

# Analyse pétrographique de particules utilisées dans l'essai accéléré sur barres de mortier pour évaluer le potentiel de réactivité alcaline de granulats de béton recyclé (GBR)

Sean Beauchemin, Benoit Fournier

Dpt. de géologie et de génie géologique, Université Laval, Québec, Québec, Canada

## Résumé

Une analyse d'image a été employée dans une étude interlaboratoire [1] sur les granulats de béton recyclé (GBR). L'essai accéléré sur barres de mortier (AMBT) utilisé lors de cette étude a montré des différences d'expansions significatives après 14 et 28 jours entre deux types de granulats fins de GBR issus de la démolition de blocs de béton ou du broyage de granulats grossiers affectés par la réaction alcalis-granulat (RAG). L'analyse pétrographique (par analyse d'image) effectuée sur les deux différents types de granulats fins a permis d'observer une différence dans la composition des granulats fins produits par la démolition originale des blocs de béton (FC), qui sont principalement composés de mortier résiduel (MR), comparativement aux sables de GBR (SGBR), résultant du concassage de granulats grossiers (5 à 20 mm). En effet, cette différence va engendrer un potentiel de RAG plus élevé dans les barres de mortiers fabriquées à partir de SGBR dû à la proportion plus élevée de granulat d'origine (GO) réactif. En conséquence, la méthode utilisée dans la fabrication de particules fines utilisées pour les barres de mortiers a un impact significatif sur les caractéristiques des matériaux de ces barres qui subiront alors des expansions plus élevées.

**Mots clés :** Granulats de béton recyclé (GBR),  *fines de concassages, sables de GBR*, réaction alcalis-granulat (RAG)

## 1 Introduction

Le recyclage fait maintenant partie intégrante de la société et est de plus en plus encouragé. Dans les dernières années, il y a un intérêt grandissant dans l'industrie de la construction à considérer la possibilité de réutiliser des matériaux issus de la démolition d'infrastructures de béton qui ont atteint la fin de leur vie utile comme source de granulats pour du nouveau béton. Même si cette pratique est acceptée dans certaines parties du monde, plusieurs problèmes demeurent, principalement quant à la performance à long-terme (durabilité) du béton incorporant des granulats de béton recyclé (GBR); plusieurs d'entre-eux sont affectés par différentes pathologies, comme la RAG. Une étude interlaboratoire a récemment été réalisée afin de vérifier si l'essai accéléré sur barres de mortier (AMBT, ASTM C 1260), habituellement utilisé pour l'évaluation du potentiel de réactivité alcalin des granulats à béton, pouvait aussi être utilisé pour les GBR incorporant plusieurs types de granulats réactifs d'origine (GO) différents [1]. Cette étude a été mise sur pied suite aux résultats de travaux menés par Shehata et al. [2] sur les GBR incorporant le calcaire très réactif de la carrière Spratt, située à Ottawa (Ontario). Cependant, cette dernière a démontré que l'expansion délétère affectant les barres de mortier dépend de la méthode de production des granulats fins, même si les GBR sont tous composés d'un GO identique.

## 2 Méthodologie

Dans cette étude, l'AMBT a été effectué sur des GBR incorporant quatre différents types de GO : gravier de l'Alberta (Al), calcaire de Bernier (Be), grès de Potsdam (Po) et le grauwacke de Springhill (Sl) [1]. Deux types de matériaux fins, résultats de différentes méthodes de production, ont aussi été utilisés pour l'AMBT, i.e.  *fines de concassage et sable de GBR*. En fait, les  *fines de concassage* correspondent aux granulats fins (< 5 mm) issu de la préparation originale des GBR (provenant de la démolition des blocs de béton de grande

taille). Les *sables de GBR* représentent, quant à eux, le matériel fin (aussi < 5 mm) normalement utilisé lors de l'évaluation du potentiel de réactivité alcaline des granulats grossiers, et obtenus en laboratoire en suivant les étapes prescrites dans la norme ASTM C 1260 pour la préparation du matériel à partir des granulats grossiers (particules de 5-20mm). Les essais d'expansion ont révélé des différences considérables entre les deux types d'échantillons. (Figure 1) [1]. En effet, les barres de mortier fabriquées à partir des matériaux granulaires incorporant les granulats d'origine Al et Sl ont montré des expansions significativement plus élevées avec les *sables de GBR* qu'avec les  *fines de concassage*. Ces mêmes barres incorporant Be et Po ont aussi montré des différences d'expansion, mais à un niveau beaucoup plus faible. Dans le but d'expliquer la différence de comportement entre les  *fines de concassage* et les *sables de GBR* [1], l'examen pétrographique des matériaux incorporant Al et Sl, qui ont tous deux montré les plus grandes différences d'expansion entre les deux méthodes de production, a été effectué par analyse d'image. L'objectif de cette analyse était de comparer la proportion de GO et de mortier résiduel (MR) pour les deux types de matériaux. L'hypothèse proposée est que les  *fines de concassage* comporteraient une plus grande quantité de MR que les *sables de GBR*, ce qui expliquerait potentiellement l'expansion plus faible obtenue par ce type de matériau à l'AMBT [1].

### **3 MATÉRIAUX ET MÉTHODES**

#### **3.1 Matériaux et blocs**

Les deux types de granulats fins utilisés pour les essais sur barres de mortier et les examens pétrographiques proviennent du concassage de blocs de bétons qui ont été soumis aux conditions environnementales naturelles au site d'exposition de CANMET situé à Ottawa (ON, Canada) (figure 2) [2,3]. Ces blocs, 400 X 400 X 700 mm de taille, ont été placés à l'extérieur pendant plus ou moins 15 ans afin d'évaluer le potentiel de réactivité silico-alcaline d'une foule de granulats réactifs [3,4]. Ainsi, deux à cinq blocs incorporant quatre différents granulats réactifs (Al, Be, Po, Sl) ont été démolis dans le but de produire les GBR. Les valeurs d'expansion ultimes obtenues par ces blocs sont présentées au tableau 1.

#### **3.2 Production des matériaux**

La figure 3 illustre les opérations qui ont été suivies afin de produire les GBR utilisés pour les fins de cette étude. Les blocs de béton ont premièrement été réduits en blocs  $\leq 200$  mm à l'aide d'un marteau piqueur. Ce matériel a ensuite été introduit dans un concasseur à marteaux, ce qui a permis la production de particules de forme cubique  $\leq 25$  mm. Ce matériel a ensuite été séparé à l'aide d'un tamiseur Gilson et les fractions suivantes ont été récupérées : -20+14 mm, -14+10 mm, -10+5 mm, -5mm (*Fines de concassage*) (Figure 4). Le matériel de plus de 20 mm a été reconcassé à l'aide du concasseur à marteaux jusqu'à ce que tout le matériel passe le tamis 20 mm.

Des échantillons représentatifs de 10 kg pour les quatre GBR, composés d'égales quantités de chaque fraction granulométrique (-20+14 mm, -14+10 mm, -10+5 mm) ont ensuite été obtenus, puis quartés et finalement envoyés aux quatre laboratoires impliqués dans l'étude interlaboratoire [1]. Ces échantillons ont ensuite été concassés et tamisés par le personnel local afin de produire les différentes fractions granulométriques requises pour la production des barres de mortier, i.e. 4.75 – 2.36 mm, 2.36 – 1.18 mm, 1.18 – 0.63 mm, 0.63 – 0.30 mm, 0.30 – 0.15 mm (*Sable de GBR*). Des échantillons représentatifs des quatre types de  *fines de concassage* ont aussi été amassés par quartage et envoyés aux laboratoires participants où ils ont été tamisés et ainsi pu être utilisés dans le programme d'essai [1].

#### **3.3 Examen pétrographique des fines de concassage et des sables de GBR**

Dans le but d'effectuer un examen pétrographique quantitatif sur les particules fines issues de GBR, des lames minces ont été fabriquées pour les cinq fractions granulométriques

décrites précédemment (pour les  *fines de concassage*  ainsi que pour les  *sables de GBR* ). Ces lames minces sont fabriquées grâce à un moule de silicone de 50 par 75 mm qui est rempli de particules fines de toutes les fractions granulométriques. Une résine époxyde est ensuite coulée par-dessus les particules dans le moule afin de produire un “biscuit”. Après 24 heures, les biscuits sont coupés en leur centre dans le sens parallèle à la surface en utilisant une scie diamantée. Une des deux surfaces sciée obtenue est alors collée à une surface de verre et est ensuite graduellement amincie et polie jusqu’à une épaisseur de 30 microns. Finalement, la section polie est couverte d’un vernis afin de protéger l’échantillon.

### 3.4 Analyse d’image

Afin d’analyser la composition des particules fines (i.e. déterminer la proportion de MR et de GO sur chaque particule fine), une série de photos microscopiques a été prise de chaque lame mince. Les photos sont ensuite importées dans ARCGIS, logiciel habituellement utilisé par les géoscientifiques pour produire différents types de cartes. Une mosaïque est ensuite produite avec les séries de photos de chaque fraction granulométrique en utilisant des points communs entre les photos. Cette méthode permet au logiciel de créer une mosaïque unique construite à partir de toutes les photos et des points communs qu’elles ont entre-elles. Chaque mosaïque comporte au moins 300 particules de chaque fraction granulométrique, tel que recommandé par CSA A23.2-15A.

L’étape finale consiste en la segmentation de l’image (Figure 6). Le logiciel possède une fonction qui permet à son utilisateur de séparer le MR des GO. Cette fonction consiste en l’ajout de couche de travail par-dessus la mosaïque pour que l’utilisateur puisse tracer le contour de chaque type de matériau avec un crayon digital, par exemple le MR et les GO des particules de GBR. Une fois cette opération complétée, le logiciel peut facilement calculer l’aire occupée par chaque type de matériau. Un simple calcul permettra ensuite d’obtenir la proportion de MR pour chaque fraction granulométrique analysée. Le logiciel permet aussi de déterminer l’aire occupée pour chaque particule présente sur la lame mince; cela rend le calcul des proportions de MR beaucoup plus facile.

## 4. Résultats

### 4.1 Expansion des barres de mortiers

Comme mentionné précédemment, les résultats de l’étude interlaboratoire ont montré une différence significative dans le comportement expansif des  *sables de GBR*  et des  *fines de concassage*  incorporant Al et Sl, alors que cette différence était beaucoup moins évidente entre les deux séries de barres fabriquées à partir de Po et Be (Figure 1). Il est important de noter qu’après 14 jours, l’expansion des barres de mortier de référence de ces deux types de granulats (Po : 0.093%; Be : 0.173%) était significativement moins élevée que celle des barres fabriquées avec Sl (0.463%) et Al (0.360%) (Figure 1).

### 4.2 Examen pétrographique

Le Tableau 2 et la Figure 5 montrent le contenu en mortier résiduel total (RMC %) inclus dans au moins 300 particules de chaque fraction granulométrique examinée pour les  *sables de GBR*  incorporant Al et Sl. Le RMC (%) a été calculé en utilisant l’aire mesurée (par analyse d’image) du mortier résiduel (MR) et des granulats d’origine (GO), la densité brute des matériaux ( $D_b$ ) ( $D_b$  pour le mortier résiduel = 1.8 [6];  $D_b$  pour Al = 2.61;  $D_b$  pour Sl = 2.70) et une épaisseur infinitésimale, comme suggéré par Abbas et al. 2007 [5] et Gholamreza [6]. La tendance veut que plus la fraction granulométrique est petite, plus le RMC (%) sera grand. Cependant, le Tableau 3 et la Figure 5 montrent le RMC (%) inclus dans 300 particules de chaque fraction granulométrique examinée pour les  *fines de concassage*  incorporant Sl et Al. La tendance veut cette fois-ci que le RMC (%) croît avec l’augmentation en taille des particules de chaque matériau.

La Figure 7 illustre la quantité de particules avec un RMC spécifique (entre 0 et 100%, avec incréments de 10%) pour toutes les fractions granulométriques et pour les deux types d'agrégats fins incorporant Sl. On observe sur ces figures que toutes les fractions granulométriques, pour les  *fines de concassage*  et pour les *sables de GBR*, sont composées presque exclusivement de particules avec peu (0-10%) ou beaucoup (90-100%) de MR, les compositions intermédiaires étant rarement observées. Les résultats présentés par la Figure 7 (*Sable de GBR*) montrent que la proportion des particules comportant 0-10% de MR varie entre 37.7% et 61.5%, ces valeurs diminuant graduellement avec la taille des particules. Le pourcentage de particules incorporant 90-100% de MR varie quant à lui entre 32.9% et 51.5%, ces valeurs augmentant généralement avec la diminution de taille des particules. En ce qui a trait aux  *fines de concassage*  (aussi sur la Figure 7), la proportion de particules de GBR qui contiennent 90-100% de MR se situe en 47.5% et 62.9% pour les différentes fractions examinées, ce qui est largement plus que les fractions contenant une petite proportion de MR (0-10% : de 27.9% à 40.9%).

Les graphiques de la Figure 7 indiquent également la quantité de particules incorporant un pourcentage spécifique de MR (entre 0% et 100%, avec incréments de 10%), pour toutes les fractions granulométriques et pour les deux types d'agrégats fins incorporant Al. Similairement aux granulats fins incorporant Sl, les particules de toutes les fractions granulométriques des deux types de fines ( *fines de concassage*  et *sables de GBR*) sont constituées de peu (0-10%) ou de beaucoup (90-100%) de MR, les compositions intermédiaires étant aussi rarement observées. Dans le cas des *sables de GBR*, les proportions de particules incorporant 0-10% (39.0-52.3%) ou 90-100% de MR (33.1-55.6%) sont assez similaires, en moyenne. Les  *fines de concassage*  contiennent quant à elles une plus grande proportion de particules incorporant une grande quantité de MR (90-100% : de 47.5% à 62.9%) comparativement à celles contenant une petite quantité de MR (0-10% : de 35.4% à 40.9%).

Les différences typiques dans les proportions de MR entre les  *fines de concassage*  et les *sables de GBR*, pour les matériaux granulaires incorporant Al et Sl, sont observables sur les Figures 8A à 8D pour les particules 1.18 à 0.63 mm.

## 5. Discussion

La quantité de matériel réactif dans les particules de granulats susceptible d'engendrer de l'expansion due à la RAG dans un mortier ou dans un mélange de béton a été déterminée. Pour les GBR, une proportion élevée de MR dans ces derniers semble engendrer une diminution de l'expansion causée par la RAG (du moins pour un granulat réactif non-susceptible à l'effet pessimum) cela considérant que le gel de silice présent dans la porosité du MR contribue moins à l'expansion future que les fragments de GO. Ceci est plausible puisque le gel de silice présent dans la pâte de ciment est généralement plus riche en calcium et relativement moins expansif que le gel situé autour des particules de granulats réactifs.

Selon les observations pétrographiques effectuées dans le cadre de ce projet, les barres de mortier incorporant du matériel issu de la démolition primaire des blocs de béton ( *fines de concassage* ) comportent une proportion beaucoup plus élevée de MR (particules riches en MR avec 90-100% MR) que les *sables de GBR*, et ce pour les deux types de pierres analysées (Sl et Al). Les *sables de GBR* comportent donc une plus grande proportion de fragments de GO disponibles à engendrer la RAG. Ces résultats sont facilement observables dans les Tableaux 2 et 3. En effet, les valeurs totales de MR pour les  *fines de concassage*  sont beaucoup plus grandes (69.7% à 73.0% pour Al et Sl, respectivement) que pour les *sables de GBR* (52.1% à 33.8% pour Al et Sl, respectivement).

La raison pour laquelle les *sables de GBR* comportent une plus grande proportion de GO pourrait être expliquée par le fait que leur production requiert un reconcassage qui aide à détruire le lien entre la pâte de ciment et le GO. Ce reconcassage aide aussi à briser les GO et

ainsi exposer une surface fraîche de ceux-ci, contribuant à l'expansion causée par la RAG. Le reconcassage nécessaire aiderait aussi à réduire la quantité de mortier résiduel en poussière (matériau de < 0.15 mm).

## 6. Conclusion

L'examen pétrographique quantitatif utilisant l'analyse d'image a permis de générer beaucoup d'information critique dans la compréhension des différences de comportements expansif de deux types de matériaux fins recyclés utilisés dans la confection de barres de mortier (AMBT). Les résultats ont montré que les  *fines de concassage* , récupérées après le concassage primaire de blocs de béton, possèdent une proportion plus élevée en particules riches en mortier résiduel que les  *sables de GBR*  obtenus par le reconcassage de GBR grossiers (5 – 20 mm). Cette différence de composition est donc tenue comme étant responsable de la différence d'expansion observée. La méthode de production des fines de GBR aurait un impact significatif sur la nature des matériaux et conséquemment sur l'expansion que les barres de mortier peuvent subir, sous l'influence de la RAG.

Les essais sur prismes de béton en cours vont apporter des données additionnelles qui vont permettre la validation des résultats de l'AMBT; il est cependant attendu que les  *sables de GBR*  évaluent plus précisément le potentiel de réactivité alcaline des GBR grossiers, comme observé par Shehata et al. [2]. L'AMBT pourrait toutefois donner une indication appropriée du potentiel de réactivité alcaline des  *fines de concassage*  qui pourraient être utilisées comme sable à béton. Cela demeure toutefois à confirmer.

## 7. REFERENCES

- [1] Adams, M.P.; Gray, B.; Ideker, J.H.; Tanner, J.E.; Jones, A.; Fournier, B.; Beauchemin, S.; Shehata, M.; Johnson, R. Applicability of Standard Alkali-Silica Reactivity Testing Methods for Recycled Concrete Aggregate. Proceedings of the 14th International conference on AAR in Concrete, May 20-25, 2012, Austin (Texas, USA).
- [2] Shehata, M.H.; Christidis, C.; Mikhael, W.; Rogers, C. and Lachemi, M. Reactivity of reclaimed concrete aggregate produced from concrete affected by alkali-silica reaction. Cement and Concrete Research, 2010. **40**(4): p. 575-582.
- [3] Fournier, B., P.-C. Nkinamubanzi, and R. Chevrier. Comparative field and laboratory investigations on the use of supplementary cementing materials to control alkali-silica reaction in concrete. Proceedings of the 12th International Conference on AAR in Concrete. July 2004. Beijing, China: Int. Academic Publishers World Publishing Corp., 528-537.
- [4] Fournier, B. Ideker, J.H., Folliard, K.J., Thomas, M.D.A., Nkinamubanzi, P.C. & Chevrier, R. Effect of environmental conditions on expansion in concrete due to alkali-silica reaction (ASR). Materials Characterization Journal, 2010, **60**, 669-679.
- [5] Abbas A, Fathifazl G, Isgor OB, Razaqpur AG, Fournier B, Foo S. Proposed method for determining the residual mortar content of recycled concrete aggregates. Journal of ASTM International, 2007, **5**(1).
- [6] Gholamreza, F. Structural Performance of Steel Reinforced Recycled Concrete Members. Ph.D. Thesis, Carleton University, Ottawa, ON (Canada), 2007, 464p.

TABLE 1: Expansion atteinte par les blocs lorsqu'ils ont été concassés pour produire les GBR

Blocs		Âge des blocs	Variation d'expansion des blocs	Expansion moyenne
Granulats	Nombre			
AI	5	14 ans	0.210 - 0.305%	0.263%

Sl	2	16 ans	0.423 - 0.537%	0.480%
Be	5	14 ans	0.142 - 0.183%	0.162%
Po	5	14 ans	0.066 - 0.145%	0.092%

TABLE 2: Composition de chaque fraction granulométrique des *sables de GBR* (Al: gravier de l'Alberta; Sl: grauwacke de Springhill; MR: Mortier résiduel; GO: Granulat d'origine; MR: mortier résiduel total)

Gr.	fraction →	4.75-2.36 mm	2.36-1.18 mm	1.18-0.63 mm	0.63-0.30 mm	0.30-0.15 mm	Total
Al	Aire MR (mm <sup>2</sup> )	866.7	147.7	49.0	12.1	8.6	1084.1
	Aire GO (mm <sup>2</sup> )	824.5	124.7	33.7	7.7	4.3	994.9
	<b>MR (%)</b>	<b>42.0</b>	<b>44.9</b>	<b>50.1</b>	<b>52.1</b>	<b>58.0</b>	<b>52.1</b>
Sl	Aire MR (mm <sup>2</sup> )	628.3	75.8	25.6	12.2	5.5	747.4
	Aire GO (mm <sup>2</sup> )	1280.3	124.6	40.0	16.4	4.5	1465.8
	<b>MR (%)</b>	<b>24.7</b>	<b>28.9</b>	<b>29.9</b>	<b>33.0</b>	<b>45.1</b>	<b>33.8</b>

TABLE 3: Composition de chaque fraction granulométrique des *fines de concassage* (Al: gravier de l'Alberta; Sl: grauwacke de Springhill; MR: Mortier résiduel; GO: Granulat d'origine; MR: mortier résiduel total)

Gr.	fraction →	4.75-2.36 mm	2.36-1.18 mm	1.18-0.63 mm	0.63-0.30 mm	0.30-0.15 mm	Total
Al	Aire MR (mm <sup>2</sup> )	894.8	121.2	47.5	16.7	10.7	1090.9
	Aire GO (mm <sup>2</sup> )	360.8	61.2	28.5	12.5	10.6	473.6
	<b>MR (%)</b>	<b>63.1</b>	<b>57.7</b>	<b>53.5</b>	<b>47.9</b>	<b>40.9</b>	<b>69.7</b>
Sl	Aire MR (mm <sup>2</sup> )	1144.9	132.7	70.5	17.3	5.9	1371.3
	Aire GO (mm <sup>2</sup> )	402.1	53.1	37.3	9.8	3.6	505.9
	<b>MR (%)</b>	<b>65.5</b>	<b>62.5</b>	<b>55.8</b>	<b>54.1</b>	<b>52.2</b>	<b>73.0</b>

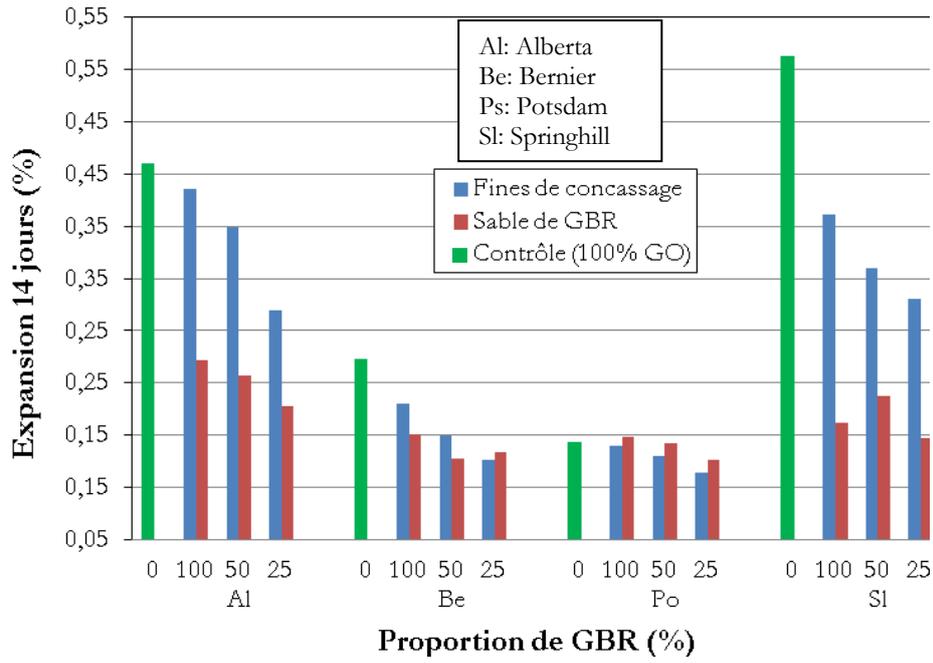


FIGURE 1: Expansion, après 14 jours, des barres de mortier incorporant les fines de concassage et les sables de GBR, et ce pour les quatre types de granulats réactifs sélectionnés.

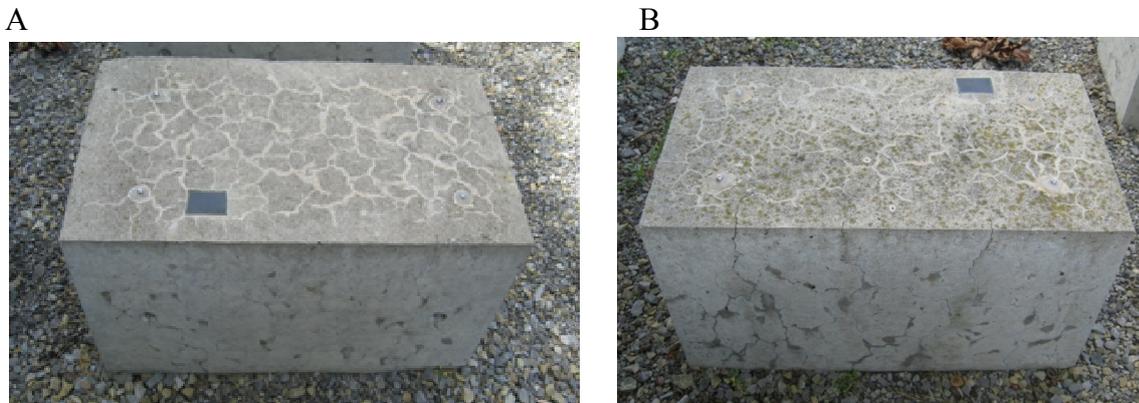
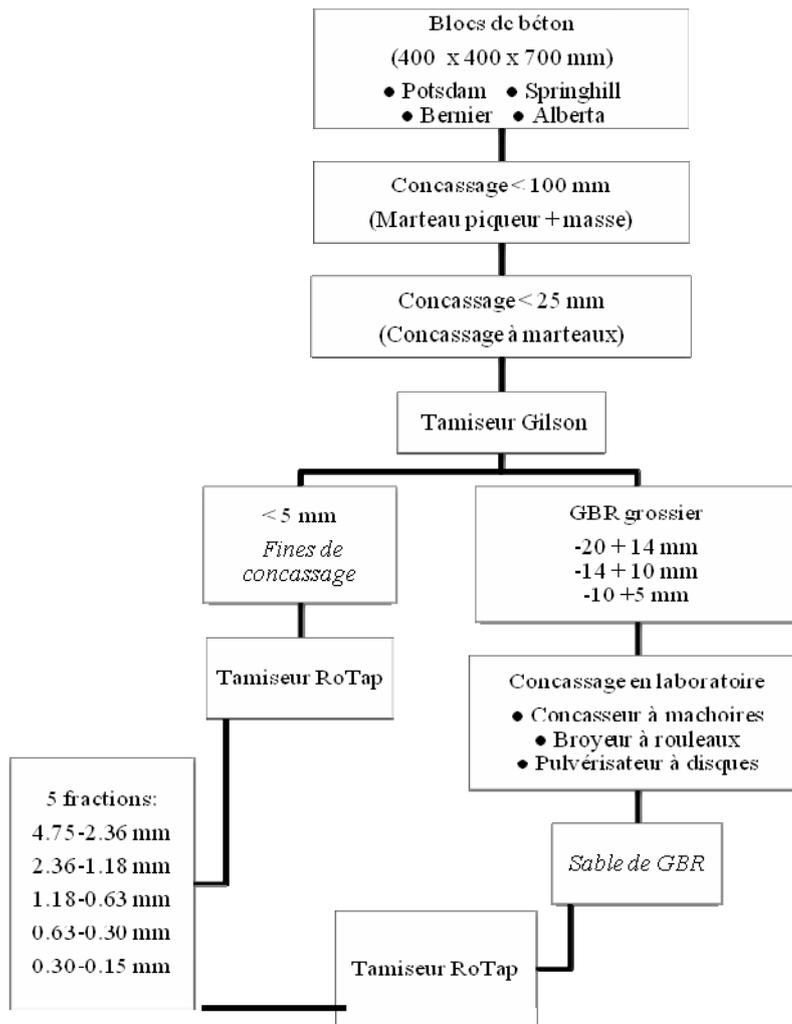


FIGURE 2: Blocs incorporant les granulats Alberta (A) et Springhill (B) qui ont été utilisés pour la production des GBR.



F

FIGURE 3: Description de la préparation des GBR.

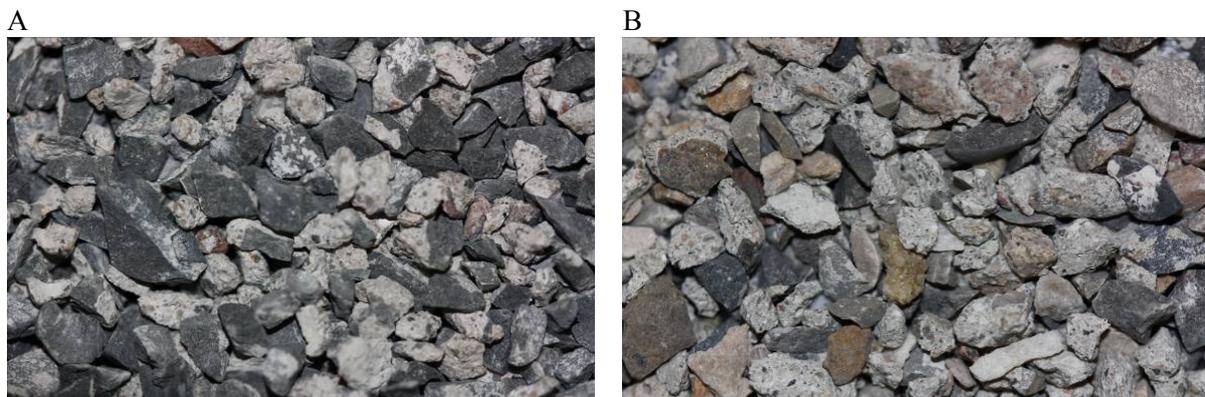


FIGURE 4: GBR incorporant les granulats AI (A) et SI (B) (fraction granulométrique 14-20 mm).

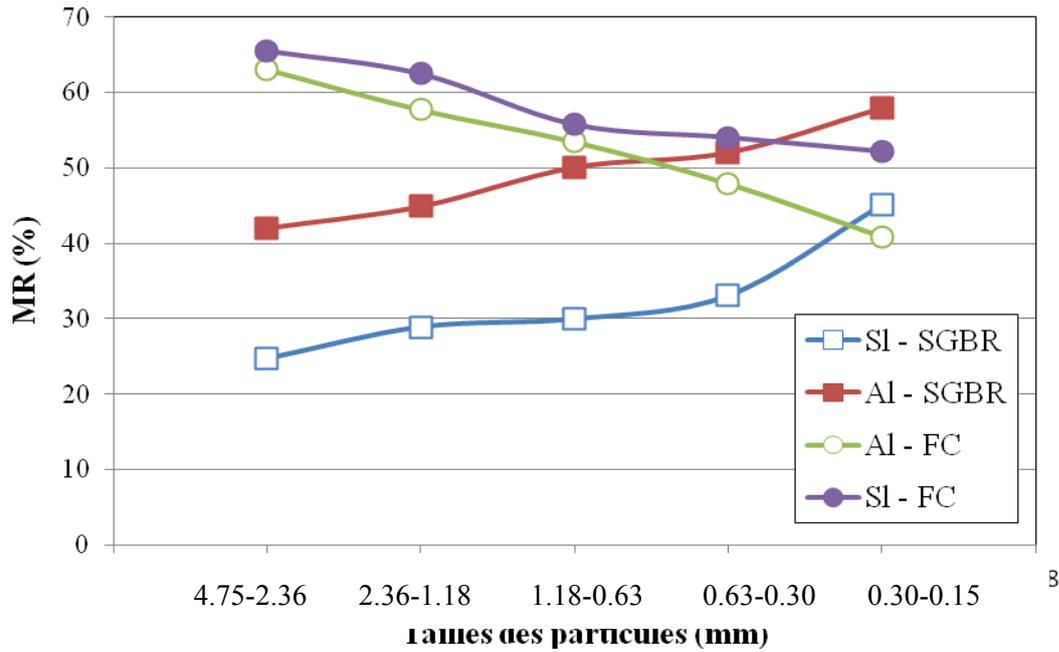


FIGURE 5: Mortier résiduel total des différentes fractions granulométriques des sables de GBR et des fines de concassage (AI : gravier de l'Alberta; SI : grauwaacke de Springhill).

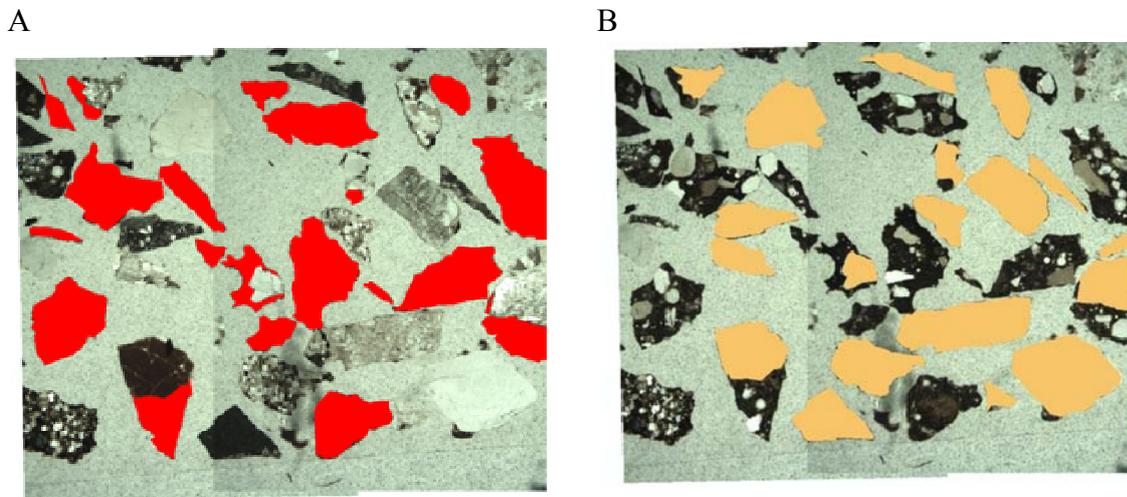


FIGURE 6: Exemple de segmentation des différentes particules de GBR, MR (A) et GO (B) pour le sable de l'Alberta (AI) (lames minces incorporant des particules de 2.36-1.18 mm de taille). Seules les particules apparaissant entièrement sur la photographie sont traitées.

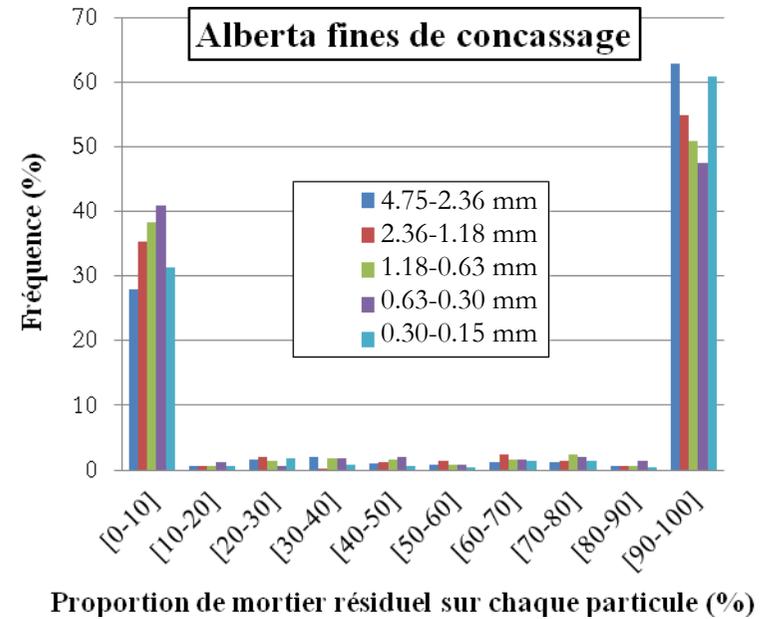
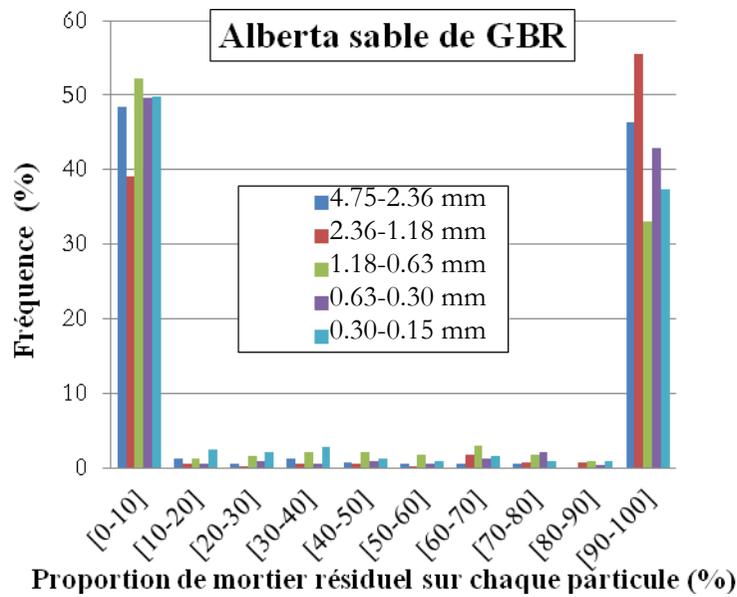
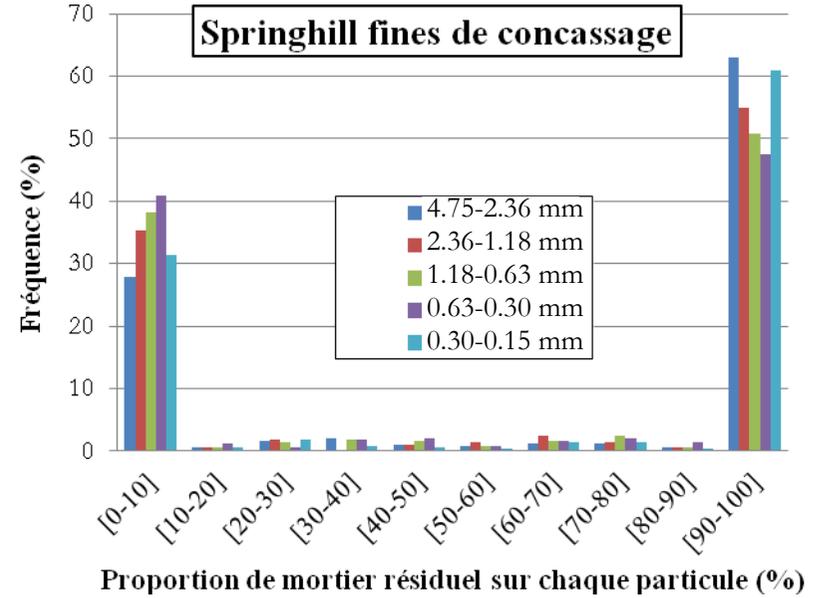
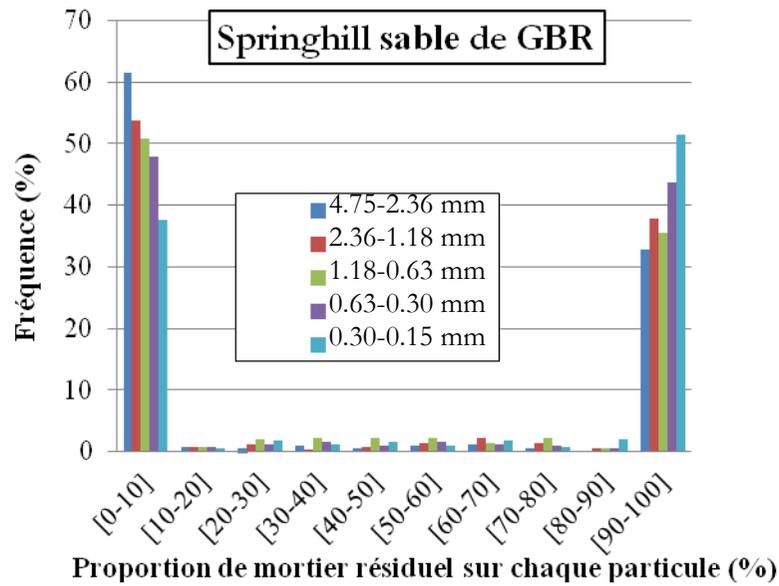
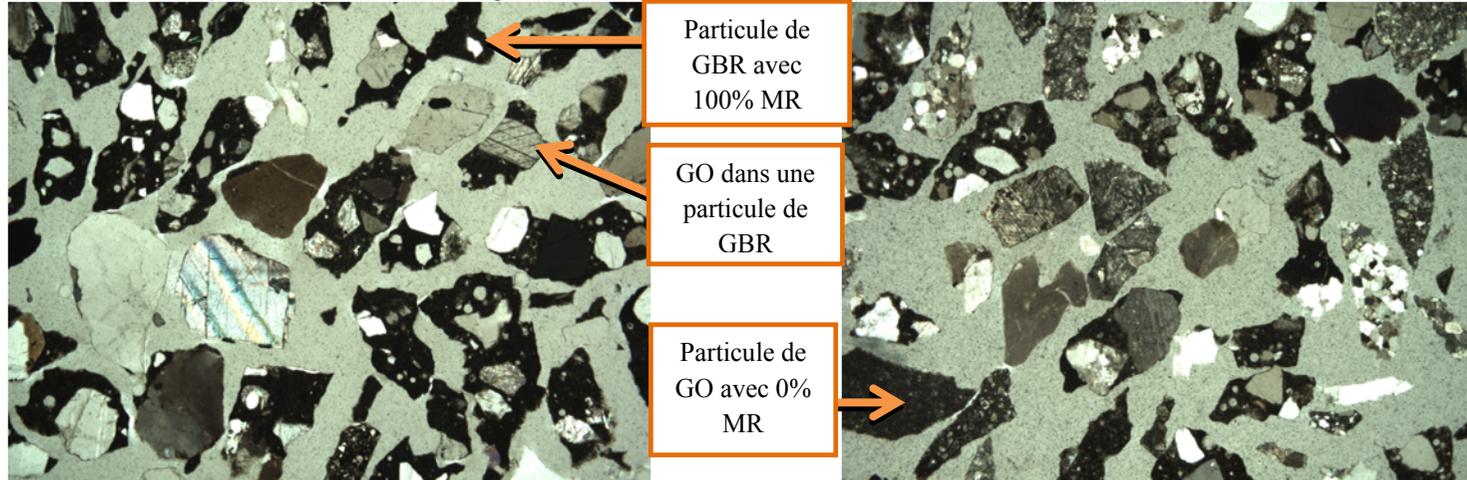


FIGURE 7: Fréquence des particules de GBR incorporant différentes proportions de MR (par incréments de 10%)

A – Gravier de l'Alberta (Al) – Fines de concassage

B – Gravier de l'Alberta (Al) – Sable de GBR



C – Grauwacke de Springhill (SI) – Fines de concassage

D – Grauwacke de Springhill (SI) – Sable de GBR

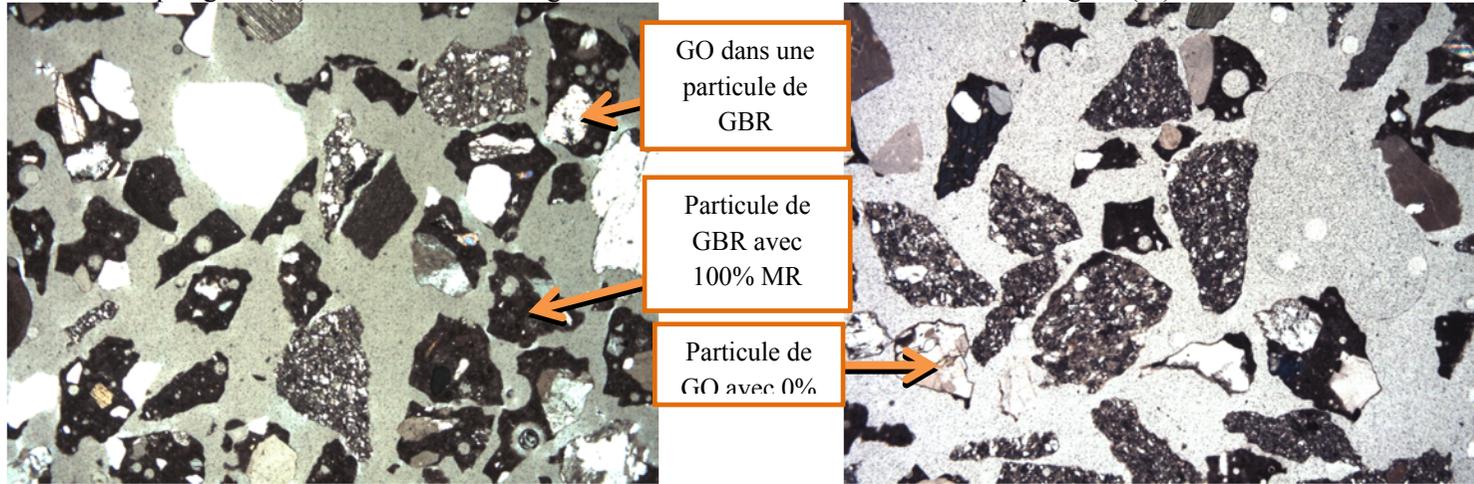


FIGURE 8: Photographies microscopiques (lames minces) de particules fines de granulat de béton recyclé (fraction granulométrique 1.18 - 0.63 mm).