce bitume vieilli, pour qu'il retrouve ses propriétés initiales. La

conséquence est une susceptibilité thermique plus importante pour ce liant d'ajout, qui peut se traduire par des émissions gazeuses lors de la fabrication et la mise en œuvre des nouveaux enrobés [Jullien et al, 2002]. Seules des mesures d'émissions reliées aux fabrications peuvent permettre néanmoins d'approcher finement ces différences. Pour plus de précisions sur les inventaires se reporter à la fiche ACV sur les agrégats et le bitume.

Dans le souci de limiter les nuisances environnementales, l'industrie routière a développé de nouveaux procédés de fabrication à température réduite (enrobés tièdes, semi-tièdes..). Ces techniques «tièdes» permettent une réduction de la consommation de combustible et des émissions de gaz lors de la fabrication tout en limitant l'exposition des travailleurs lors de la mise en œuvre. De plus, la réduction du vieillissement du bitume liée à l'abaissement de la température d'enrobage permet d'envisager des taux d'incorporation d'agrégats plus élevés. Ces nouvelles techniques représentent donc une opportunité de concilier augmentation du recyclage d'agrégats et réduction des nuisances environnementales et sanitaires. Pourtant, elles tardent à se généraliser et ne représentent actuellement qu'environ 1% de la production nationale.

6-4 Suivi environnemental des enrobés en place

Une fois en place, ces mêmes particularités de composition chimique peuvent entraîner une modification de la composition des eaux de ruissellement et de percolation à travers les couches de chaussées. La question peut aussi se poser pour les eaux de rupture d'émulsion, en cas de recyclage à froid, en particulier du fait de la présence d'émulsifiant.

Ainsi, les eaux de percolation à travers quatre sections d'une route expérimentale (RN76 près de Romorantin (Loir-et-Cher) contenant des taux croissants d'enrobés recyclés, 0, 10, 20 et 30%, ont été recueillies et analysées pendant plus d'une année. Onze échantillons moyens ont été prélevés pendant cette période :

- Le pH est proche de la neutralité, il varie entre 6,5 et 7,8 et se situe en classe « bleue » du Système d'Evaluation de la Qualité (SEQ) des cours d'eaux (eaux de très bonne qualité). Il est peu affecté par le salage hivernal.
- La valeur moyenne des M.E.S. en dehors des périodes de salage est de 11 mg/L avec une valeur à 63 mg/L. En période de salage, on note une valeur maximale de 139 mg/L. Les valeurs limites de référence sont de 5 mg/L en classe « bleue » (très bonne qualité) et de 50 mg/L en classe « orange » (mauvaise qualité) selon le SEQ des cours d'eaux. La norme européenne pour le rejet des installations classées est de 35 mg/L.
- La DCO est comprise entre moins de 20 mg/L (limite de quantification et valeur limite des eaux « bleues » du SEQ) et 89 mg/L (eaux « orange » de mauvaise qualité).

- La valeur moyenne du NTK est de 1,3 mgN/L, inférieure à la valeur limite de 2 mgN/L des eaux de classe « verte » (bonne qualité) du SEQ.
- La conductivité est très faible en dehors des périodes de salage, comprise entre 40 et 175 $\mu\text{S/cm}$, les valeurs limites pour les eaux « bleues » étant de 2500 $\mu\text{S/cm}$. Les concentrations en nitrates, sulfates et chlorures correspondent également à des eaux de bonne qualité selon le SEQ des cours d'eaux. En période de salage, les valeurs de conductivité et de chlorures sont plus élevées, avec des maximum de 2832 $\mu\text{S/cm}$ pour la conductivité et 930 mg/L pour les chlorures.
- Les concentrations en métaux lourds sont souvent inférieures aux limites de quantification et toujours inférieures aux valeurs limites pour les eaux potables.
- Les hydrocarbures totaux et les HAP ont été dosés sur les eaux de percolation provenant des planches contenant 0 et 20 % d'enrobés recyclés. Les concentrations en hydrocarbures totaux sont toutes inférieures à la valeur d'intervention de la norme hollandaise pour les eaux souterraines (0,6 mg/L) et à la valeur limite des eaux douces superficielles destinées à la production d'eau de consommation (1 mg/L). La valeur maximale mesurée (0,55 mg/L) correspond à une période de salage. En ce qui concerne les HAP, seule une valeur dépasse 0,200 $\mu\text{g/L}$, valeur limite pour les eaux de bonne qualité, classe « verte » du SEQ des cours d'eaux. Toutes les valeurs sont inférieures à 1 $\mu\text{g/L}$, valeur limite pour les eaux destinées à la production d'eau de consommation.

En conclusion, les eaux de percolation apparaissent très faiblement impactées. Les concentrations en métaux lourds sont faibles ainsi que les concentrations en hydrocarbures. La mauvaise qualité des eaux de percolation est due principalement aux opérations de salage et concerne notamment la teneur en chlorures et en sodium. Des pics de pollution pour la DCO et les MES sont également apparus mais les teneurs sont généralement très faibles.

Enfin, il ne semble pas apparaître de différence significative de comportement, d'une part entre les différents taux de recyclage des enrobés, et d'autre part, par rapport à la planche témoin.

7. Aspects sanitaires

Les impacts sur l'environnement et la santé des différentes étapes de la technologie des enrobés bitumineux sont à l'étude depuis des années [AIPCR, 1995] ; [Townsend, 1998]. Se pose ainsi la question de la prise en compte de valeurs de référence adéquates (dans l'hypothèse d'une approche générique) et il est aujourd'hui difficile d'estimer les effets marginaux sur l'environnement et la santé d'un remplacement partiel des granulats neufs par des agrégats d'enrobés. Des renseignements concernant le classement des substances et leur dangerosité, selon le mode d'exposition, pour la santé humaine sont donnés sur les sites de l'E.P.A. (Environmental Protection Agency) et du C.I.R.C et également au niveau européen.

A l'intention des chercheurs souhaitant s'intéresser à ce problème, on peut signaler quelques spécificités liés à l'utilisation d'enrobés recyclés, dignes d'une évaluation environnementale particulière :

- **Récupération des agrégats**

Lors de la récupération des agrégats, par fraisage ou autre méthode de démolition, la présence d'amiante dans les enrobés d'origine peut entraîner une mise en suspension dans l'air de fibres. La concentration de fibres d'amiante dans l'air est généralement comptée en fibres par litre d'air. Légalement les concentrations pour les ouvriers travaillant sur des chantiers de désamiantage sont encore comptées en fibres par cm³.

Des différentes analyses réalisées lors de chantiers de récupération d'enrobés avec fibres d'amiante (fraisage ou sciage et enlèvement des plaques au chargeur), il ressort que si la plupart des résultats sont inférieurs au seuil prescrit (0,1 fibre/cm³), certaines mesures se trouvent en valeur limite (valeur moyenne de 0,094 fibre/cm³) et une mesure (à proximité du tambour de fraisage) le dépasse (0,2 fibre/cm³).

- **Recyclage à chaud**

En cas de recyclage à chaud, les liants anciens contenus dans les agrégats d'enrobés peuvent subir des élévations de température plus importantes que les liants neufs utilisés dans le cycle normal de fabrication d'un enrobé. De plus, les liants de régénération conçus pour les opérations de recyclage d'agrégats en place ou en centrale (à fort taux de recyclage), utilisés pour diminuer la consistance du bitume vieilli (ajout de fractions aromatiques), présentent une susceptibilité thermique plus élevée. Il peut résulter de ces particularités de composition une modification de la nature des émissions gazeuses, et ce durant les phases de fabrication, de transport et de mise en œuvre.

- **Emission de particules solides à l'atmosphère**

La fabrication des enrobés à chaud impose le séchage et le chauffage des constituants, et donc des agrégats dans le cas du recyclage. A l'intérieur du sécheur, l'échange thermique entre les gaz en écoulement turbulent et les matériaux s'accompagne d'un envol de particules fines, minérales et hydrocarbonées.

Centrale de type tambour sécheur enrobeur

➤ Dans le cas d'une centrale de type Tambour Sécheur Enrobeur (TSE) à équicourant, la problématique de l'envol des particules solides lié au recyclage des agrégats est spécifique. Les agrégats d'enrobés sont introduits en partie médiane du tambour. L'envol des particules solides concerne :

- des particules (granulats naturels) $\leq 0,100$ mm non enrobées pour la partie séchage
- des particules (agrégats) $\leq 0,200$ mm enrobées avec le liant des agrégats pour la partie recyclage
- des particules $\leq 0,500$ mm enrobées avec le liant total pour la partie malaxage.

Pour respecter le seuil de 100 mg/Nm³, le dépoussiéreur doit donc arrêter la quasi totalité des particules supérieures à 5µm. Il est logique d'estimer que ces particules sont à sédimentation lente et très lente, ne se déposent pas dans la périphérie de la centrale de fabrication et sont dispersées à l'atmosphère. La plupart des particules solides proviennent des granulats, sont inertes, et sont nocives simplement par

accumulation. Compte tenu des quantités et des vitesses de sédimentation des particules concernées, cette nocivité par les particules inertes ne s'applique pas à la fabrication des enrobés. Lors du recyclage certaines particules sont enrobées de bitume et certains matériaux ou déchets de remplacement peuvent faire l'objet d'une surveillance particulière. Nous ne disposons pas d'informations spécifiques à ces différents cas. Les particules solides peuvent par ailleurs servir de vecteurs à différentes substances toxiques (HAP, fumérons acides).

Des expérimentations réalisées sur une centrale du type tambour sécheur enrobeur, il ressort que la quantité totale de particules solides à traiter par le dépoussiéreur varie et que la teneur en liant augmente avec le taux de recyclage [Gallenne et al, 1998].

Autres centrales

- D'autres centrales sont aussi adaptées au recyclage d'agrégats, mais avec une influence moindre sur l'envol des particules provenant des agrégats, puisque ceux ci sont introduits en dehors du courant gazeux.

Sur ces autres centrales (tambour sécheur enrobeur à contre courant, centrale de type discontinu), le recyclage n'induit pas, en matière d'envol de particules solides, de différence par rapport aux fabrications classiques.

Sur toutes les centrales, les gaz sont dépoussiérés avant le rejet à l'atmosphère, et les particules récupérées sont réintroduites dans la fabrication. Lorsque les dépoussiéreurs sont en bon état de fonctionnement (rendement supérieur à 99.9%), les émissions totales de particules solides à l'atmosphère sont régulièrement inférieures à 50mg/Nm, et le recyclage est théoriquement sans effet sur cette quantité.

8. Usages (Types d'infrastructures)

8.1. Les différentes pratiques existantes

Les agrégats d'enrobés se caractérisent par des défauts d'homogénéité conditionnés par la grande diversité de provenances de ces déchets routiers. Leur valorisation optimale doit tenir compte de ce critère d'homogénéité et de la difficulté de pratiquer, en fonction des possibilités techniques et des contraintes économiques, un tri complet et un stockage adapté. Ces exigences conduisent à la prise en compte de plusieurs possibilités en matière de réutilisation. Après vérification de l'absence d'un déchet classé dangereux (par essai spécifique ou par déclaration avec traçabilité de la composition de l'enrobé d'origine), ces possibilités sont regroupées dans :

- le retraitement en place à froid,
- le retraitement en centrale à froid
- le recyclage en centrale à chaud ou tiède
- l'utilisation en remblais routiers.

Ces techniques sont complémentaires. Elles permettent, en conciliant le domaine d'emploi, les caractéristiques des agrégats et le taux de recyclage, de s'affranchir de

la variabilité de l'homogénéité des agrégats d'enrobés en proposant des choix qui couvrent toutes les couches de chaussées, tous les trafics. Cet ensemble constitue une réponse à la nécessité de réutiliser tous les déchets de la construction routière dans le respect des contraintes environnementales actuelles.

La figure 8 synthétise les différentes techniques proposées en matière de réutilisation des agrégats d'enrobés.

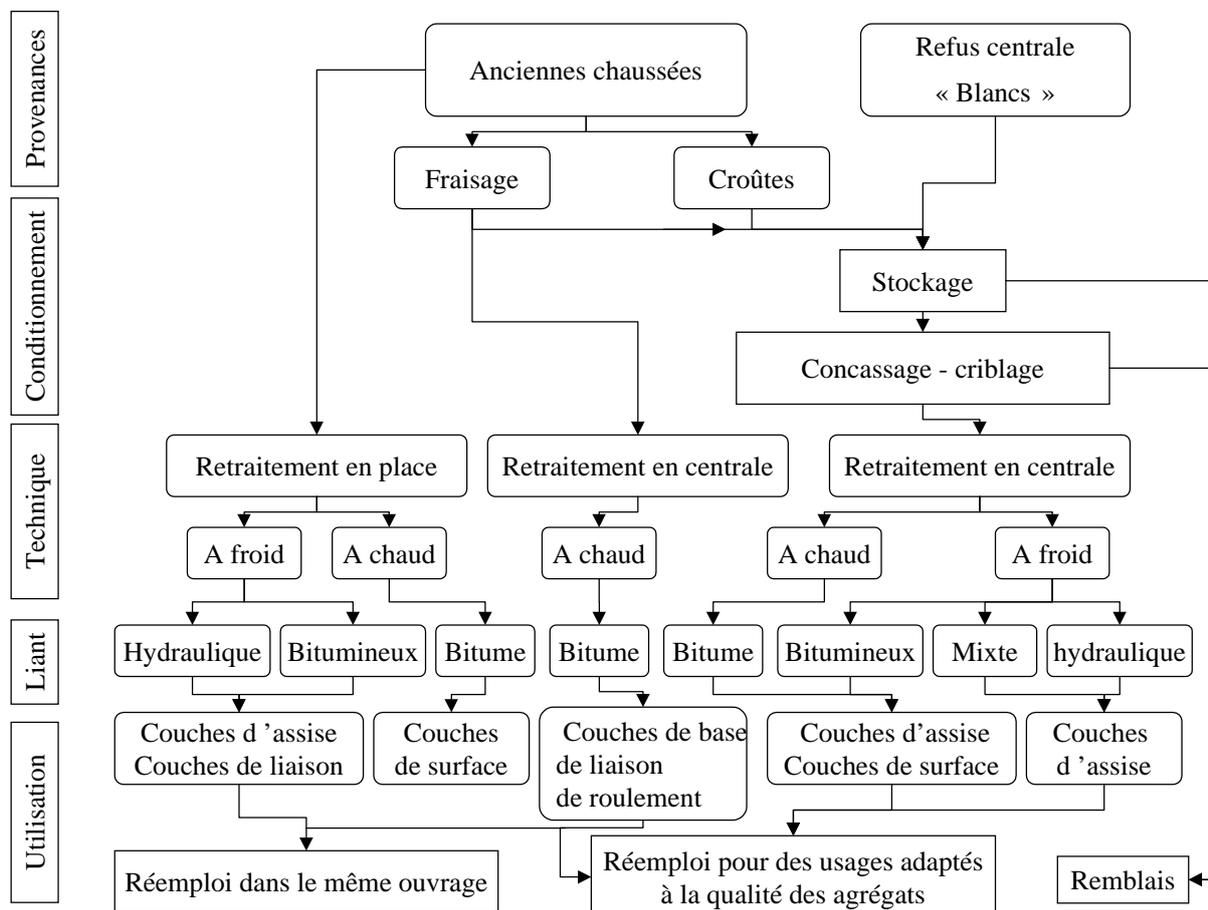


Figure 8 : Réutilisation des agrégats d'enrobés

8. 2. Domaine d'emploi

En dehors de l'utilisation en remblais routiers, pour laquelle il convient de se référer au Guide Technique des Remblais et des couches de formes (GTR), [SETRA, LCPC 2000], les autres techniques sont complètement décrites dans des documents spécifiques, tels que les guides techniques du CFTR :

- « Retraitement en place à froid des anciennes chaussées » [CFTR, 2003] pour les techniques d'entretien et de réhabilitation des structures avec un retraitement en place à froid,
- « Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussée » [CFTR (a), 2004]. Ce document synthétise les connaissances actuelles sur le retraitement à chaud ou à froid, dans les deux cas possibles que sont les traitements en place ou en centrale. Pour chaque technique, les

problèmes d'origine, d'identification et de conditionnement des agrégats, ainsi que les domaines d'emploi concernés et les limites d'emploi sont présentés.

- « Thermorecyclage » [CFTR (b), 2004], qui décrit les différentes techniques de recyclage des couches de surface en place après chauffage.

Par ailleurs le Guide d'Utilisation des Normes Enrobés à chaud [SETRA, 2008] mentionne, dans une annexe informative (annexe B), les conditions d'emploi des agrégats d'enrobés pour le recyclage à chaud en centrale, et en fonction de la destination de l'enrobé, couche de roulement, de liaison ou d'assise.

Toutes les techniques nécessitent la même approche :

- identification des agrégats
- définition du domaine d'emploi en fonction des connaissances antérieures.

L'identification des agrégats fait partie des études préalables, qui sont d'autant plus lourdes que la valorisation sera exigeante en matière de qualité du matériau fabriqué et que le taux de recyclage sera élevé. Des méthodologies d'étude ont été développées pour la caractérisation des agrégats d'enrobés [Huet et al, 1986] et pour le choix du liant d'apport [Bicheron et al, 1986]. Parmi les réutilisations possibles, le recyclage en centrale permet une adaptation de ce taux de recyclage. Dans le contexte de la réutilisation d'agrégats d'enrobés provenant du conditionnement de matériaux bitumineux de provenances diverses, et caractérisés par une variabilité plus importante des caractéristiques géotechniques, deux expérimentations avaient été réalisées. L'étude LCPC a concerné le recyclage des enrobés bitumineux à 10% dans des bétons bitumineux [Monéron et al, 2000] ; l'étude LCPC/USIRF avait concerné le recyclage des matériaux bitumineux à 15% dans les graves-bitume [Monéron et al, 2004]. Aujourd'hui les taux de recyclages pratiqués sont plutôt plus élevés (20 à 30%).

Pour le recyclage à chaud en centrale, l'adaptation concerne aussi le contenu des études préalables. Ce point particulier mérite d'être détaillé.

Organisation des études préalables pour le recyclage à chaud en centrale

La conformité des enrobés (y compris ceux fabriqués avec des agrégats) aux normes produits constitue aujourd'hui, en dehors des chantiers expérimentaux, une obligation. Pour les marchés publics, cette exigence est réglementée par le CCTG ; pour les marchés privés c'est une exigence des compagnies d'assurance.

Pour un enrobé classique (sans agrégats d'enrobés) comme pour un enrobé de recyclage, le client prescrit un ensemble de performances à respecter. Les études préalables, situées en amont de la réalisation du chantier, permettent de caractériser l'enrobé proposé et de fournir à la centrale de fabrication la composition à respecter. Quel que soit le contexte, ces études préalables comprennent toujours, par ordre chronologique :

- 1] L'identification des constituants
- 2] La mise au point de la formule
- 3] La réalisation de l'épreuve de formulation

Deux cas sont cependant à considérer, qui conditionnent le contenu des points précédents :

- **Cas général**

- 1] Identification des constituants :

- quantification de la source en agrégats
- caractérisation des granulats naturels (NF P 18-545, [AFNOR 2011], projet de révision)
- caractérisation des agrégats (NF EN 13108-8, [AFNOR 2006]) en révision :
 - granularité avant désenrobage
 - composition après désenrobage
 - * granularité (homogénéité granulométrique)
 - * teneur en liant (valeur moyenne et étendue)
 - caractéristiques intrinsèques et angularité des granulats recyclés
 - liant ancien : pénétrabilité minimale, TBA maximale et étendue

2] Mise au point de la formule :

- détermination des pourcentages des différents constituants :
 - pourcentages pondéraux conventionnels pour l'étude de formulation
 - pourcentages pondéraux comme consignes pour la centrale d'enrobage
- choix du liant d'apport (classique ou de régénération)
- caractérisation du liant d'apport
- choix du taux de recyclage

En dehors de l'aspect matériel, le large choix du taux de recyclage est conditionné par les éléments suivants :

- volonté du maître d'œuvre de réutiliser tout ou partie des agrégats disponibles,
- caractéristiques de ces agrégats,
- destination de l'enrobé de recyclage

3] Réalisation de l'épreuve de formulation :

L'épreuve de formulation a pour objectif d'établir, pour la composition déterminée lors de la mise au point, les caractéristiques de l'enrobé fabriqué.

• **Cas particulier où la caractérisation des agrégats est impossible**

Lorsque le stock d'agrégats est constitué de matériaux bitumineux très hétérogènes, (nature et quantité des granulats recyclés et des bitumes), l'échantillonnage représentatif pour établir la caractérisation de ces agrégats et le domaine de variation de leurs caractéristiques est impossible, de même que la mise au point à partir de variantes tenant compte de ces variations. Ceci conduit à disposer d'agrégats dont les caractéristiques sont mentionnées NS (non spécifiées) dans le Guide d'Utilisation des Normes Enrobés à chaud [SETRA, 2008] et la norme NF EN 13108-8 [AFNOR, 2006] en cours de révision. NF EN 13108-8 [AFNOR, 2006] en cours de révision.

Dans ce cas, la limitation du taux de recyclage permet de minimiser l'incidence de l'hétérogénéité des agrégats, et la méthode de formulation comprend les adaptations suivantes :

1] Identification des constituants :

- caractérisation des granulats naturels naturels [NF P 18 545, AFNOR, 2011] norme faisant l'objet d'un projet de révision.
- déclaration des caractéristiques moyennes des agrégats :
 - granularité

- teneur en liant
- Masse Volumique Réelle des Granulats (MVRG)

Les caractéristiques prises en compte pour les agrégats sont des valeurs déclarées qui tiennent lieu de valeurs spécifiées. Elles sont obtenues à partir de données antérieures (traçabilité des chantiers anciens, valeurs moyennes représentatives des approvisionnements locaux) et ne sont pas les résultats d'analyses ponctuelles effectuées sur des stocks temporaires.

2] Mise au point de la formule :

Pour des taux de recyclage inférieurs à 10% en couche de roulement et 20% en couches d'assises, on ne fait pas l'étude de formulation [normes NF EN 13108-1, 13108-8, circulaires de 2000 et 20009].

Dans le contexte spécifique de la limitation du taux de recyclage à 10 %, la réalisation de couches de roulement, subordonnée théoriquement à la connaissance explicite des caractéristiques minimales des granulats recyclés, est envisageable si l'une des conditions suivantes est satisfaite (Guide d'Utilisation des Normes Enrobés à chaud [SETRA, 2008].

- soit les agrégats sont issus d'une couche de roulement,
- soit la preuve documentée que les granulats de l'agrégat sont au moins de catégorie C est produite,
- soit la teneur en liant moyenne obtenue après conditionnement et homogénéisation des agrégats est supérieure à 5,5 %.

Le formulateur de l'enrobé a libre choix sur les moyens de parvenir à l'obtention des performances prescrites par le client. Il est proposé de s'orienter vers la démarche suivante :

- Si la formule avec recyclage n'a jamais fait l'objet d'une étude (cas unique pour chaque formule), l'étude de base réalisée avec 100% de granulats naturels constitue la formule nominale, **en prenant la précaution d'éviter de se placer en limite de spécifications.**
- La formule de l'enrobé avec recyclage a déjà fait l'objet d'une étude de base, et devient la formule nominale, comme pour une fabrication traditionnelle.
- La mise au point de la formule de l'enrobé de recyclage est réalisée à partir des valeurs obtenues par des essais normalisés sur les granulats naturels et des valeurs déclarées pour les agrégats.

3] Réalisation de l'épreuve de formulation :

Les expérimentations réalisées montrent que pour un stock d'agrégats de provenances diverses préalablement conditionnés (concassage-criblage) et pour les taux de recyclage cités pour la mise au point de la formule (10 et 15%), le risque de manque de représentativité d'un prélèvement d'agrégats n'altère pas, ou peu, les propriétés mécaniques des enrobés de recyclage.

La vérification, effectuée sur une fabrication intégrant les agrégats, atteste que pour le taux de recyclage considéré l'enrobé de recyclage possède bien les caractéristiques escomptées fixées dans la norme produit. Il est rappelé que les

normes de mise en œuvre et d'exécution des chaussées (NF P 98-150-1 pour les enrobés chauds et tièdes [AFNOR, juin 2010] et NF P 98-150-2 pour les enrobés à froid [AFNOR, Avril 2011] comportent une exigence sur la macrotexture qui s'applique naturellement à l'enrobé fabriqué avec des agrégats.

8.3. Particularités

Des chantiers de recyclage ont été réalisés soit avec des agrégats récupérés par fraisage d'une couche unique d'enrobé ancien, soit avec des agrégats conditionnés du type 0/6 mm à 0/20mm par concassage criblage. Le retraitement en place présente la particularité de réemployer les matériaux pour le même usage, dans le même ouvrage, et sans les déplacer.

La récupération par croûtes ou fraisage d'agrégats destinés à être stockés dans un agrégat de provenances diverses ne pose pas de problème de mise en œuvre particulier..

La récupération par fraisage d'agrégats destinés à être utilisés dans le recyclage à chaud en centrale à fort taux ou pour des couches de surface de la chaussée mérite une attention particulière. Les règles établies par le passé consistent à surveiller :

- le pourcentage de refus à 25 mm des **fraisats**, qui doit être inférieur à 7% de manière à obtenir un décohesionnement correct lors du passage dans le tambour sécheur.
- la teneur en eau des **fraisats**, qui ne doit pas être supérieure à 3% pour éviter les difficultés de séchage.
- la hauteur de fraisage, pour éviter de tangenter l'interface entre couches et assurer ainsi une meilleure homogénéité.

La récupération sur chaussées concerne des couches de roulement, des couches de liaison, des ensembles multicouches (dont les couches d'accrochage), pour des formules recouvrant toutes les couches de surfaces (y compris enduits superficiels et enrobés drainants), des bétons bitumineux, des graves bitume. Par la diversité des techniques pouvant être utilisées, les épaisseurs concernées vont de quelques cm à 20 à 30 cm de profondeur.

8.4. Type de formulation

Le type de formule dépend essentiellement des caractéristiques des agrégats.

Pour les enrobés à chauds, les normes produits définissent le cadre de réemploi des agrégats.

Pour le recyclage en centrale, ceux ci sont utilisables dans des bétons bitumineux très minces (BBTM) / norme NF EN 13108-2 [AFNOR, 2006] en cours de révision, dans des bétons bitumineux drainants (BBDr) / norme NF EN 13108-4 [AFNOR, 2006] en cours de révision et dans des autres bétons bitumineux (EB/BB) / norme NF EN 13108-1 [AFNOR, 2007] en cours de révision.

Une étude récente a montré que l'on pouvait également envisager la réutilisation de **fraisats** d'enrobés dans des formules de béton hydraulique routiers [Mathias, 2005]. Le recyclage en place à chaud s'adresse principalement à des formules de type BBSG, mais des expérimentations sont en cours dans le cadre de la charte

innovation pour élargir le domaine d'emploi de cette technique à des formules de type Bétons Bitumineux Très Minces (BBTM) et Bétons Bitumineux Drainants (BBDr) (cas de réutilisation d'agrégats de caractéristiques homogènes).

Pour les techniques à froid, les matériaux sont traités soit à l'émulsion de bitume, soit avec un liant hydraulique, soit avec un liant composé, pour des formulations adaptées à la réfection de couches de surfaces ou des renforcements structurels.

9. Références bibliographique

9-1 Références cité dans le texte

1 Publications

AFNOR NF EN 12457-1 à 4, 2002. « Caractérisation des déchets. Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues – Partie 1 à 4 ». Décembre 2002.

AIPCR (Association Internationale Permanente des Congrès de la Route), 1995. « Aspects sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des mélanges bitumineux. »

Ballie M. et Pringuet P., 2000. « Recyclage en place de chaussées, deux techniques Colas ». Revue Générale des Routes et Aérodrômes n°781, février 2000, pp 31- 34.

Bicheron. G., Brule B., Migliori F., 1986. « Régénération des liants pour enrobés : méthodologie d'étude en laboratoire. Exemple de quelques cas de chantiers ». Bulletin de liaison des Ponts et Chaussées n°143, mai-juin 1986, pp. 103-110.

Bicheron G., 1989. « Régénération des enrobés, Bilan ». Laboratoire régional d'Aix en provence, G.S.C.33. 104 p.

Bicheron G., Lichtenstein H., Deguines J-P, Groz P-C, Griveau J., Bertaud M., 1993. Table ronde : « Le réemploi des enrobés ». Bulletin de liaison des ponts et chaussées n°184, mars avril, pp 19- 25.

Bonnot J., Chargros Y., Serfass J-P., Bertaud M.,Lavaud J-P., Monéron P., Dazats M., Nicolas A., Bérier J-M., Lafon J-F., Chaignon F., Chauchot J., Bonnet G., Charonnat Y., Bayle M., Lomberty M., Oger P., Lefort M., Meunier Y., Marconnet G.,Pelletier G.R., Seyvet J-M., Sainton A., RGRA (Revue Générale des Routes et Aérodrômes), 1993. « Dossier recyclage. ». Revue Générale des Routes et Aérodrômes n° 712, novembre 1993, pp 17-66.

Bonnot J., Vecoven J., Ballié M., Poirier J-C., Deleurence J-C., Ballié M., Groz P-C., Lavaud J-P, Bertaud M., Bicheron G, Migliori F., Brûlé B., 1992. Dossier thématique : « Régénération et recyclage des enrobés ». Bulletin de liaison des ponts et chaussées n° 182, novembre-décembre 1992, pp 57- 88.

Bowen C., De Groot P., Brandt A., 2000. «Etude de la possibilité de lixiviation des hydrocarbures aromatiques polycycliques présents dans le bitume ». Revue Générale des Routes et Aérodrômes n°787, pp. 58 -61.

Brandt H C A, De Groot P C., 2001. « Aqueous leaching of polycyclic aromatic hydrocarbons from bitumen and asphalt ». *Wat. Res.* 35 (17), 4200-4207.

Brantley A S, Townsend T G., 1999. «Leaching of pollutants from reclaimed asphalt pavement ». *Environ. Eng. Sci.* 16 (2), 105-116.

Brantley A.S., Townsend T.G., 1999. « *Leaching of pollutants from reclaimed asphalt pavement* ». *Environmental Engineering Science* 16 n°.2, pp 105-116.

Brazillet C., Domas J, 2001. « Le goudron dans les déchets du réseau routier : étude bibliographique et méthodes de caractérisation rapides ». document INERIS. 31 décembre 2001, 85 p. Site Internet : <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/goudron.pdf>

Brosseaud Y., 1999. « Entretien des enrobés drainants ; les solutions disponibles et leur comportement au jeune âge ». *Revue Générale des Routes et Aérodrômes* n°770, février 1999, pp. 27- 29.

Circular, 1994. Circular of 9 May 1994 on intervention values for soil remediation. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, The Hague, The Netherlands.

EC Directive, 1998. [Directive 98/83/CE of 3 November 1998](#) related to the quality of drinking water. *Journal officiel des Communautés européennes* du 5 Décembre 1998, L330/32-54.

Farcas F., 1998. « Etude d'une méthode de simulation du vieillissement des bitumes sur route ». *Etudes et Recherches du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.* CR21,224 p.

Gallenne M.L., Monéron P., 1998. « Recycling of bituminous materials in hot asphalt plants » - *Proceedings of the fifth international conference on the bearing capacity of roads and airfields - Trondheim - Norway - 6/8 july 1998 - Volume 3.*

Harlin J.P., 1987. « Recyclage des enrobés : Evolution sur la route de liants régénérés ». *Revue Générale des Routes et Aérodrômes* n°638, février 1987, pp 9-22.

Huet M., Poirier J-C., 1986. « Méthodologie d'étude en laboratoire des enrobés bitumineux de recyclage ». *Bulletin de liaison des Ponts et Chaussées* n°144, juillet-août, pp. 89-93.

Jullien A., Monéron P., Gaillard D., Oudin J., Quaranta-Millet G., 2002. « Choice of a recycling rate for road maintenance : case study of an emission to air analysis. » *Proceedings du congrès international 'Multicriterion decision making in civil engineering'*, Londres, 6-8 novembre 2002, 6p.

Jullien A., Monéron P., Schemid M., Gaillard D., 2003. « Bilan environnemental d'un chantier de recyclage ». *Présentation à TP Tech* les 11-13 mars 2003, 9p.

- Jullien A, Ventura A, Moneron P, Schemidt M, Gaillard D., 2004. «Life Cycle Inventory of reclaimed asphalt pavement. » 3rd Eurasphalt and Eurobitume Congress, Vienna, Austria, 1005-1018.
- Kriech A J., 1997. « Evaluation of hot mix asphalt for leachability ». Asphalt Institute.
- Lefort M., Girouy J., 1997. « Le point sur le retraitement en place à froid des anciennes chaussées ». Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées n°212, pp 5- 23.
- Lefort M., 1997. « Retraitement en place à froid des anciennes chaussées avec un liant hydraulique ». Note d'information SETRA n° 99.
- Legret M., Odie L., Demare D., Jullien A., 2005. « Leaching of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons from reclaimed asphalt pavement ». Wat. Res 39, 3675-3685.
- Mathias V., 2005. « recyclage des fraisats d'enrobés dans des bétons hydrauliques routiers ». Etudes et recherches des laboratoires des Ponts et Chaussées, CR 38 Novembre 2005, 228 p.
- Monéron P., 1997. « Retraitement à chaud des matériaux bitumineux en centrale ». Note d'information SETRA n° 98.
- Monéron P., Baudru Y., Guieysse B., Quaranta T., 2000. « La suppression des études préalables dans le cadre du recyclage des enrobés bitumineux à 10% ». Revue Générale des Routes et Aérodrômes n° 785, juin 2000, pp 57- 63.
- Monéron P., Measson M., 2004. « Etude sur le recyclage à 15 % à chaud en centrale des matériaux bitumineux, dans les graves-bitume. ». Revue Générale des Routes et Aérodrômes n° 831, septembre 2004, pp 71- 80.
- Mouillet, V.; Dumas, Ph., 2008. «Durability of polymer modified bitumens: comparison of evolution due to conventional standardised ageing tests with the in situ ageing of binders in pavements. » Proceedings of Eurasphalt & Eurobitume Congress, Copenhagen (Danemark), 21-23 Mai 2008, papier 406-009 (Session 6 "Tomorrow's Technical Opportunities and Challenges"), 10 p.
- Odie L., 2002. « Caractérisation environnementale de fraisats d'enrobés ». Laboratoire régional de Saint Briec.
- Pépin G., 1998. Caractérisation des déchets : « Essais de percolation sur deux déchets bitumineux ». Rapport INERIS, juillet 1998, 38 p.
- Sainton A., 1994. « Le traitement des chaussées anciennes et recyclage des enrobés ». Revue Générale des Routes et Aérodrômes hors série n°2-1994, p 39 et 40.

Saubot M., 1997. « La grave mixte enrobés recyclés-liant routier, une solution performante de valorisation ». Revue Générale des Routes et Aéroports n° 757, décembre, pp 116- 120.

Seytre S., 2002. Recyclage en centrale des enrobés bitumineux : Synthèse bibliographique des recherches menées à Blois entre 1978 et 1982, mars 2002, 70 p.

Surchamp A., 1996. « Autoroute A2, recyclage à très fort taux ». Route Actualité n°56, juillet-août 1996, pp 65- 68.

Townsend T.G., 1998. « *Leaching characteristics of asphalt road waste* ». Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida.

2 Documents techniques

MATE (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement), 2001. « Guide technique relatif aux installations de stockage de déchets inertes. », avril 2001, 44 p.

SETRA-LCPC, 2000. « Guide technique pour la réalisation des terrassements et couches de forme » (GTR). SETRA-LCPC, juillet 2000, 2^{ème} édition, 99p.

CFTR, 2003. « Guide technique : Retraitement en place à froid des anciennes chaussées ». Ed : SETRA, juillet 2003. 96 p.

CFTR (a), 2004. « Guide technique : Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussées. ». Ed : SETRA, juillet 2004, 32 p.

CFTR (b), 2004. « Guide technique : Thermorecyclage ». Ed : SETRA, mai 2004, 31 p, pp 71-80.

Guide d'Utilisation des Normes Enrobés à chaud (SETRA, 2008).

9-2 Autres références

9.2.1 Sites internet

AFNOR : <https://www.afnor.org/>

CIRC Centre International de Recherche contre le Cancer. « Overall Evaluations of Carcinogenicity to Humans ». Site Internet <http://www.iarc.fr/indexfr.php>

INERIS Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. Site Internet : (<http://www.ineris.fr>)

US-EPA Integrated Risk Information System (IRIS). Site Internet <https://www.epa.gov/iris>

9.2.2 Référence en plus

Serfass J-P (2008) Recyclage en centrale des matériaux de chaussée. Les travaux souterrains et les dépollutions. C5620.

US-EPA (1982) Test Method Polynuclear Aromatic Hydrocarbons - Method 610.

US-EPA (2000) Hot mix asphalt plants emission assessment report. - EPA 454/R-00-019, 26pp.

Mouillet, V.; Farcas, F.; Chailleux, E. (2011),_“Physico-chemical techniques for analysing the ageing of polymer modified bitumen.” Chapter 12, Polymer modified bitumen: Properties and characterisation, Edited by Tony McNally, Woodhead Publishing Limited, 2011, 366-395.

Durrieu, F.; Farcas, F.; Mouillet, V. (2007)._“The influence of UV aging of a Styrene/Butadiene/Styrene modified bitumen: comparison between laboratory and on site ageing.” Fuel, Volume 86, 2007, 1446-1451.

Laetitia EL BEZE (2005-2008), « Valorisation des fraisats d'enrobés bitumineux : effet du vieillissement du matériau à recycler sur les caractéristiques fonctionnelles du mélange final », Thèse de l'Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III (directeur de thèse : Directeur de Recherche J. ROSE, laboratoire Sol-Eau-Déchets : biogéochimie et développement durable, Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement d'Aix-en-Provence).

Gabet, T.; Mouillet, V.; De La Roche, C. (2009). “Le projet européen RE-ROAD : stratégie de fin de vie des routes en enrobés bitumineux.” *Revue Générale des Routes et Autoroutes*, N°874 (mars 2009), 62-64.

Virginie Mouillet, Marc-Stéphane Ginoux, Nathalie Piérard, Konrad Mollenhauer, Thomas Gabet, Fabienne Farcas, Krzysztof Mirski, Ema Kemperle (2011). “European project RE-ROAD: round robin test on extraction and recovery methods for Reclaimed Asphalts with Polymer modified Bitumens”. Papier accepté au 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Istanbul (Turquie), 13-15 Juin 2012

Konrad Mollenhauer, Virginie Mouillet, Nathalie Pierard, Marjan Tusar, Thomas Gabet (2011) “Laboratory aging of asphalt mixtures – simulation of reclaimed asphalt and application as test method for durability?” Papier accepté au 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Istanbul (Turquie), 13-15 Juin 2012

Anja Enell, Ciaran McNally, Roman Licbinsky, Aoife Quinn, Virginie Mouillet, , Jiri Huzlik, Ola Wika, “Environmental characterization of reclaimed asphalt”, Papier accepté à la conference WASCON 2012

10. Auteurs et relecteurs

Matériaux bitumineux recyclés	
Auteurs OFRIR1	Pierre Monéron (LCPC)
Relecture experts et contributeurs d'OFRIR1	Céline Chouteau (CETE Nord-Picardie), Guillaume Gay (INERIS)
Relecture comité de pilotage	
Ecriture rubriques OFRIR2	Vincent Gaudefroy (IFSTTAR), Virginie Mouillet (LR Aix)
Relecture experts et contributeurs	Céline Chouteau (CETE Nord-Picardie), Fabienne Farcas (IFSTTAR), Thomas Gabet (IFSTTAR), Agnès Jullien (IFSTTAR), Michel Legret (IFSTTAR)
Relecture bureau	Laurent Château (ADEME), Agnès JULLIEN (IFSTTAR)
Version finale, mise en ligne	Janvier 2014