

Évaluation et caractérisation des granulats bitumineux recyclés de la région métropolitaine

Marc-André Bérubé, *Candidat au Doctorat*

École de technologie supérieure

26^e congrès - Ensemble pour une ville durable et résiliente

Remerciements

- © Groupe Bauval inc
- © Kevin Bilodeau, Ph.D., P. Ing.
Directeur technique, Groupe Bauval inc.
- © Alan Carter, Ph.D., P. Ing.
Professeur & Sensei, ETS

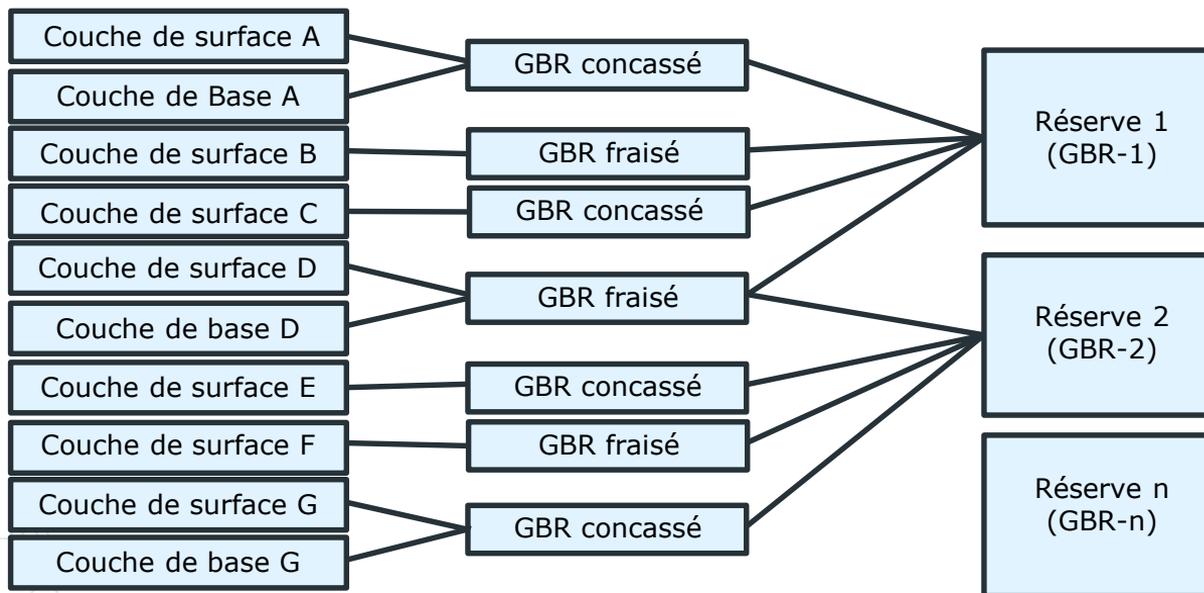
Plan de présentation

- Introduction
- Objectifs
- Revue de littérature
- Méthodologies et présentation des matériaux
- Résultats
 - Essais sur GBR
 - Densité maximale
 - Teneur en bitume (à l'ignition)
 - Courbe granulométrique (courbe noir)
 - Essais sur les granulats
 - Courbe granulométrique (courbe blanche)
 - Essais sur les bitumes extraits des GBR
 - Pénétration
 - Rhéomètre à cisaillement giratoire (DSR) - T_e & MSCR
 - Rhéomètre à poutre de flexion (BBR) - T_b

Conclusion

Introduction – Sources des GBR

- Les réserves de granulats bitumineux recyclés (GBR) proviennent des routes ayant subites des contraintes distincts.



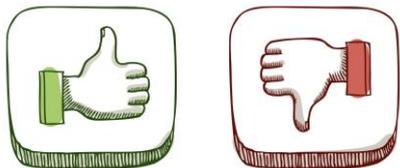
Introduction – Avantages / Inconvénients

Sur le plan environnemental:

- ⊙ Économie des ressources naturelles;
- ⊙ Diminution de la quantité de rebuts;
- ⊙ Diminution des gaz à effet de serre (GES);
- ⊙ Rentabilité énergétique;
- ⊙ Économie de transport;
- ⊙ Durée de vie peut varier.

Sur le plan technique:

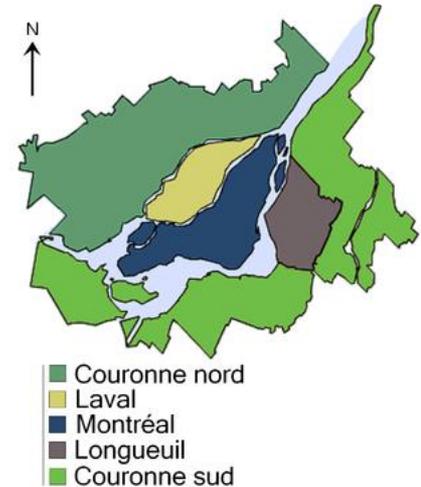
- ⊙ Résultats très variés selon différents ouvrages;
- ⊙ Bitume des GBR oxydé;
- ⊙ Possibilité d'obtenir des propriétés équivalentes à un enrobé sans recycler;
- ⊙ Manque de connaissances au niveau des caractéristiques.



Objectifs

- ⊙ **Réaliser la caractérisation complète de huit sources de GBR provenant de la même région climatique;**
- ⊙ **Sélectionner la source principale de GBR dans le cadre du programme de recherche;**
- ⊙ **Lier les caractéristiques des GBR avec la méthode de formulation;**

Cette présentation se concentre sur 8 sources de GBR de la région métropolitaine



Revue de littérature – Granulats bitumineux récupérés (GBR)

Les GBR proviennent d'enrobes bitumineux en fin de vie:

- Oxydation;
- Sollicitations;
- Paramètres de fabrication;
- Paramètres de pose;
- Conditions climatiques;
- Contaminations.



Revue de littérature – Caractérisation du GBR

Pour caractériser les GBR, on effectue une teneur en bitume (par ignition ou par extraction) et la granulométrie sur les granulats.



Selon la teneur en GBR, le bitume d'apport change:

- En-dessous de 15% massique, on utilise la classe de bitume recommandée pour la région et le volume de circulation;
- Entre 15% et 25%, on utilise une classe de bitume inférieur à la classe recommandée;
- Au-delà de 25%, on utilise les chartes de température.



Revue de littérature – Charte de température

La charte de température est souvent présentée en fonction de la teneur massique en GBR.

Pour déterminer le comportement du bitume combiné, la teneur en GBR est remplacé par le **rapport de bitume recyclé (RBR)** qui est déterminé selon l'équation suivante:

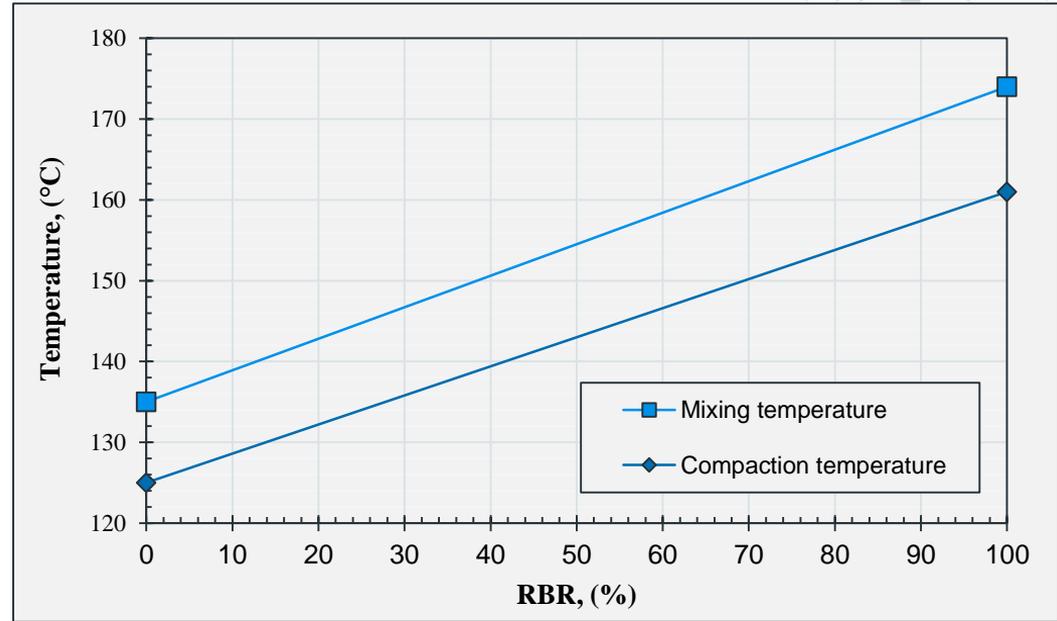
$$\text{RBR} = \frac{P_{b,\text{RAP}} \cdot P_{\text{RAP}}}{100 \cdot P_{b,\text{total}}}$$

RBR est le rapport de bitume recyclé (%);

$P_{b,\text{RAP}}$ est la teneur en bitume du GBR par rapport à la masse total du GBR (%);

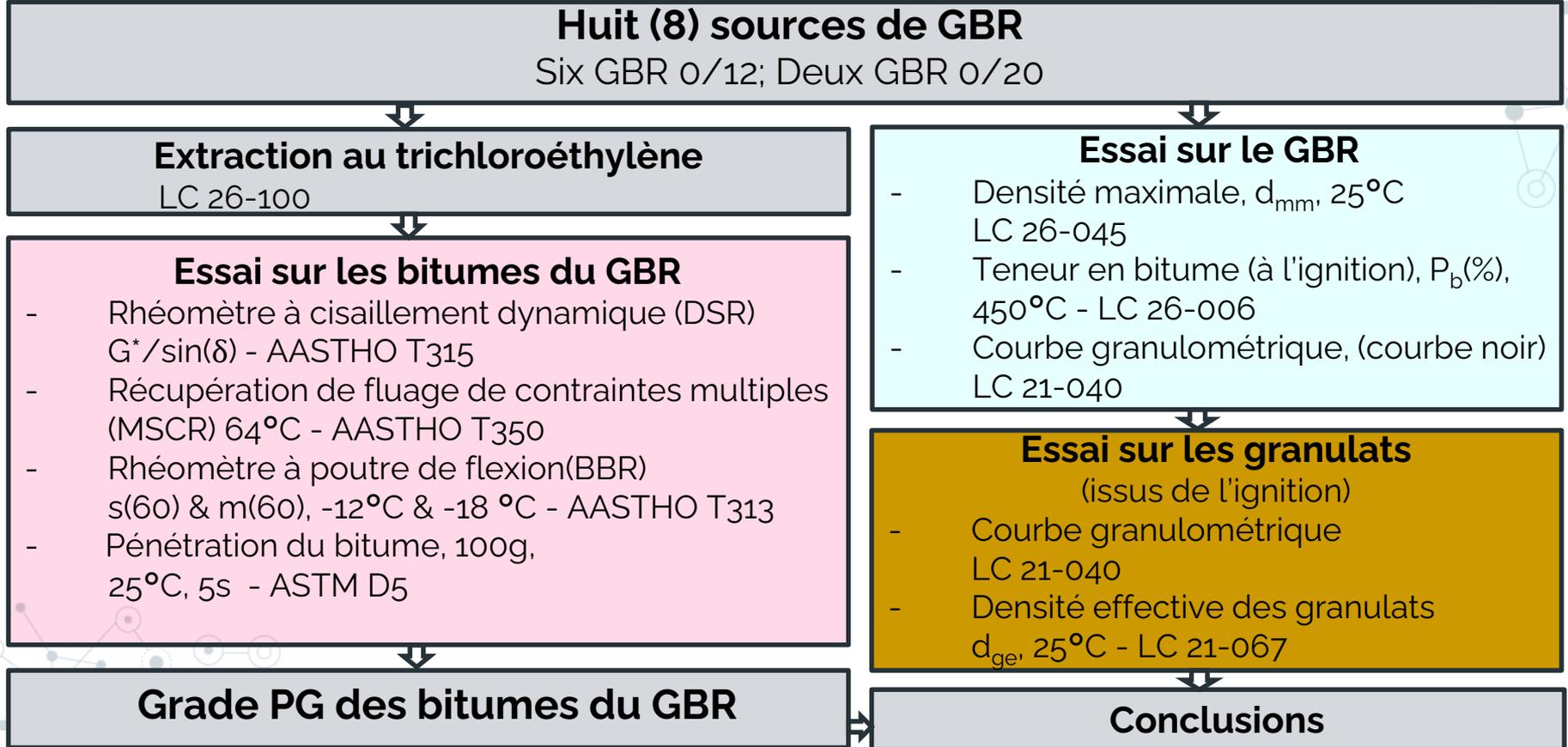
P_{RAP} est le pourcentage de GBR par rapport à la masse total de l'enrobé (%); et

$P_{b,\text{Total}}$ est la teneur en bitume total du mélange par rapport à la masse totale du mélange (%).



Exemple de charte des mélange

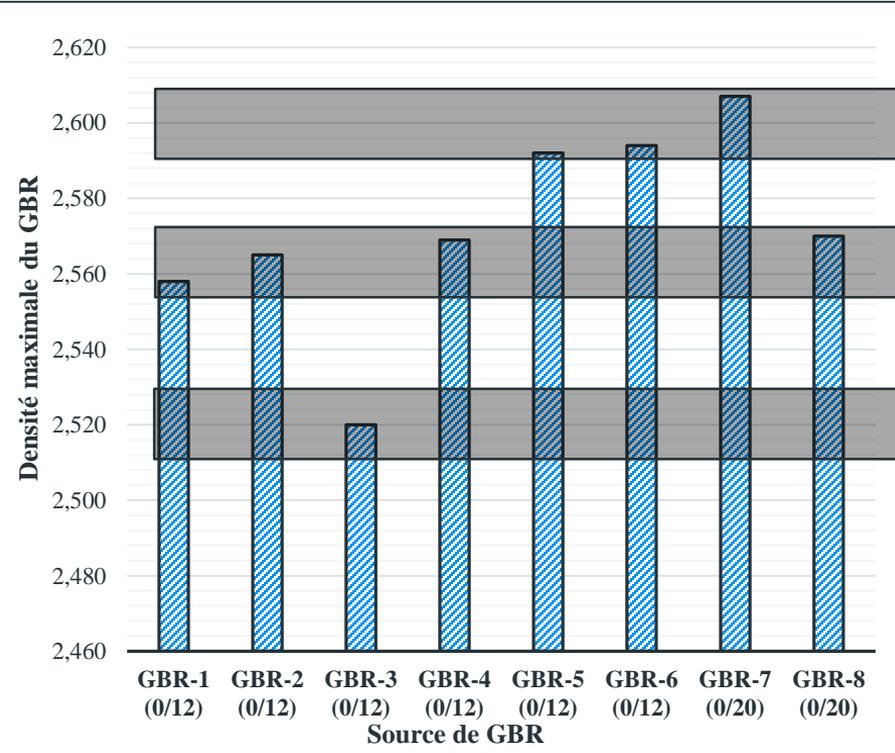
Méthodologie - Évaluation et caractérisation des granulats bitumineux recyclés (GBR) de la région métropolitaine



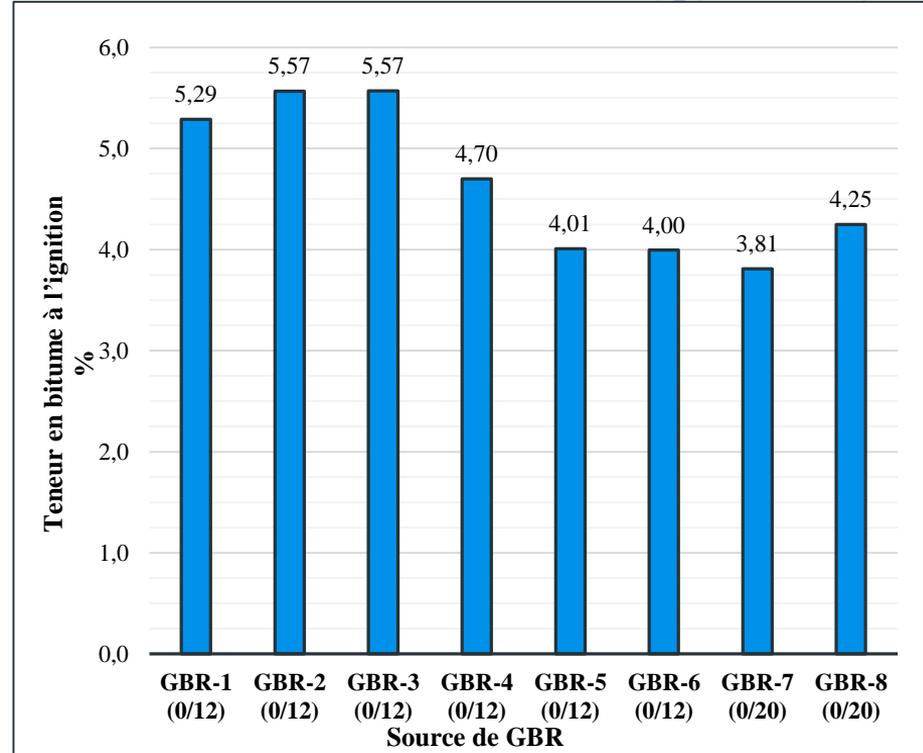
Résultats – Caractéristiques du GBR

Densité maximale et teneur en bitume

LC 26-045 & LC 26-006



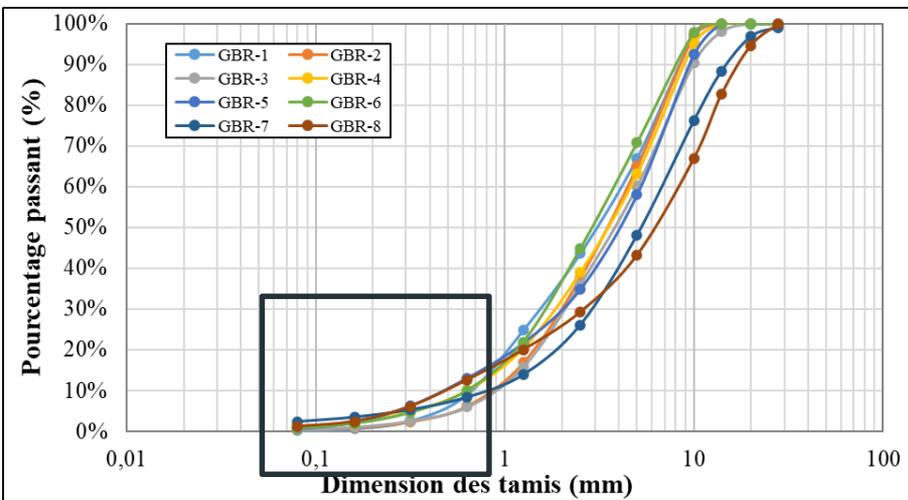
Densité maximale du matériau (Dmm) des GBR



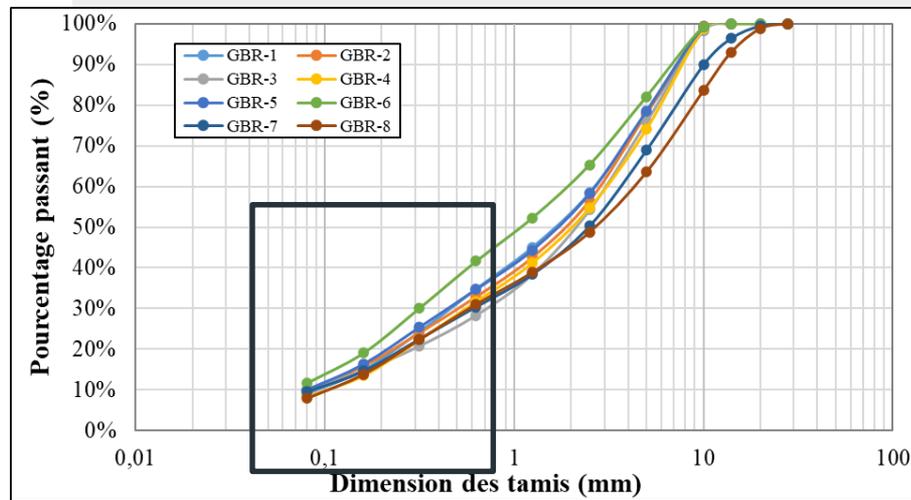
Teneur en bitume (%) à l'ignition

Résultats : granulométries

LC 21-040 & LC 26-007



Courbe granulométrique « avec bitume »



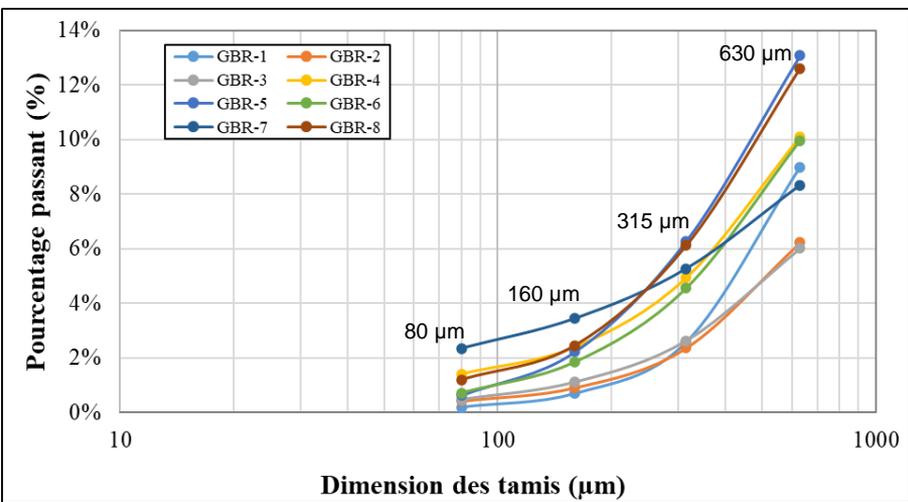
Courbe granulométrique « sans bitume »

Pour la formulation des enrobés à chaud, la courbe granulométrique blanche est utilisée;

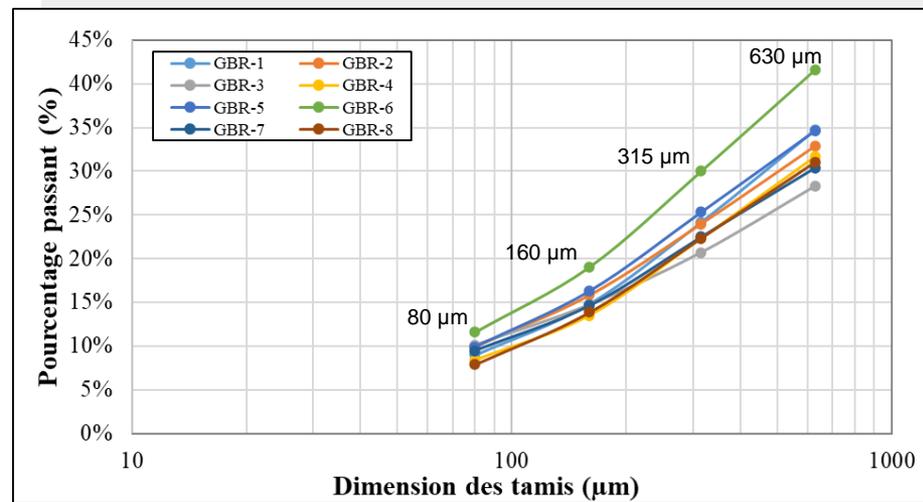
Les granulométries « sans bitume » montrent une meilleure similarité, à l'exception du GBR-6 pour le GBR 0-10.

Résultats : granulométrie

LC 21-040 & LC 26-007



Courbe granulométrique « avec bitume »



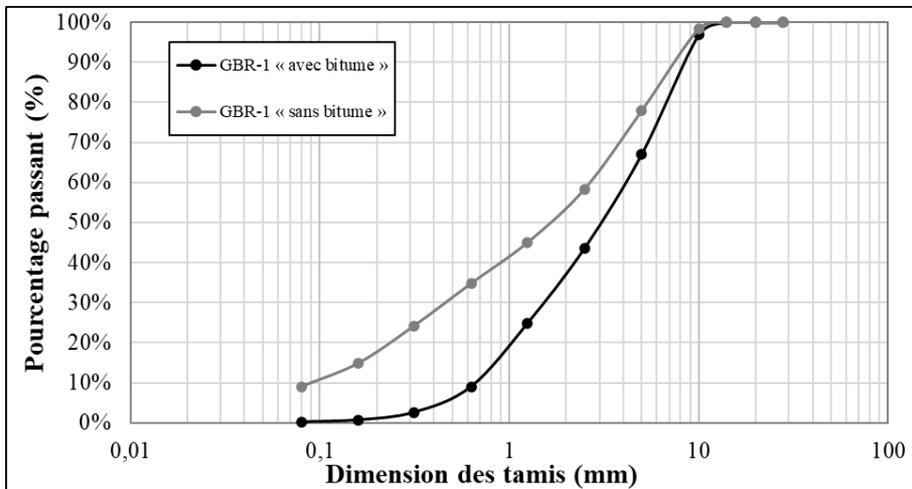
Courbe granulométrique « sans bitume »

Les particules plus fines sont colmatées entre-elles dans les courbes granulométriques « avec bitume »;

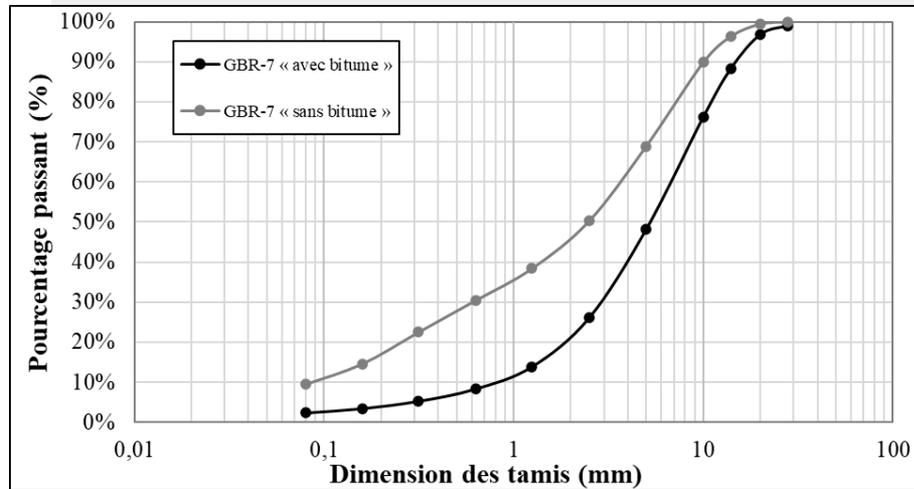
La teneur en filler augmente en moyenne de 8,6% pour tous les GBR.

Résultats : granulométrie (superposition des courbes avec et sans bitume)

LC 21-040 & LC 26-007



Courbes granulométriques GBR-1 (0-10)

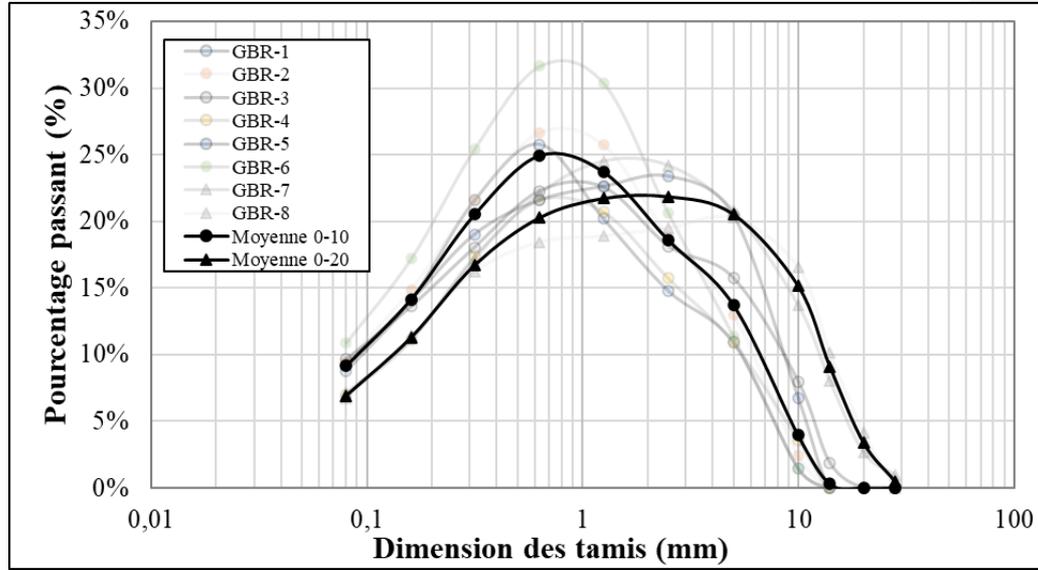


Courbes granulométriques GBR-7 (0-20)

L'agglomération des particules du GBR avec le bitume va avoir un impact sur la maniabilité et l'homogénéité de l'enrobé bitumineux.

Résultats : granulométrie (comparaison des courbes avec et sans bitume)

LC 21-040 & LC 26-007



Écart des courbes granulométriques avec et sans bitume

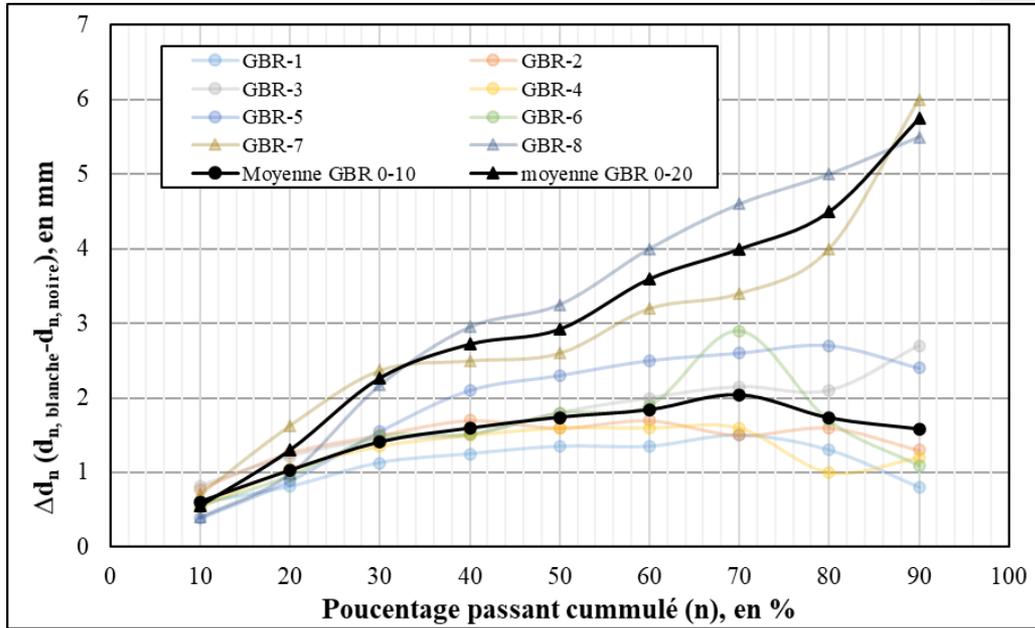
En moyenne, l'écart est:

- 7% au tamis 10 mm;
- 15% au tamis 5 mm;
- 19% au tamis 2,5 mm;
- 23% au tamis 1,25 mm;
- 24% au tamis 630 µm;
- 20% au tamis 315 µm;
- 13% au tamis 160 µm;
- 8,6% au tamis 80 µm.

La variation du pourcentage passant est plus importante aux diamètres intermédiaires.

Résultats : granulométrie (comparaison des courbes avec et sans bitume)

LC 21-040 & LC 26-007



Écart des courbes granulométriques avec et sans bitume

Les coefficients de courbure (C_c) et coefficients d'uniformité (C_u):

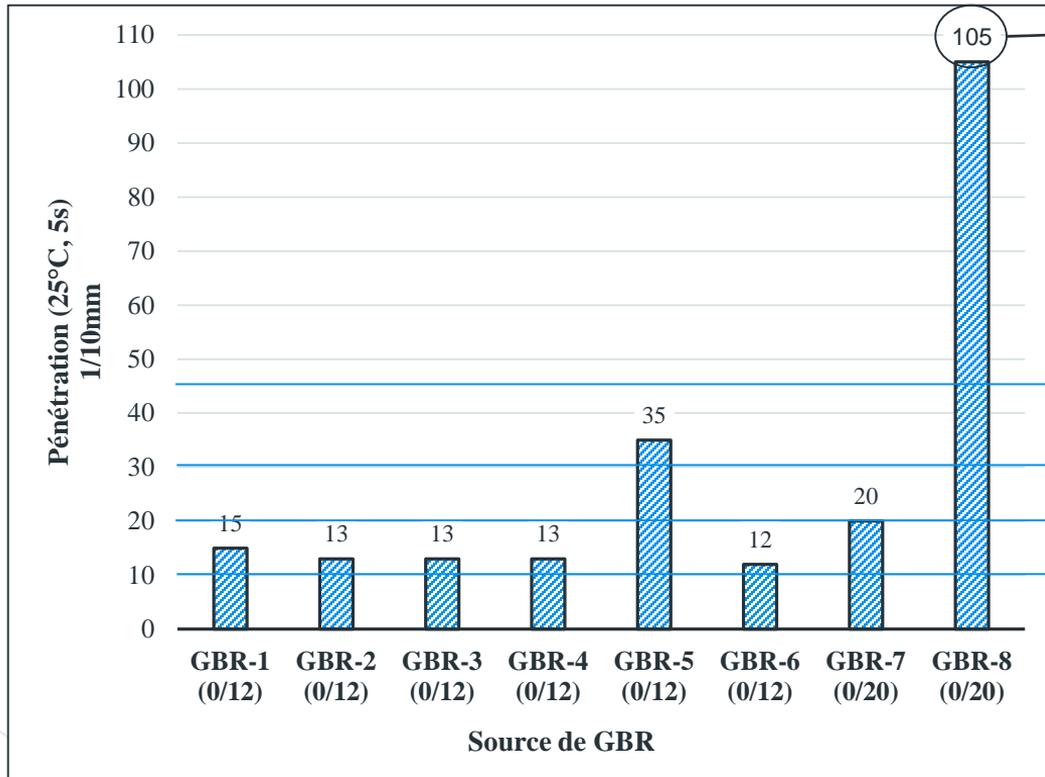
- C_c équivaut en moyenne à 1,2 et 1,0 pour le GBR 0-10 avec et sans bitume respectivement;
- C_c équivaut en moyenne à 1,7 et 1,0 pour le GBR 0-20 avec et sans bitume respectivement;
- C_u équivaut en moyenne à 6,9 et 32,1 pour le GBR 0-10 avec et sans bitume respectivement;
- C_u équivaut en moyenne à 12,6 et 42,1 pour le GBR 0-20 avec et sans bitume respectivement;

La variation du pourcentage passant est plus importante aux diamètres intermédiaires.

L'essai du four à ignition peut causer du fractionnement de granules, on doit prioriser l'extraction au solvant. Aucuns facteurs de correction sont connus.

Résultats – Pénétration à l'aiguille (100g, 5s, 25°C)

ASTM D5



Équivaut à un grade de pénétration 100-150 (bitume mou)

GBR-8 est probablement contaminé au trichloréthylène

Équivaut à un grade de pénétration 30/45 (bitume dure)

Équivaut à un grade de pénétration 10/20 (bitume très dure)

Résultats de pénétration sur bitumes extraits des GBR

Résultats – Évaluation de la rigidité à température élevée T_e (DSR)

AASTHO T315

Résultats de DSR sur bitumes extrait des GBR

			GBR-1 (0/12)	GBR-2 (0/12)	GBR-3 (0/12)	GBR-4 (0/12)	GBR-5 (0/12)	GBR-6 (0/12)	GBR-7 (0/20)	GBR-8 (0/20)	
DSR	64°C	G*	18,469	41,140	32,602	66,295	12,561	23,025	8,550	1,432	
		δ	71,54	68,50	62,46	68,00	72,21	73,31	74,73	79,99	
		G*/sin(δ)	19,471	44,217	36,768	71,502	13,192	24,038	8,863	1,454	
	70°C	G*	8,732	19,82	17,116	31,819	5,724	10,413	4,195	0,834	
		δ	74,53	71,38	64,24	70,88	75,07	76,61	77,32	81,49	
		G*/sin(δ)	9,060	20,915	19,005	33,677	5,924	10,704	4,300	0,843	
	76°C	G*	4,148	9,593	9,098	15,4	2,643	4,755	2,089	-	
		δ	77,37	74,28	66,28	73,79	79,62	79,58	79,69	-	
		G*/sin(δ)	4,251	9,966	9,937	16,038	2,687	4,835	2,123	-	
	82°C	G*	2,031	4,746	4,920	7,621	1,240	2,222	1,085	-	
		δ	79,86	76,96	68,50	76,54	79,62	82,06	81,78	-	
		G*/sin(δ)	2,063	4,872	5,288	7,836	1,261	2,244	1,096	-	
	88°C	G*	1,046	2,381	2,708	3,764	0,615	1,107	0,594	-	
		δ	81,99	79,35	70,85	79,03	80,88	84,01	83,53	-	
		G*/sin(δ)	1,056	2,423	2,867	3,834	0,623	1,113	0,598	-	
	94°C	G*	0,563	1,244	1,500	1,942	-	0,577	-	-	
		δ	83,77	81,42	73,26	81,23	-	85,46	-	-	
		G*/sin(δ)	0,566	1,258	1,566	1,965	-	0,579	-	-	
	100°C	G*	-	0,683	0,851	1,041	-	-	-	-	
		δ	-	83,17	75,68	83,14	-	-	-	-	
		G*/sin(δ)	-	0,688	0,878	1,049	-	-	-	-	
	T_e			88,52	96,28	98,65	100,46	83,97	88,98	82,91	68,12

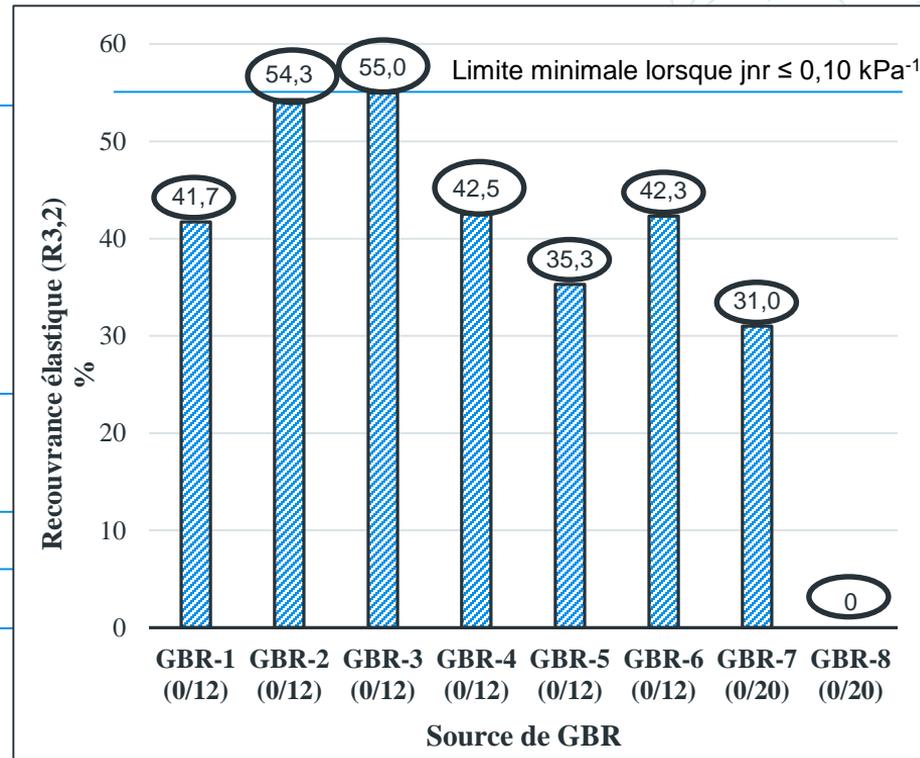
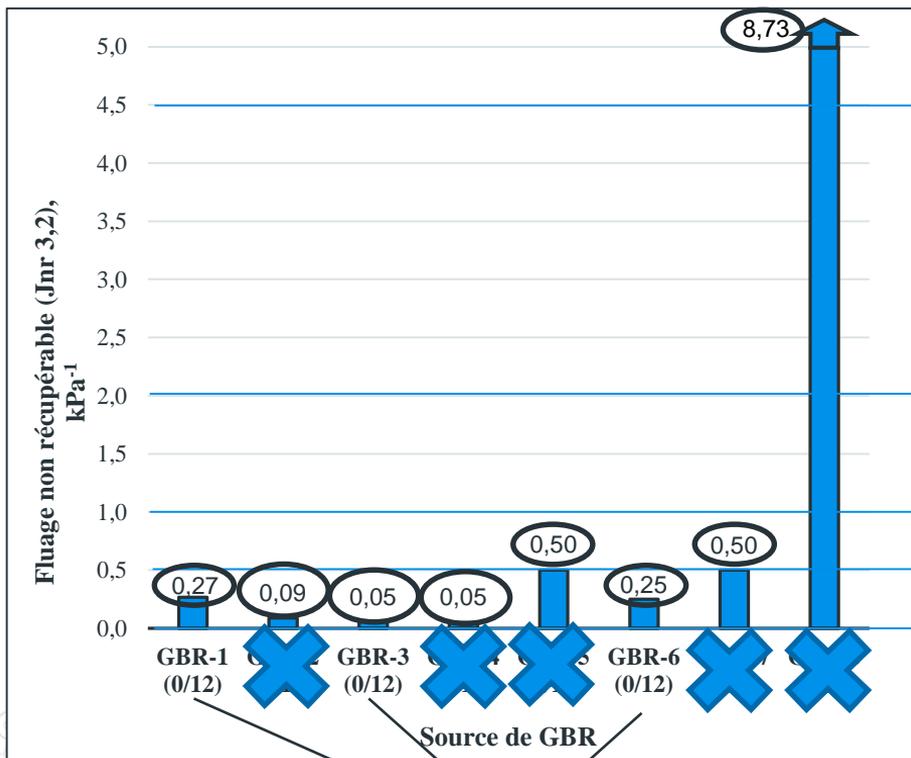
Au niveau caractérisation ($G^*/\sin(\delta) \geq 1,00\text{kPa}$)

- GBR-8 semble contaminé (trop souple)
- Pour GBR-5 et GBR-7, $T_e = 82^\circ\text{C}$
- Pour GBR-1 et GBR-6, $T_e = 88^\circ\text{C}$
- Pour GBR-2 et GBR-3, $T_e = 94^\circ\text{C}$
- Pour GBR-4, $T_e = 100^\circ\text{C}$

Résultats – Évaluation de la résistance aux déformations accumulées

(MSCR, 64°C) - AASTHO T350

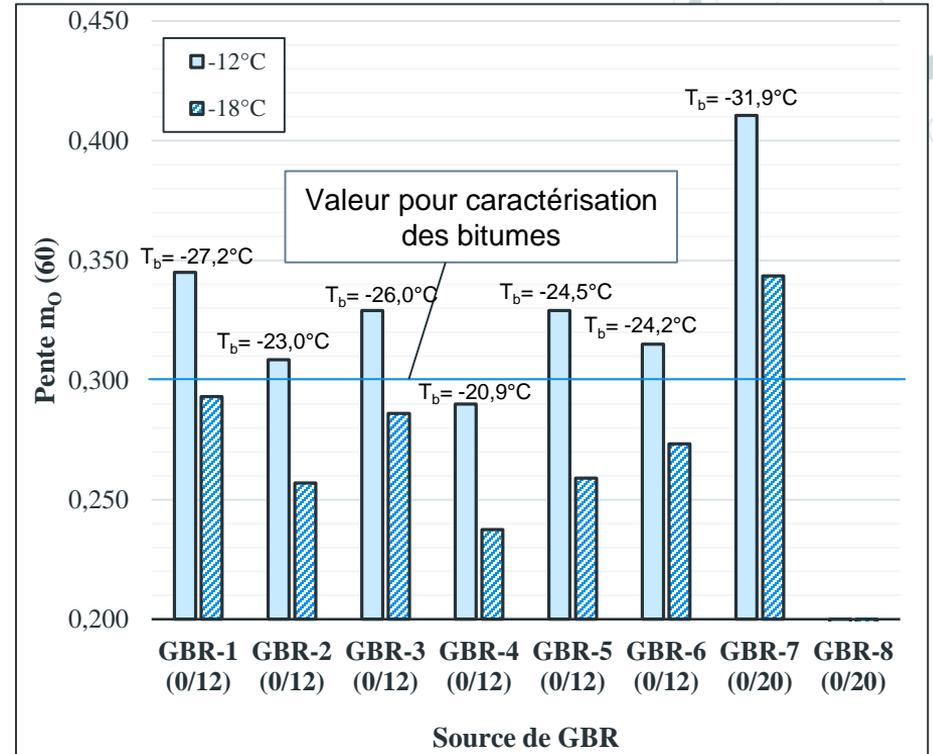
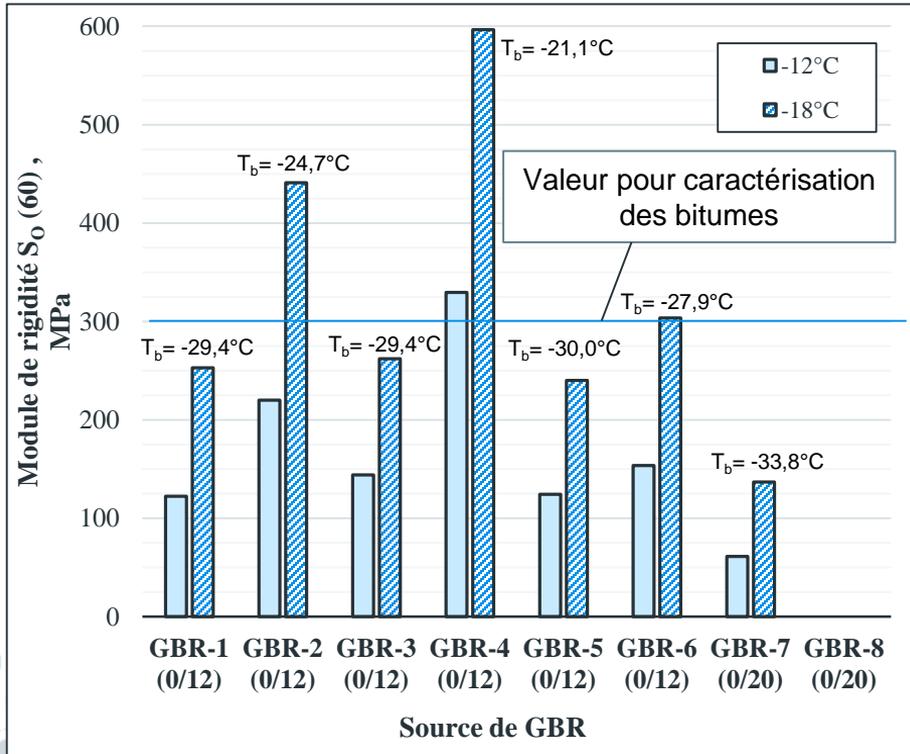
$$R_{3,2} \geq 29,371 Jnr_{3,2}^{-0,263}$$



$n = E$

Résultats – Évaluation de la rigidité à basse température T_b (BBR)

AASTHO T313



Résultats – Caractérisation grade PG des bitumes issus des GBR

Résultats de pénétration sur bitumes extraits des GBR

	GBR-1 (0/10)	GBR-2 (0/10)	GBR-3 (0/10)	GBR-4 (0/10)	GBR-5 (0/10)	GBR-6 (0/10)	GBR-7 (0/20)	GBR-8 (0/20)
T_b (°C)	-27,2	-23,0	-26,1	-20,9	-24,0	-24,2	-32,0	N/A
ΔT_b (°C)	-2,2	-1,7	-3,3	-0,2	-5,6	-3,7	-2,0	N/A
PG T_c-T_b	88-22	94-22	94-22	100-16	82-22	88-22	82-28	64-??
ΔT	116	119	125	121	108	113	115	N/A
PG T_{c n}-T_b	64E-22	N/A	64E-22	N/A	N/A	64E-22	N/A	N/A

- La classification PG T_{c n} – T_b fonctionne que pour 3 bitumes;
- Le bitume du GBR-7 (PG 82-28) semble moins oxydé;
- Le GBR-8 est contaminé et les résultats sont erronés.

Conclusion

- ⊙ **Les granulométries sont similaires et suivent les mêmes tendances**
- ⊙ **Les propriétés des bitumes extraits des GBR varient selon leur sources :**
 - Les températures de caractérisation basses;
 - Les températures de caractérisation élevées;
 - La teneur en bitume;
 - La résistance aux déformations accumulées;
 - La pénétration.
- ⊙ **Il est possible d'ajouter davantage de GBR dans les nouveaux enrobés**
- ⊙ **Les prochains essais porteront sur la caractérisation des bitumes des GBR sans extraction de bitume au TCE.**

Merci

Questions?

Marc-André Bérubé

marc-andre.berube.3@ens.etsmtl.ca