

➤ **Merci de suivre ces quelques consignes...**

- **Renommez-vous en indiquant votre nom et votre organisme en utilisant l'onglet « Participants » (dans la barre de tâches en bas de votre écran)**
- **Coupez votre VPN pour plus de fluidité**
- **Les micros sont coupés pour éviter les bruits parasites**
- **Posez vos questions via l'outil « dialogue en ligne » (dans la barre de tâches en bas de votre écran).**

Les questions de compréhension simples pourront trouver une réponse courte, par écrit, au "fil de l'eau".

Les questions de fond nécessitant des réponses plus complètes seront traitées au cours de séquences dédiées.

Cette session est enregistrée et fera l'objet d'un « Replay » sur le site cerema.fr



Recyclage des agrégats d'enrobés dans les mélanges bitumineux à chaud

-
Présentation du guide IDRRIM-Cerema



Discours d'ouverture

- **David ZAMBON, DGA et Directeur Infrastructures de Transport et Matériaux du Cerema**
- **Didier COLIN, Directeur Général de l'IDRRIM**

> Préambule

➤ Points d'attention :

- ✓ Cette présentation est une synthèse du guide mais reste non exhaustive.
- ✓ Il importe de bien prendre connaissance de l'intégralité du contenu du guide pour disposer des éléments techniques complets.

➤ Intervenants :

- ✓ Arnaud Feeser, Cerema
- ✓ Lionel Grin, Routes de France (Eurovia)
- ✓ Stéphane Le Signor, Conseil Départemental de la Côte d'Or

➤ Diffusion du support de présentation après le webinaire

➤ Objectifs de la démarche



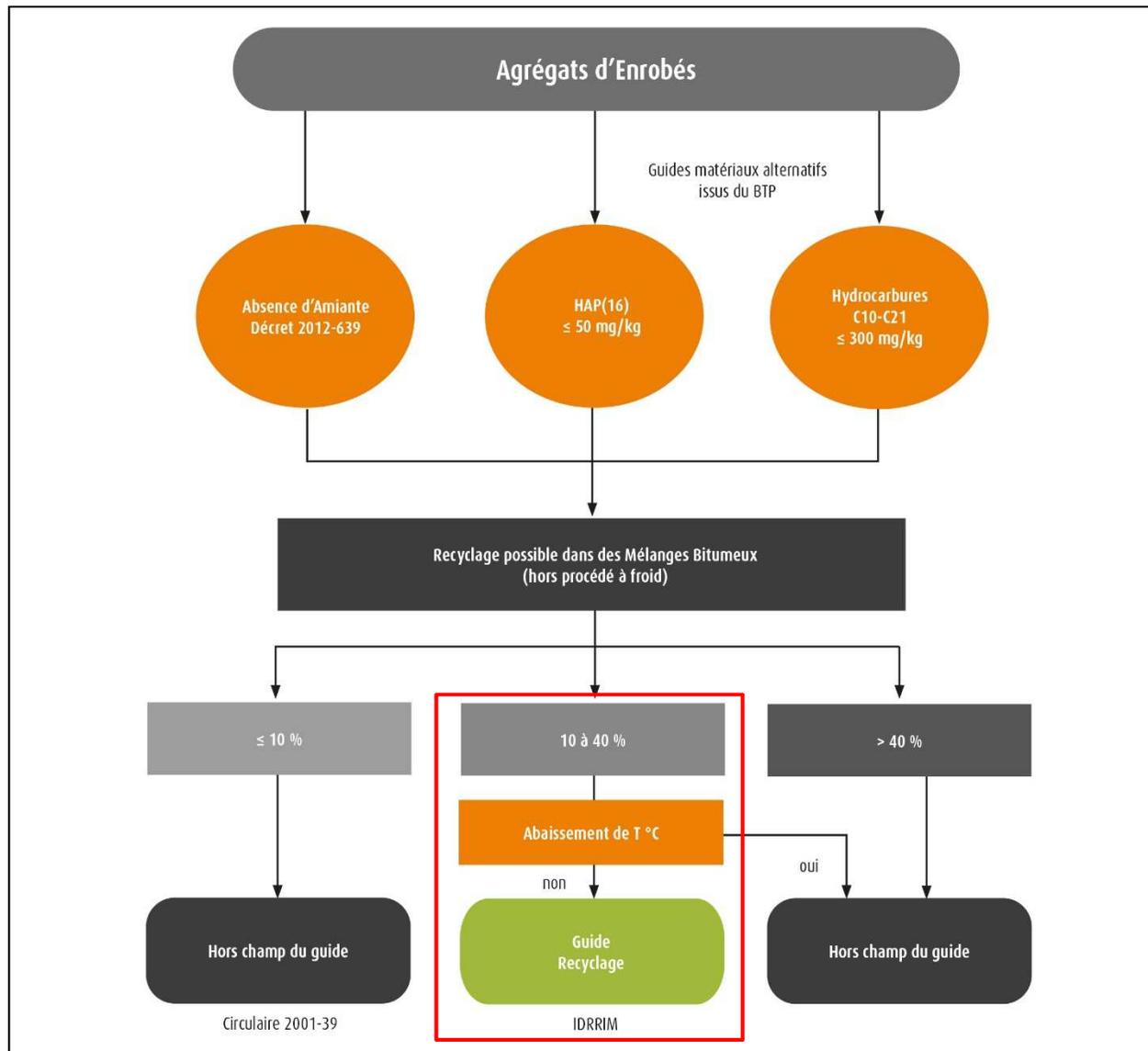
➤ Objectifs :

- ✓ Promouvoir l'état de l'art du recyclage des agrégats d'enrobés dans les mélanges bitumineux à chaud
- ✓ Etablir un document de référence et de synthèse de l'expérience française
- ✓ S'inscrire dans les objectifs de transition écologique et d'économie circulaire

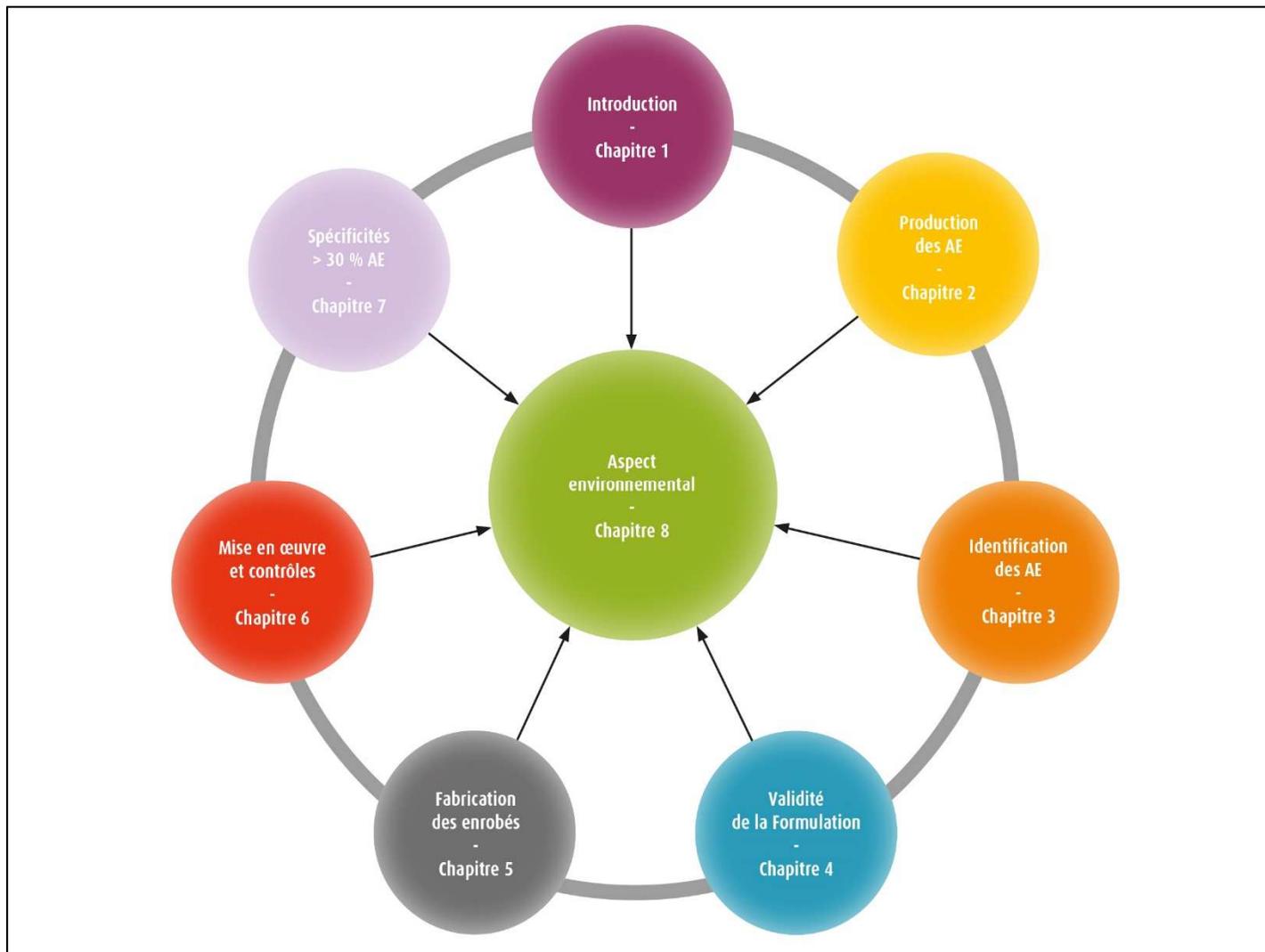
➤ Cible :

- ✓ L'ensemble des intervenants concernés par le recyclage de produits bitumineux

➤ Domaine d'application du guide



Organisation du Guide



➤ Production des agrégats d'enrobés

Élaboration

- **Trois étapes qui ont chacune de l'importance :**
 - ✓ Fraisage
 - ✓ Concassage et/ou criblage
 - ✓ Stockage



Acceptabilité environnementale :

- **Se référer au guide « *Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Les matériaux de déconstruction issus du BTP* ». (Cerema, 2016)**

➤ Identification et faisabilité

Définitions :

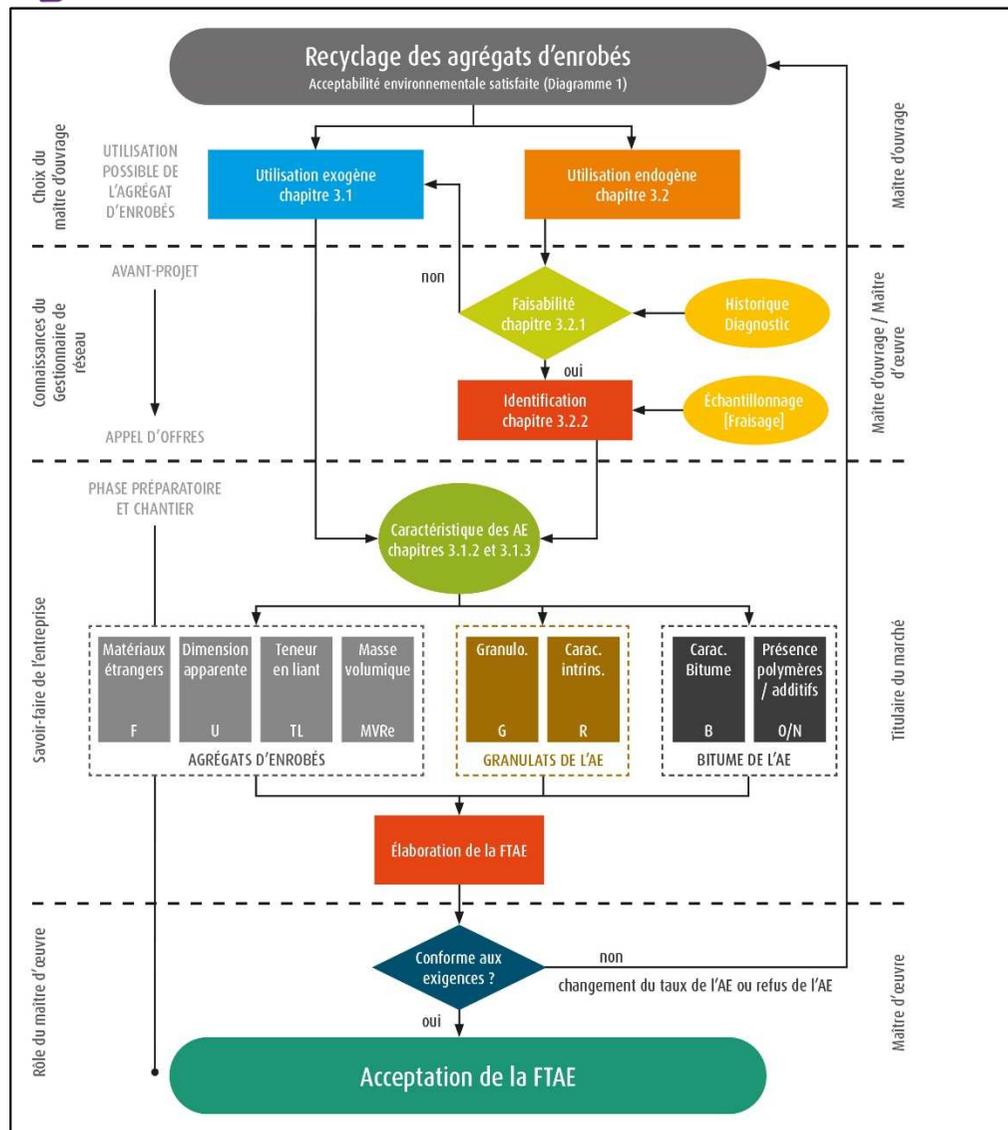
- ✓ **Exogène (réutilisation)** : Réemploi de matériau bitumineux pour un chantier autre que son ou ses chantier(s).

Dans la pratique, la réutilisation exogène à partir de stocks « tout-venants » est la plus courante, c'est-à-dire issus de différents chantiers et différents produits.

De manière moins courante, la réutilisation exogène inclut également le stockage « différencié », c'est-à-dire lorsque la provenance des enrobés est connue et la plupart du temps unique.

- ✓ **Endogène (réutilisation)** : Réemploi d'un matériaux bitumineux homogène sur son chantier d'origine.

➤ Identification et faisabilité



➤ **Maitriser la qualité et l'homogénéité des caractéristiques de l'agrégat d'enrobé**

➤ **Deux sources identifiées : endogène et exogène**

➤ **Contrôles à réaliser lors de l'établissement d'une fiche technique d'agrégat d'enrobés (FTAE)**

➤ Identification et faisabilité (1/4)

Essais d'identification

Essai	Norme	Fréquence	
		]10 % ; 30 %]	]30 % ; 40 %]
			Couches d'assise et de liaison	Couches de roulement
Matériaux étrangers (bois, béton, polystyrène... de dimension > 8 mm)	NF EN 12697-42	1/10 000 t et mini 1 essai	
Teneur en liant soluble	NF EN 12697-1	1/1 000 t et mini 5 essais	1/500 t et mini 5 essais
Pénétrabilité à 25 °C, 100 g, 5 s après récupération du liant	NF EN 1426 NF EN 12697-3		
Point de ramollissement TBA après récupération du liant	NF EN 1427 NF EN 12697-3		
Présence de liant modifié par des polymères, bitume pur, bitume dur ou contenant un additif	Méthode d'essai interne	Fréquence d'essais à déclarer	
Vérification du U avant désenrobage	NF EN 933-1	1/10 000 t et mini 1 essai	
Analyse granulométrique après désenrobage (tamis 1,4 D ; D ; 6,3 mm ; 2 mm ; 0,250 mm et 0,063 mm)	NF EN 12697-2	1/1 000 t et mini 5 essais	1/500 t et mini 5 essais
Angularité des alluvionnaires (uniquement pour un usage en couche de roulement et éventuellement de liaison ⁽¹⁾)	NF EN 933-5 et NF EN 933-6	1/10 000 t et mini 1 essai	
LA ⁽²⁾ , MDE ⁽²⁾	NF EN 1097-1,2	1/5 000 t et mini 1 essai	
PSV ^{(2) (3)} MVRe	NF EN 1097-8 NF EN 12697-5	1/10 000 t et mini 1 essai	

➤ Identification et faisabilité (2/4)

Teneur en matériaux étrangers	Catégorie	Valeur maximale en matériaux étrangers
	F ₁	Teneur en matériaux du groupe 1 < 1% et teneur en matériaux du groupe 2 < 0,1%
	F ₅	
	F _{dec}	

Homogénéité de la teneur en liant	Catégorie	Étendue de la teneur en liant
	TL ₀	≤ 0,8%
	TL ₁	
	TL ₂	
	TL _{NS}	

Homogénéité granulométrique	Catégorie	% passant à 2 D	% passant à 1,4 D	% passant à D	% passant à 2 mm	% passant à 0,063 mm
	G ₀	Vsi 100	Vsi 98	Li 85 Ls 99 e 10	e 10	e 3
	G ₁					
	G ₂					
	G _{NS}					

➤ Identification et faisabilité (3/4)

Liant de l'AE : Pénétrabilité minimale et/ou TBA maximale, étendue

Catégorie	Caractéristique
B ₀	Pénétrabilité : P15 : minimale = 10 1/10 mm moyenne ≥ 15 1/10 mm Étendue ≤ 10 1/10 mm et/ou ⁽¹⁾ TBA : TBA70 : maximale = 77 °C moyenne ≤ 70 °C Étendue ≤ 8 °C
B ₁	
B ₂	
B _{NS}	

Granulats de l'AE : Caractéristiques intrinsèques

Catégorie	Catégorie des granulats
R ₁	LA ₂₅ et MDE ₂₀ et LA + MDE ≤ 35 PSV ₅₀ et Ang 1 ⁽¹⁾
R ₂	
R ₃	
R _{NS}	

➤ Identification et faisabilité (4/4)

Utilisation des AE - Recommandations

Nature de la couche	Taux de recyclage (en %)	Classes				
		TL	B	G	R	F
Roulement]10 ; 20]	TL ₂	B ₁	G ₂	R ₂ ⁽¹⁾	F ₁
	]20 ; 30]	TL ₁	B ₁	G ₁	R ₁
	]30 ; 40] ⁽³⁾	TL ₁	B ₀	G ₁	R ₁
Liaison	]10 ; 20]	TL ₂	B ₂	G ₂	R _{NS}
	]20 ; 30]	TL ₁	B ₂	G ₁	
	]30 ; 40] ⁽³⁾	TL ₁	B ₁	G ₁	R ₂ ou R ₃ ⁽²⁾
Assises	]10 ; 20]	TL ₂	B ₂	G ₂	R _{NS}
	]20 ; 30]	TL ₁	B ₂	G ₁	
	]30 ; 40] ⁽³⁾	TL ₁	B ₁	G ₁	R ₂ ou R ₃ ⁽²⁾

➤ Identification et faisabilité – Cas particulier de l'endogène

Essais préalables à réaliser par zone homogène

Essai	Norme	Nombre d'essais minimum par zone homogène
Teneur en liant soluble	NF EN 12697-1	1
Analyse granulométrique après désenrobage ⁽¹⁾	NF EN 12697-2	1
Pénétrabilité à 25 °C, 100 g, 5 s après récupération du liant	NF EN 1426 NF EN 12697-3	1
Point de ramollissement TBA après récupération du liant	NF EN 1427 NF EN 12697-3	1

➤ Identification et faisabilité – Exemple de FTAE

Fiche Technique d'Agrégats d'Enrobés (FTAE)									
Codification européenne : U AE 0/D									
N° identification du stock :		Période de prélèvements : du / / au / /		de constitution stock : du / / au / /					
Lieu de Stockage :		Quantité du stock :							
Société :		<input type="checkbox"/> Stock tout-venant		<input type="checkbox"/> Stock spécifique					
Présence de polymères : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> nr <input type="checkbox"/> non		Origine :							
Présence d'additifs : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> nr <input type="checkbox"/> non		HAP : <input type="checkbox"/> ≤ 50 mg/kg <input type="checkbox"/> (≤ 500 mg/kg) <input type="checkbox"/> > 500 mg/kg							
Présence d'amiante : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non		Qté d'hydrocarbures (C10-C21) ≤ 300 mg/kg <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non							
Mode d'élaboration : <input type="checkbox"/> concassage <input type="checkbox"/> criblage <input type="checkbox"/> brut de rabotage									
Protection de stock : <input type="checkbox"/> non protégé <input type="checkbox"/> hangar <input type="checkbox"/> bâche <input type="checkbox"/> émulsion		<input type="checkbox"/> autre (préciser) :							
Nombre de résultats :									
Teneur en éléments étrangers (F)		Catégorie ⁽¹⁾		F _{dec}		F ₅	F ₁		
Nombre de résultats :									
Teneur en Liant (TL)		TL moy :		TL min :		TL max :			
		Catégorie ⁽¹⁾		TL _{NS}	TL ₂	TL ₁	TL ₀		
Nombre de résultats :									
Caractéristiques du liant (B)		Moy.		Pénétrabilité		TBA			
		min.							
		max.							
		Δ		Catégorie ⁽¹⁾		B _{NS}	B ₂	B ₁	B ₀
Nombre de résultats :									
Granulométrie (G)		2. D		1.4D		D			
		6.3 mm		2 mm		0.250 mm		0.063 mm	
		Moy.							
		min.							
max.									
Δ		Catégorie ⁽¹⁾		G _{NS}	G ₂	G ₁	G ₀		
Nombre de résultats :									
Caractéristiques des Granulats (R)		LA		MDE		PSV		Ang	
		Moy.							
		min.							
		max.							
Δ		Catégorie ⁽¹⁾		R _{NS}	R ₃	R ₂	R ₁		
Masse Volumique Réelle (MVR)		Nombre de résultats :		MVR moy :		MVR min :		MVR max :	
				Δ :					
Essais facultatifs		Fraass							
		Teneur en asphaltènes							
		Aplatissement							
		Taux de polymères							

➤ Formulation des mélanges bitumineux à chaud

Épreuve initiale de formulation

- Pour chaque mélange bitumineux, **une épreuve initiale de formulation doit être réalisée**. C'est un prérequis à la réalisation d'un chantier avec cet enrobé.
- La pratique française est de réaliser **les épreuves initiales de formulation** des mélanges bitumineux **sur des corps d'épreuves confectionnés en laboratoire**.
- L'épreuve initiale de formulation a une **durée de validité de 5 ans**.
- Le rapport de l'épreuve initiale de formulation doit notamment comporter :
 - L'identification et les caractéristiques de tous les constituants utilisés ;
 - Tous les résultats des essais et leur conditions de réalisation ;
 - Les températures de fabrication de chacun des mélanges utilisés pour chaque essai.

Formulation des mélanges bitumineux à chaud

Mode opératoire pour la fabrication en laboratoire

Température de référence en fonction du grade de bitume final

Grade de bitume	Température de référence
20/30	180 °C
30/45	175 °C
35/50	165 °C
40/60	155 °C
50/70	150 °C
70/100	145 °C

Température de compactage de référence du mélange	Température maximale de malaxage du mélange	Température maximale de consigne des Granulats vierges en fonction du taux d'AE			
		10 %	20 %	30 %	40 %
120 °C	140 °C	145 °C	150 °C	155 °C	160 °C
130 °C	150 °C	155 °C	160 °C	170 °C	175 °C
140 °C	160 °C	165 °C	175 °C	180 °C	195 °C
150 °C	170 °C	175 °C	185 °C	195 °C	210 °C
160 °C	180 °C	190 °C	200 °C	210 °C	225 °C
170 °C	190 °C	200 °C	210 °C	225 °C	230 °C ⁽¹⁾ et AE : 125 °C
180 °C	200 °C	210 °C	225 °C	230 °C ⁽¹⁾ et AE : 125 °C	230 °C ⁽¹⁾ et AE : 150 °C

⁽¹⁾ Selon la norme NF EN 12697-35, il convient de limiter la température maximale des granulats à 230 °C. Dans ce cas, la température des granulats est limitée à 230 °C et la température des agrégats d'enrobés est augmentée en conséquence.

Recommandations de température de chauffe des granulats en fonction du taux d'incorporation d'AE

➤ Formulation des mélanges bitumineux à chaud

Vérification de la validité de la formule du mélange bitumineux dans le cadre d'un chantier

- **Vérifier la variabilité possible de la qualité du mélange bitumineux engendrée :**
 - ✓ Par celle des constituants du mélange utilisés pour le chantier
 - ✓ Par celle des conditions de fabrication propres à l'usine d'enrobés

- **Incidence de la variabilité des constituants (cas général)**
 - Granulats
 - Bitume d'apport
 - Agrégats d'enrobés
 - Additifs, le cas échéant

- ✓ **Incidence sur le mélange bitumineux (adaptation liée au recyclage)**
 - Courbe granulométrique du mélange
 - MVR du mélange bitumineux
 - Teneur et caractéristique du liant
 - Module de richesse (informatif)

➤ Formulation des mélanges bitumineux à chaud

Liant du mélange bitumineux

	Matériaux de l'étude initiale en laboratoire	Matériaux du chantier, sans modification du grade du bitume d'apport	Formule ajustée pour le chantier
Liant d'apport (3,5 %)	35/50 Pénétrabilité - 48 ^{1/10} mm TBA - 51,0°C	35/50 Pénétrabilité - 40 ^{1/10} mm TBA - 54,0°C	50/70 Pénétrabilité - 62 ^{1/10} mm TBA - 48,0°C
Liant récupéré (1 %)	Assimilable 20/30 Pénétrabilité - 21 ^{1/10} mm TBA - 58,0°C	Assimilable 10/20 Pénétrabilité - 11 ^{1/10} mm TBA - 69,0°C	Assimilable 10/20 Pénétrabilité - 11 ^{1/10} mm TBA - 69,0°C
Liant du mélange (4,5 %)	35/50 Péné. _{calc} - 40 ^{1/10} mm TBA _{calc} - 53,0°C	20/30 Péné. _{calc} - 30 ^{1/10} mm TBA _{calc} - 57,0°C	35/50 Péné. _{calc} - 42 ^{1/10} mm TBA _{calc} - 53,0°C
Rappel : Loi des mélanges	<p>Pour la TBA</p> $\%_{\text{Liant apport}} \cdot \text{TBA}_{\text{Liant apport}} (\text{°C}) + \%_{\text{Liant récupéré}} \cdot \text{TBA}_{\text{Liant récupéré}} (\text{°C}) = \%_{\text{Mélange}} \cdot \text{TBA}_{\text{Mélange}} (\text{°C})$ <p>Pour la pénétrabilité</p> $\%_{\text{Liant apport}} \cdot \text{Log}(\text{péné}_{\text{Liant apport}} (\text{mm})) + \%_{\text{Liant récupéré}} \cdot \text{Log}(\text{péné}_{\text{Liant récupéré}} (\text{mm})) = \%_{\text{Mélange}} \cdot \text{Log}(\text{péné}_{\text{Mélange}} (\text{mm}))$		

➤ Formulation des mélanges bitumineux à chaud

Taux d'agrégat dans le mélange bitumineux

	Taux de recyclage appliqué sur le chantier (X)	Taux acceptable pour l'épreuve de formulation (Y)	Exemples
assise	$10\% < X \leq 40\%$	$X - 5\% \leq Y \leq X + 5\%$ et $10\% \leq Y \leq 40\%$	Taux visé chantier = 30 % ⁽¹⁾ 25 % ≤ Taux épreuve acceptable ≤ 35 %
			Taux visé chantier = 38 % ⁽¹⁾ 33 % ≤ Taux épreuve acceptable ≤ 40 %
surface	$10\% < X \leq 30\%$	$X - 5\% \leq Y \leq X + 5\%$ et $10\% \leq Y \leq 30\%$	Taux visé chantier = 28 % ⁽¹⁾ 23 % ≤ Taux épreuve acceptable ≤ 30 %
	$30\% < X \leq 40\%$		$Y = X$	Taux visé chantier = 35 %^{(1)} Taux épreuve acceptable = 35 %

⁽¹⁾ Le taux visé chantier est le taux d'AE proposé au maître d'œuvre. Il ne tient pas compte des incertitudes de dosage en usine d'enrobés

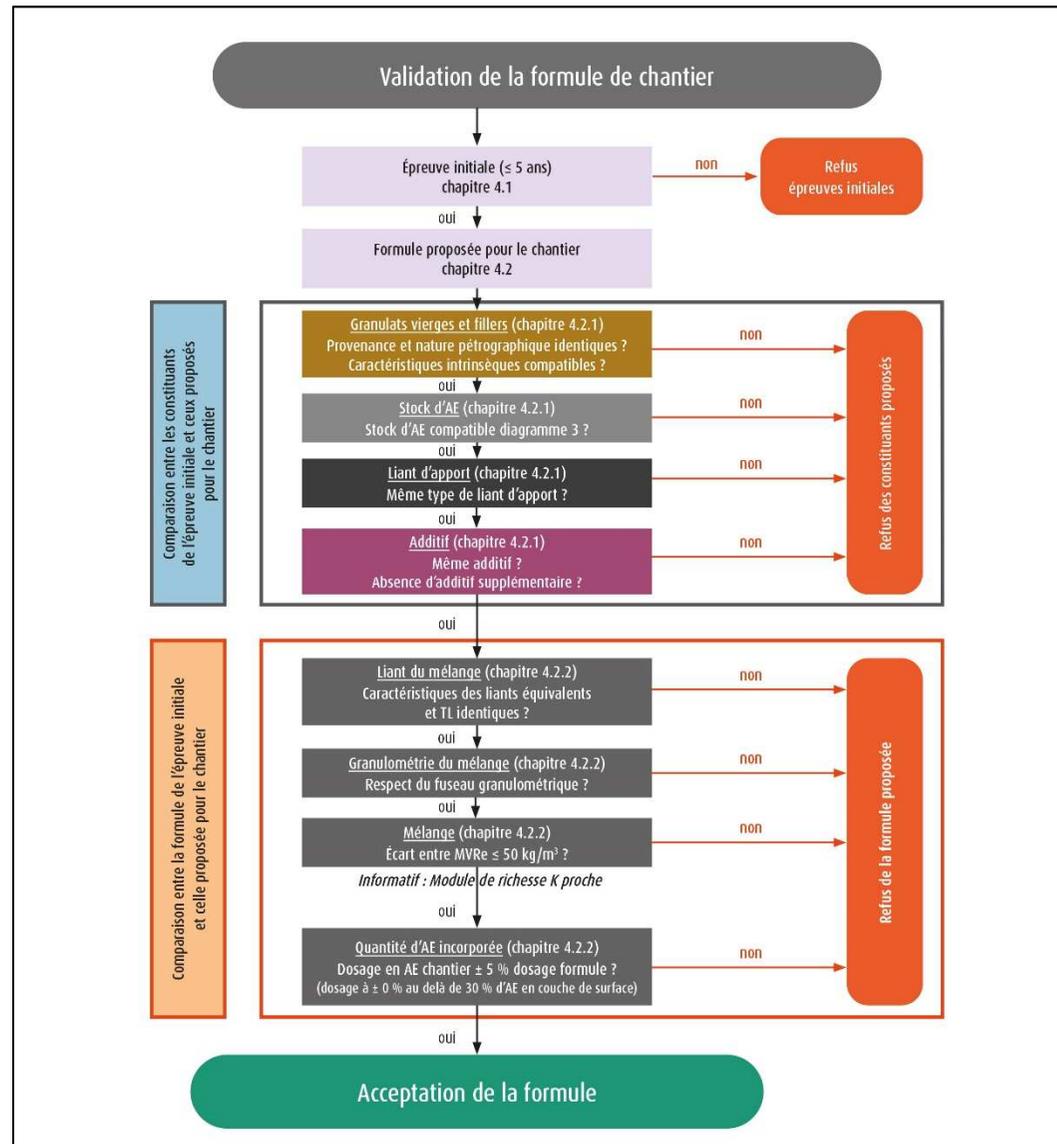
Formulation des mélanges bitumineux à chaud

Fiche de reconstitution

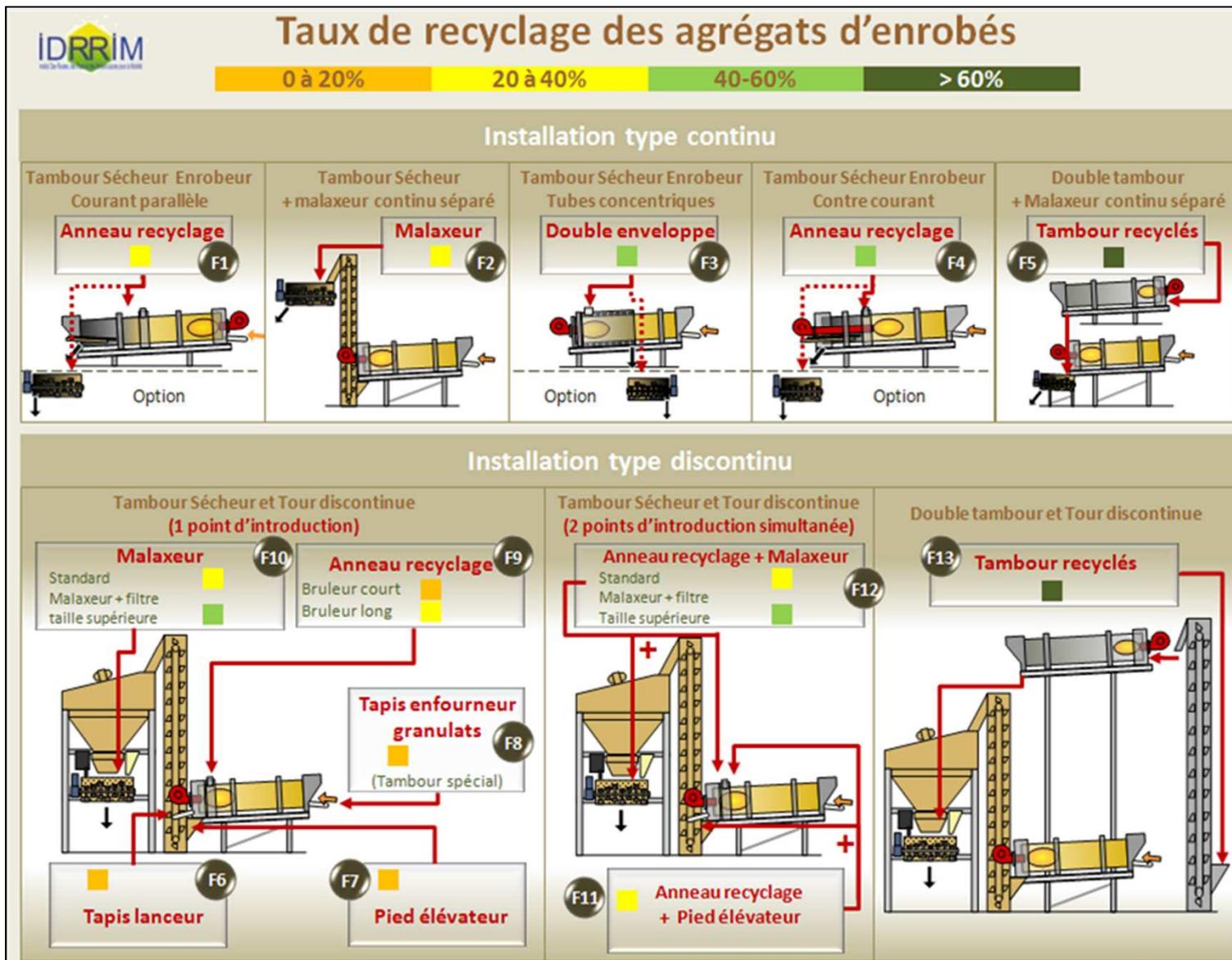
Fiche de reconstitution												
Nouvel agrégat d'enrobé et/ou nouveau taux												
<i>Composition de la formule</i>												
Entreprise :						Date de l'étude initiale :						
Nom du produit :						Date de la reconstitution :						
Formule N° :												
Mélange Granulaire												
	Etude	Recomposition										
Fraction 1	%	%	Provenance									
-----	%	%	Provenance									
Fraction n	%	%	Provenance									
U AE d/D	%	% *	Provenance									
T. en liant apport	%	%	Provenance									
Total	100%	100%	Provenance									
T. en liant total	%	%	Provenance									
* (M. agrégats secs / M. enrobé en %)												
Courbe granulométrique, MVRE et K												
Tamis (mm)	20	14	10	8	6,3	4	2	0,5	0,25	0,063	K	MVRE (Mg/m ³)
Etude initiale (%)												
Mélange recomposé (%)												
Ecart (%)												
Δ maximal toléré (+/-)	2 % à D			2%		1%				0,30%		0,05
Caractéristiques des Agrégats d'enrobés												
Agrégats de la formule originelle						Nouvel agrégat d'enrobé						
Catégorie	F	TL	B	G	R	MVR	F	TL	B	G	R	MVR
Identification du stock :												
Caractéristiques des liants												
Etude originelle						Etude recomposée						
	TBA (°C)	Péné (1/10 mm)					TBA (°C)	Péné (1/10 mm)				
Liant du recyclé							Liant du recyclé					
Liant d'apport							Liant d'apport					
Liant du mélange						Liant du mélange						
valeur mesurée							valeur mesurée					
valeur calculée							valeur calculée					

Formulation des mélanges bitumineux à chaud

Acceptabilité de la formulation chantier



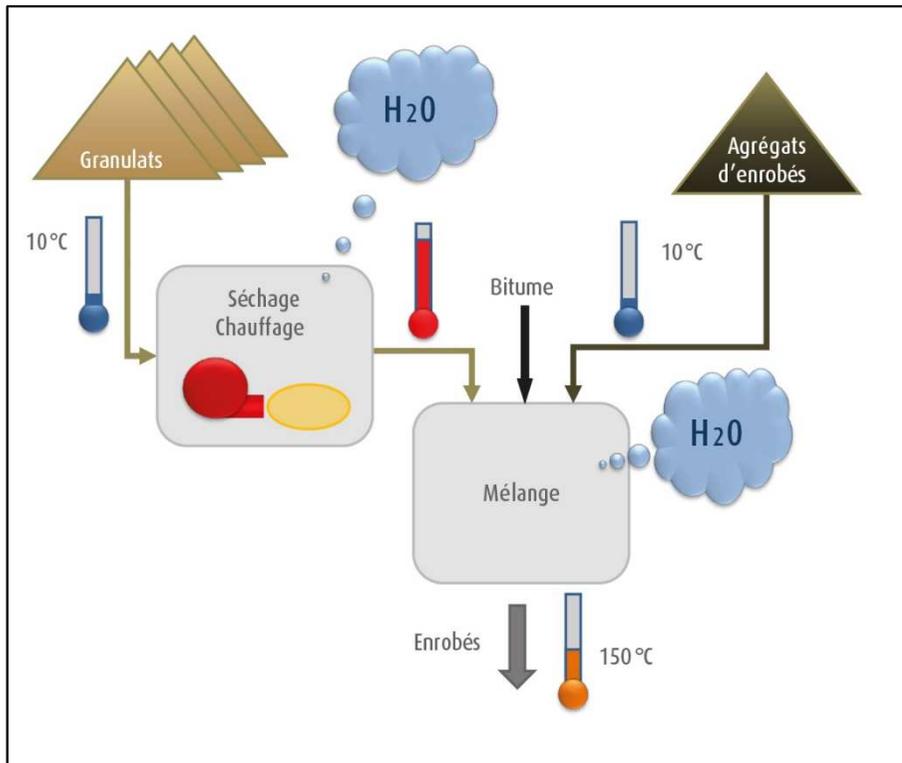
Fabrication à chaud en usine d'enrobés



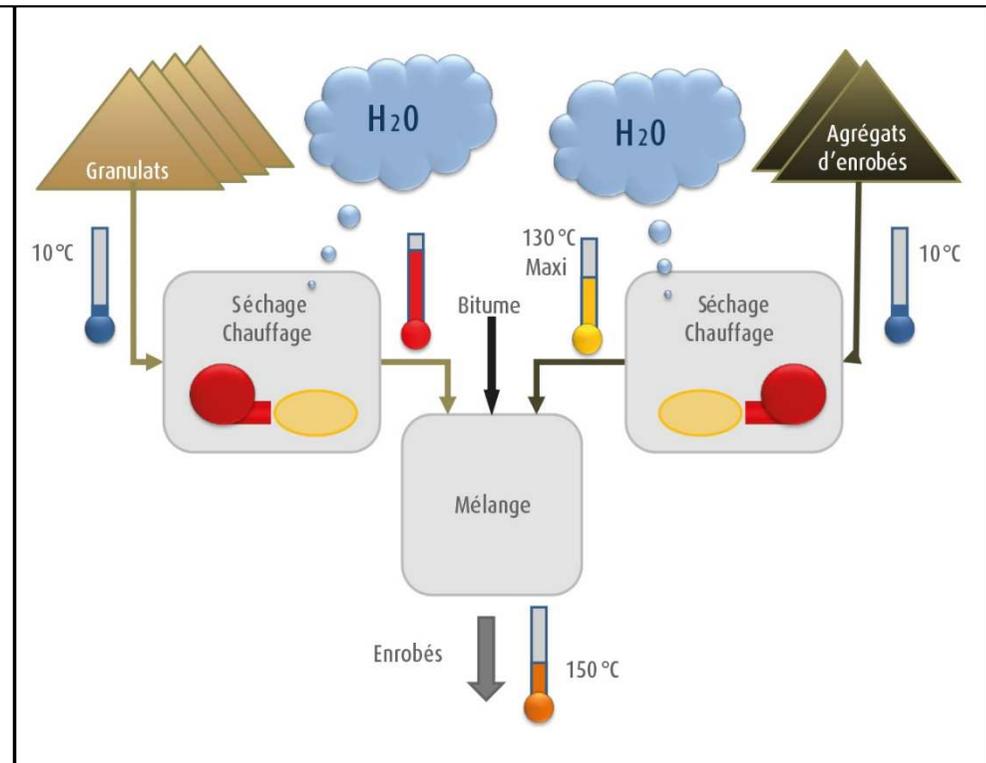
➤ Fabrication à chaud en usine d'enrobés

Les principes de chauffe des agrégats d'enrobés (AE)

Chauffe indirecte



Chauffe directe



Fabrication à chaud en usine d'enrobés

RECYCLAGE EN INSTALLATION DE FABRICATION D'ENROBES
F2

Procédé enrobage : Continu

Technologie : Tambour Sécheur + Malaxeur continu séparé

Technique introduction agrégats d'enrobés : **Malaxeur**

0 à 20 %
20 à 40 %
40 à 60 %
> 60 %

Taux de recyclage généralement constaté en fonction de la teneur en eau des Agrégats d'Enrobés

Variation du débit en fonction du taux de recyclage pour 5% H₂O et 3% H₂O

Taux de recyclage	5% H ₂ O	3% H ₂ O
0%	100%	100%
10%	95%	95%
20%	90%	90%
30%	85%	85%
40%	80%	80%

F2

Proportion estimée sur parc France

4%

😊 *Fitre de taille supérieure
Assainissement au malaxeur
Capacité du malaxeur*

☹️

RECYCLAGE EN INSTALLATION DE FABRICATION D'ENROBES
F13

Procédé enrobage : Discontinu

Technologie : Double tambour et Tour discontinue

Technique introduction agrégats d'enrobés : **Tambour recyclés**

0 à 20 %
20 à 40 %
40 à 60 %
> 60 %

Taux de recyclage généralement constaté en fonction de la teneur en eau des Agrégats d'Enrobés

Variation du débit en fonction du taux de recyclage pour 5% H₂O et 3% H₂O

Taux de recyclage	5% H ₂ O	3% H ₂ O
0%	100%	100%
10%	100%	100%
20%	100%	100%
30%	100%	100%
40%	100%	100%
50%	100%	100%
60%	100%	100%
70%	100%	100%
80%	100%	100%

F13

Proportion estimée sur parc France

0,9%

😊 *Prévoir dispositif complémentaire pour faible taux de recyclage*

☹️ *Attention au dimensionnement du sécheur AE pour atteindre des taux > 70%*

➤ Mise en œuvre et contrôle des mélanges bitumineux

Mise en œuvre

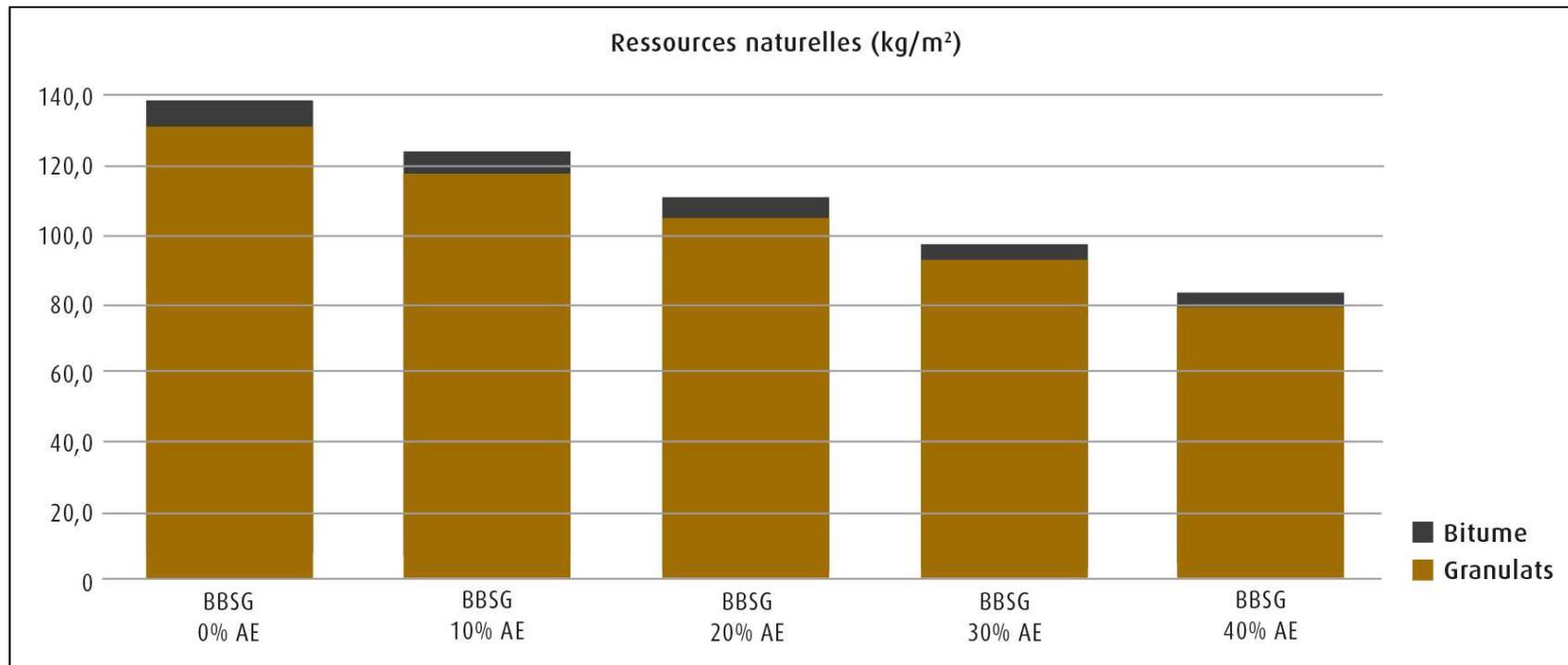
- ✓ Traditionnelle, avec une attention particulière requise pour le compactage

Contrôle des mélanges bitumineux

- ✓ Contrôles identiques à ceux réalisés pour les mélanges bitumineux sans agrégats d'enrobés
- Application possible des dispositions du fascicule 27 « *Mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés* »

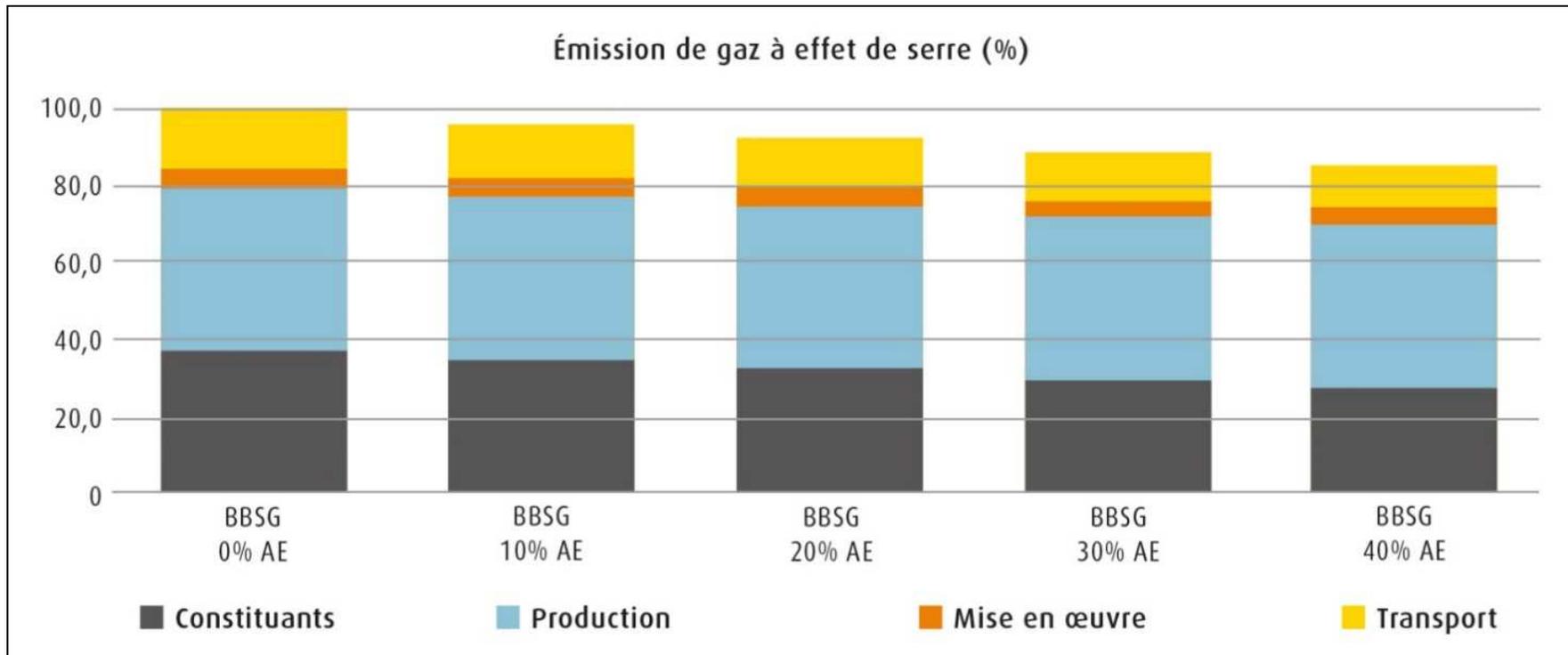
Aspect environnemental

Préservation de la ressource naturelle en fonction du taux de recyclage

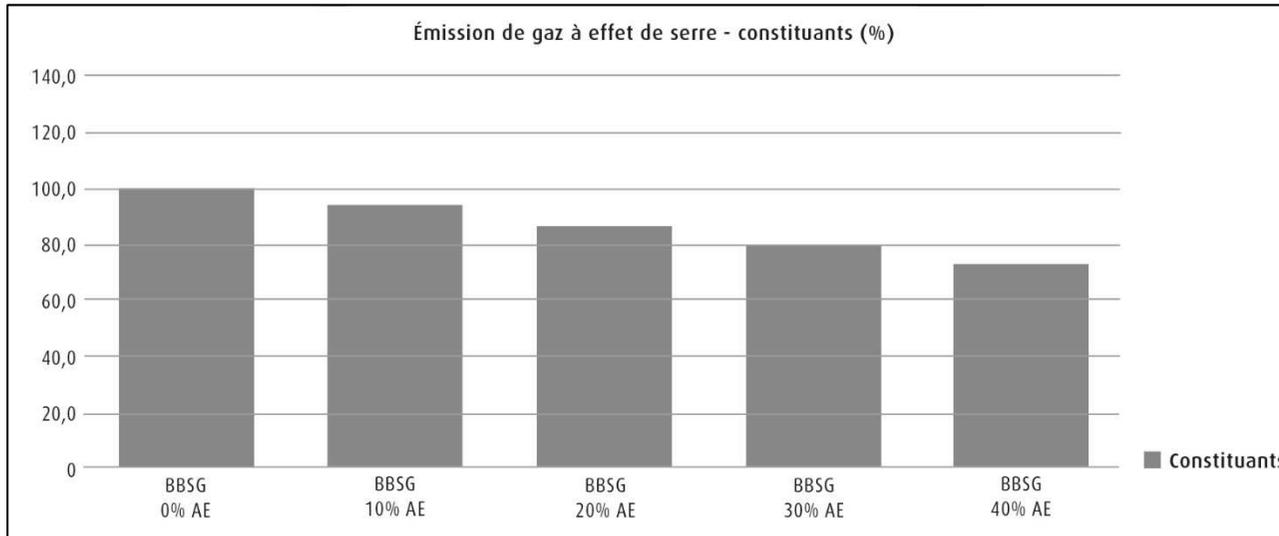


Aspect environnemental

Représentation des GES sur 100 %

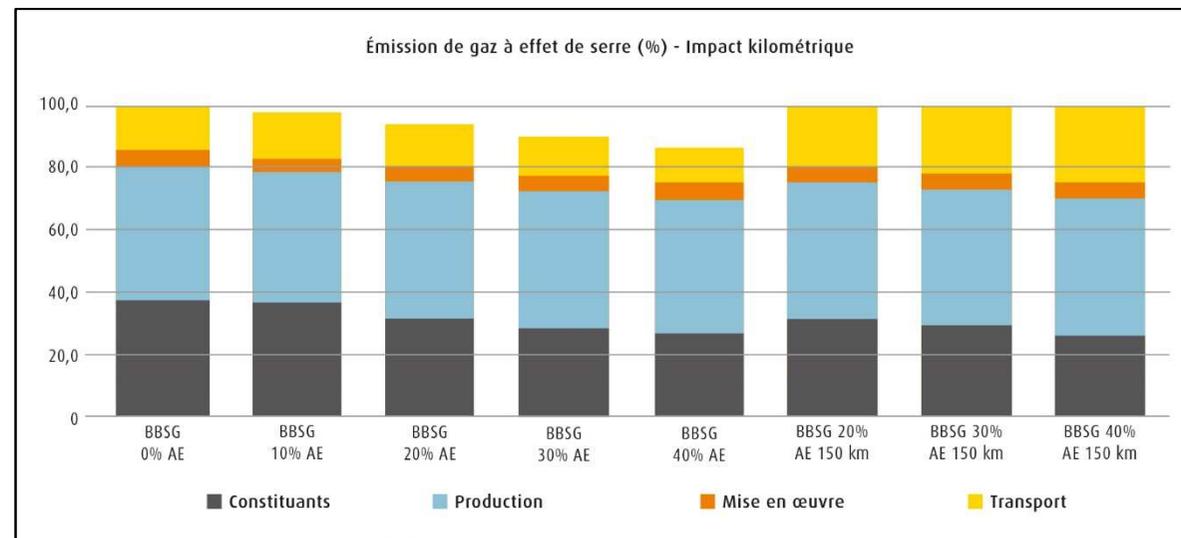


Aspect environnemental



Émissions de gaz à effet de serre liées aux constituants (%)

Impact kilométrique sur l'analyse complète GES (%)



➤ Recyclage à des taux entre 30 et 40 %

Recommandations particulières inscrites :

- **Pertinence du choix :**
 - Capacité des usines d'enrobés
 - Quantité et qualité des AE (y compris teneur en eau)
- **Points de vigilance :**
 - Choix du bitume d'apport
 - Épreuves de formulation au taux d'AE retenu
- **Capitalisation :**
 - Conservation de la mémoire et archivage : FTAE, FTP, Études de formulation, Conditions de fabrication et Mise en œuvre
 - Saisie de l'évolution des réalisations et retours d'expérience
 - Partage des éléments auprès de l'IDRRIM pour le suivi des retours d'expérience

> Annexes

1. Glossaire
2. Sigle et acronyme
3. Bibliographie
4. Retour d'expérience sur l'adhérence des couches de roulement
5. Rappel de la réglementation en vigueur au 28 octobre 2019 sur le stockage provisoire des agrégats d'enrobés ne contenant pas de goudron ni d'amiante
6. Exemple d'une installation de valorisation
7. Quantités de matériaux nécessaires et durée approximative des essais pour une étude formulation
8. Exemple de calcul de rendement (vitesse de fraisage)
9. Le module de richesse
10. Exemple de FTAE, FTP et Fiche de recomposition
11. Synthèse et répartition des solutions continues et discontinues (Données 2012)
12. Solutions continues (Données 2012)
13. Solutions discontinues (Données 2012)



MERCI
DE VOTRE ATTENTION



Télécharger le guide :

www.idrrim.com/publications/8757.htm

<http://dtrf.setra.fr/notice.html?id=Dtrf-0008494>

Contact :

idrrim@idrrim.com | 01.44.13.31.30

bventes@cerema.fr | www.cerema.fr

