

Une nouvelle méthode de caractérisation des granulats recyclés industriels: application aux mortiers et bétons

ZHAO Zengfeng^{A,B*}, REMOND Sébastien^A, DAMIDOT Denis^A, COURARD Luc^B

A Département Génie Civil et Environnemental, Mines Douai, LGCgE, Douai, France

B Université de Liège, Département ArGEnCo, GeMMe Matériaux de construction, Liège, Belgique

RESUMÉ: Une méthode permettant de quantifier la teneur en pâte de ciment durcie dans les granulats recyclés (GR) est présentée. Cette méthode est basée sur la mesure de la fraction soluble des GR dans l'acide salicylique (FSAS). La FSAS est mesurée pour quatre classes granulaires croissantes sur des sables recyclés produits dans différentes plateformes de concassage. Pour les granulats recyclés testés, la FSAS varie de manière quasi linéaire en fonction de la classe granulaire. Une méthode basée sur l'utilisation de la relation FSAS/absorption d'eau est proposée, permettant de déterminer précisément le coefficient d'absorption d'eau de la fraction 0/0,63mm des granulats recyclés.

Ensuite, deux séries de mortiers sont réalisées avec l'un des granulats recyclés étudiés précédemment. La série A est utilisée pour étudier l'influence des proportions de sable recyclé sur les propriétés des mortiers. La série B permet d'étudier l'influence de chaque fraction granulaire de sable recyclé sur les propriétés des mortiers. Dans toutes les séries étudiées, le sable naturel calcaire est partiellement ou totalement remplacé par le même volume de sable recyclé. Les résultats montrent que la résistance à la compression des mortiers diminue quasi linéairement quand le pourcentage de remplacement du sable recyclé augmente. En outre, il est démontré que la fraction la plus fine du sable recyclé (0/0,63mm) a l'effet le plus pénalisant sur les propriétés mécaniques des mortiers.

MOTS CLES : granulats recyclés, teneur en pâte de ciment, absorption d'eau, mortier recyclé, béton recyclé.

1. INTRODUCTION

De très grandes quantités de déchets de construction et de démolition sont produites chaque année et, en même temps, de grandes quantités de granulats naturels sont nécessaires pour la construction. Jusqu'à présent, seule une petite fraction de ces déchets est réutilisée sous forme de granulats pour la fabrication de mortier et de béton (Courard et al., 2010).

Les granulats recyclés (GR) sont composés d'un mélange de granulats naturels et de pâte de ciment durcie. Cette dernière est généralement beaucoup plus poreuse que les granulats naturels : la teneur et les propriétés de la pâte de ciment durcie ont donc une influence déterminante sur les propriétés des granulats recyclés (De Juan et Gutiérrez, 2009). Plusieurs auteurs ont déjà montré que les sables recyclés possèdent ainsi des teneurs en pâte de ciment nettement plus élevées que les gravillons recyclés (Topcu et al., 2004; Etxeberria et al., 2007). Les teneurs élevées en pâte de ciment dans les sables recyclés pénalisent lourdement leurs propriétés d'usage par rapport aux gravillons recyclés. Les sables recyclés possèdent en particulier un coefficient d'absorption d'eau très élevé qui doit être mesuré avec précision si l'on veut pouvoir déterminer la quantité d'eau efficace dans les mortiers ou les bétons contenant ces sables (Tam et al., 2008). Or, la mesure du coefficient d'absorption d'eau des sables concassés est délicate, notamment lorsque ceux-ci contiennent des quantités importantes de fines (Djerbi Tegguer, 2012). L'amélioration des méthodes de mesure du coefficient d'absorption d'eau est ainsi nécessaire afin de promouvoir la valorisation des sables recyclés dans les mortiers ou les bétons (Zhao et al., 2014).

Le premier objectif de ce travail est de développer une méthode simple permettant de quantifier la teneur en pâte de ciment durcie dans les GR, notamment dans les sables recyclés. À partir de la connaissance de la teneur en pâte de ciment durcie, une méthode fiable permettant la mesure du coefficient d'absorption d'eau des sables recyclés industriels est proposée. Ensuite, deux séries de mortiers sont réalisées avec l'un des sables recyclés industriels étudiés précédemment. La série A est utilisée pour étudier l'influence des proportions de sable recyclé sur les propriétés des mortiers. La série B permet d'étudier l'influence de chaque fraction granulaire de sable recyclé sur les propriétés des mortiers.

2. MATERIAUX

2.1 Ciment et autre matériaux

Le ciment blanc (CEM I 52.5 "superblanc" de la société Lafarge) a été utilisé pour la fabrication de mortiers. La masse volumique absolue de ce ciment est $3,03 \text{ g/cm}^3$ mesurée au pycnomètre à hélium. Les granulats naturels concassés (granulat calcaire du Tournaisis fourni par la société Hoclum) ont été utilisés pour la fabrication de bétons. La masse volumique absolue de ce sable naturel est $2,66 \text{ g/cm}^3$ mesurée au pycnomètre à hélium. L'absorption d'eau de ce sable naturel est 1,05% selon la norme EN 1097-6.

2.2 Granulats recyclés industriels

Trois sables recyclés produits dans des plateformes de concassage industrielles ont été utilisés. Les deux premiers notés SRI1 et SRI2 nous ont été fournis par la société Colas et ont été produits respectivement sur les plateformes VALORMAT à Amiens et sur celle de Louvres. Le troisième, noté SRI3 est le sable recyclé utilisé dans le Projet National français Recybéton. Seule la fraction 0/5mm de ces sables a été étudiée ; ils ont été subdivisés dans les 4 classes granulaires (0/0,63mm, 0,63/1,25mm, 1,25/2,5mm et 2,5/5mm). Le sable recyclé SRI1 de la société Colas a ensuite été utilisé pour la fabrication de mortiers et de bétons.

3. UNE NOUVELLE MÉTHODE DE CARACTÉRISATION DES GRANULATS RECYCLÉS

3.1 Mesure de la teneur en pâte de ciment

3.1.1 Protocole expérimental

Une méthode basée sur la dissolution de la pâte de ciment durcie des GR dans une solution d'acide salicylique a été développée (Zhao et al., 2013). L'acide salicylique ne dissout pas les phases principales des GN (notamment la calcite) mais dissout de nombreux anhydres et hydrates de la pâte de ciment (silicates, portlandite et C-S-H par exemple).

Le protocole expérimental adopté pour cette mesure est le suivant (Zhao et al., 2014):

- Un échantillon représentatif de GR est séché à 105°C jusqu'à masse constante, puis broyé à une dimension inférieure à 200 µm ;
- 0.5g (masse M_1) de l'échantillon broyé sont ensuite immergés dans une solution de 14g d'acide salicylique dans 80ml de méthanol et mis sous agitation pendant 1 heure ;
- La fraction solide est filtrée sur un verre fritté (Pyrex N°4, dimension des pores: 10-16µm) et lavée quatre fois avec du méthanol (2-3mm au-dessus du filtre à chaque lavage) ;
- Le résidu solide est séché au four à 70°C jusqu'à masse constante (masse M_2) ;
- La fraction soluble dans l'acide salicylique (FSAS) est ensuite calculée de la manière suivante (Équation 1) :

$$FSAS(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad \text{Équation 1}$$

3.1.2 Variation de la FSAS en fonction de la classe granulaire

La Figure 1 présente la variation de la FSAS en fonction de la classe granulaire pour les trois GR industriels. Pour ces trois GR, on trouve une relation quasi-linéaire entre la FSAS et la taille des particules (R^2 compris entre 0.77 et 0.91). On observe aussi que, quel que soit le type de GR, la FSAS augmente lorsque la taille des particules diminue.

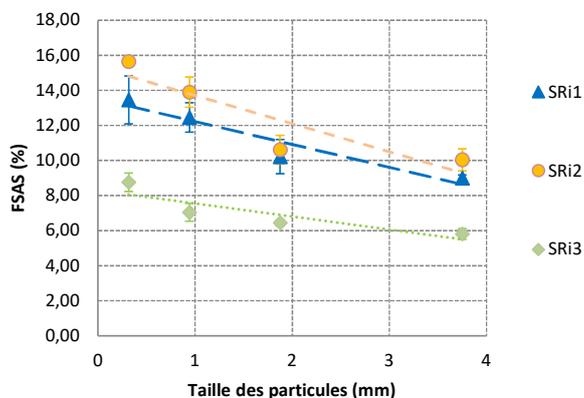


Figure 1. Variation de la FSAS en fonction de la taille des particules pour les GR industriels

3.2 Mesure de l'absorption des sables recyclés

3.2.1 Protocole expérimental

Le coefficient d'absorption d'eau de chaque classe granulaire pour les différents GR étudiés a été déterminé en se basant sur deux protocoles distincts: le protocole défini dans la norme EN 1097-6 et celui de la méthode IFSTTAR n°78. Ces deux méthodes ont toutefois été légèrement modifiées pour nos essais, de la manière suivante (Zhao et al., 2014):

- Un échantillon représentatif de la classe granulaire étudiée est immergé pendant 24 h dans l'eau ;

- b) Après avoir été égoutté, l'échantillon est séché successivement sur plusieurs feuilles de papier absorbant jusqu'à ce qu'aucune trace d'humidité ne soit visible sur ces dernières (dans cet état, on considère que l'état Saturé Surface Sèche au sens de la méthode IFSTTAR est atteint), l'échantillon est pesé (masse $M_{SSS,IFSTTAR}$) ;
- c) L'échantillon est ensuite séché progressivement sous un courant d'air chaud et soigneusement homogénéisé. L'état SSS selon la norme EN 1097-6 est déterminé conformément au protocole normalisé (avec le mini-cône) et l'échantillon est pesé (masse $M_{SSS,norme}$) ;
- d) L'échantillon est ensuite séché en étuve à 105°C jusqu'à masse constante (masse M_{sec}) ;
- e) Les coefficients d'absorption d'eau $WA_{IFSTTAR}$ et WA_{norme} sont ensuite calculés selon l'équation 2:

$$WA_{IFSTTAR} = \frac{M_{SSS,IFSTTAR} - M_{sec}}{M_{sec}} \quad \text{et} \quad WA_{norme} = \frac{M_{SSS,norme} - M_{sec}}{M_{sec}} \quad \text{Équation 2}$$

3.2.2 Absorption d'eau en fonction de la classe granulaire

La Figure 2 montre la variation du coefficient d'absorption d'eau (selon la norme et selon la méthode IFSTTAR) en fonction de la taille des particules pour les GR industriels. On observe que, pour les trois fractions granulaires les plus grossières, les valeurs obtenues par les deux méthodes sont très proches les unes des autres (l'écart absolu est inférieur à 1%, quels que soient les GR industriels). Ce résultat indique que les deux protocoles utilisés permettent de déterminer l'état SSS de manière satisfaisante pour les particules grossières. En revanche, on voit que la méthode normalisée sous estime le coefficient d'absorption de la fraction 0/0,63mm alors que la méthode IFSTTAR la surestime (Zhao et al., 2014).

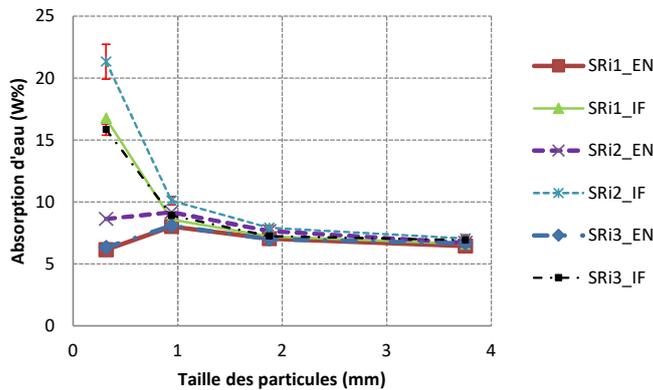


Figure 2. Variation du coefficient d'absorption d'eau en fonction de la taille des particules

3.3 Utilisation de la FSAS pour la mesure de d'absorption d'eau de la fraction fine

L'absorption d'eau des granulats recyclés (WA_{GR}) dépend de l'absorption d'eau des granulats naturels (WA_{GN}), de celle de la pâte de ciment adhérente (WA_{PC}) et de la teneur massique en pâte de ciment adhérente (TPC). Pour une composition donnée du béton d'origine, et en supposant que les propriétés de la pâte de ciment adhérente ne dépendent pas de la fraction granulaire considérée, on peut donc écrire (Équation 3) :

$$WA_{GR} = WA_{PC} \times TPC + WA_{GN} \times (1 - TPC) \quad \text{Équation 3}$$

De plus, la dernière hypothèse permet de considérer que, dans chaque fraction granulaire, le rapport FSAS/TPC est constant. L'équation 3 montre ainsi que le coefficient d'absorption d'eau des GR doit être proportionnel à la FSAS.

La Figure 3 montre la variation du coefficient d'absorption d'eau en fonction de la FSAS pour les GR industriels. Le coefficient d'absorption de la fraction la plus fine est obtenu par extrapolation linéaire de la relation WA/FSAS déterminée à partir des 3 fractions grossières. Dans le cas du granulat SRI1, nous avons également représenté les coefficients d'absorption de la fraction 0/0,63mm obtenus par les deux méthodes expérimentales. On voit bien ici que les protocoles expérimentaux utilisés ne sont pas adaptés à la mesure du coefficient d'absorption d'eau de la fraction fine.

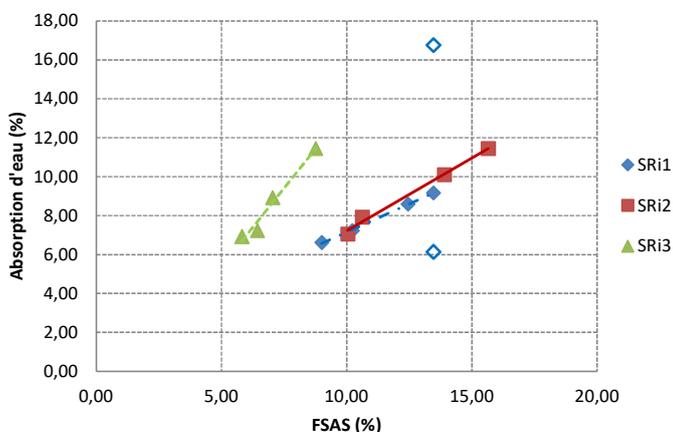


Figure 3. Variation du coefficient d'absorption d'eau en fonction de la FSAS pour les GR industriels. Le coefficient d'absorption de la fraction la plus fine est obtenu par extrapolation linéaire (pour SRI1, les symboles vides indiquent les coefficients d'absorption obtenus expérimentalement sur la fraction 0/0,63mm avec les méthodes normalisée et IFSTTAR)

Nous proposons donc la méthode suivante pour mesurer précisément le coefficient d'absorption d'eau de la fraction fine des GR :

- Le GR doit tout d'abord être séparé en différentes fractions granulaires représentant chacune une proportion suffisante du matériau (au moins 10%). Dans cette étude, les 4 fractions granulaires suivantes ont été retenues 0/0,63mm, 0,63/1,25mm, 1,25/2,5mm, 2,5/5mm.
- La FSAS de chaque fraction granulaire doit ensuite être mesurée avec le protocole proposé dans la section 3.1.1.
- Le coefficient d'absorption d'eau des fractions granulaires grossières (supérieures à 0,63m) est déterminé selon la norme EN 1097-6 (ou selon une autre méthode donnant des résultats équivalents).
- Le coefficient d'absorption d'eau de la fraction fine peut finalement être obtenu par extrapolation de la relation WA/FSAS, déterminée pour les fractions grossières.
- Le coefficient d'absorption du GR peut être calculé à partir des coefficients d'absorption et des proportions de chaque classe granulaire.

Le Tableau 1 présente l'absorption d'eau de la fraction 0/0,63mm extrapolée par la norme et la méthode IFSTTAR. Les deux valeurs obtenues sont similaires. Selon la norme, la valeur de l'absorption d'eau de la fraction fine extrapolée est supérieure à la valeur obtenue par l'essai. Selon la méthode IFSTTAR, la valeur d'absorption de la fraction fine extrapolée est inférieure à la valeur obtenue par l'essai.

Le Tableau 2 présente l'absorption d'eau de la fraction 0/5mm selon la méthode proposée. Les absorptions d'eau de la fraction 0/5mm calculées selon la norme et la méthode IFSTTAR sont similaires (par exemple 7,46% et 7,86% pour la norme et la méthode IFSTTAR pour le SRI1).

Tableau 1. L'absorption d'eau de la fraction 0/0,63mm extrapolée par la norme et la méthode IFSTTAR

	WA_IF (%)	WA_EN(%)	WA(Ex)_IF (%)	WA(Ex)_EN (%)	Différence entre les deux extrapolations (%)
SRI1	16,76	6,14	9,16	8,48	0,68
SRI2	21,33	8,62	11,44	10,23	1,21
SRI3	15,85	6,32	11,44	9,94	1,05

Tableau 2. L'absorption d'eau de la fraction 0/5mm calculée selon la méthode proposée

	WA_IF extrapolé (%)	WA_IF non extrapolé (%)	WA_EN extrapolé (%)	WA_EN non extrapolé (%)
SRI1	7,86	10,12	7,46	6,76
SRI2	8,98	11,93	8,31	7,83
SRI3	8,66	9,93	7,95	6,90

4. ETUDE SUR MORTIERS

4.1 Protocole expérimental

Deux séries de mortiers avec le ciment blanc (CEM I 52.5 "superblanc" de la société Lafarge) et un des sables recyclés industriels (SRI1) ont été réalisées. La série A est utilisée pour étudier l'influence de la proportion de sable recyclé sur les propriétés des mortiers. La série B permet d'étudier l'influence de chaque fraction granululaire de sable recyclé sur les propriétés des mortiers.

Le Tableau 3 présente la composition des mortiers de la série A. Six mortiers notés MR0, MR10, MR20, MR30, MR50, MR100 pour lesquels un volume donné de sable naturel a été remplacé par le même volume de sable recyclé (0%, 10%, 20%, 30%, 50%, 100%) ont été fabriqués. Le sable recyclé SRI1 a été recomposé afin d'arriver à la même granulométrie que le sable naturel. L'absorption d'eau de SRI1 recomposé a été calculée (7,54%) selon la méthode proposée dans la section 3.3 utilisant la valeur de l'absorption d'eau de la norme EN 1097-6 pour les trois fractions grossières. Les sables naturel recyclé ont été pré-saturés en sacs étanches 24h avant la fabrication des mortiers.

Tableau 3. Compositions des mortiers de la série A

	MR0	MR10	MR20	MR30	MR50	MR100
Sable recyclé (g)	0,0	129,1	258,2	387,3	645,6	1291,1
Sable naturel (g)	1350,0	1215,0	1080,0	944,9	675,0	0,0
Sable total (g)	1350,0	1344,1	1338,2	1332,2	1320,6	1291,1
Ciment (g)	450	450	450	450	450	450
Eau efficace(g)	270	270	270	270	270	270
Eau absorbée(g)	14,18	22,5	30,81	39,13	55,77	97,35
E_{eff}/C	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Le Tableau 4 présente la composition des mortiers de la série B. Un mortier noté Mref a été utilisé comme mortier de référence. Quatre mortiers, notés MR_0/0,63, MR_0,63/1,25, MR_1,25/2,5 et MR_2,5/5, ont été fabriqués en remplaçant les fractions 0/0,63mm, 0,63/1,25mm, 1,25/2,5mm, 2,5/5mm du sable naturel par le même volume de sable recyclé. L'absorption d'eau de la fraction 0/0,63mm de SRI1 correspond à la valeur obtenue par extrapolation des valeurs normalisées (section 3.3). Les absorptions d'eau des

autres fractions granulaires de SRi1 correspondent aux valeurs mesurées selon la norme. Les sables naturel et recyclé ont été pré-saturés 24h avant la fabrication des mortiers.

Tableau 4. Compositions des mortiers de la série B

	Mref	MR_0/0,63	MR_0,63/1,25	MR_1,25/2,5	MR_2,5/5
Sable 0/0,63(g)	399,60	376,32	399,60	399,60	399,60
Sable 0,63/1,25 (g)	278,10	278,10	263,99	278,10	278,10
Sable 1,25/2,5 (g)	433,35	433,35	433,35	413,47	433,35
Sable 2,5/5 (g)	238,95	238,95	238,95	238,95	229,52
Sable total (g)	1350,00	1326,72	1335,89	1330,12	1340,57
Ciment (g)	450	450	450	450	450
Eau efficace(g)	270	270	270	270	270
Eau absorbée(g)	14,18	41,89	32,40	38,69	26,42
E_{eff}/C	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Remarque: la valeur en rouge est la quantité de sable recyclé tandis que les autres correspondent au sable naturel

Ces mortiers ont également été réalisés et conservés en immersion jusqu'au temps d'essai selon la norme EN 196-1. Après le mélange, l'affaissement des mortiers a été mesuré avec le mini cône MBE (Mortiers de Béton Équivalent) (Zhao et al., 2015).

Les résistances à la flexion et à la compression des mortiers durcis ont été déterminées selon la norme EN 196-1 sur des échantillons (40 mm x 40 mm x 160 mm). Ces deux tests mécaniques ont été effectués avec une presse INSTRON 5500R 4206-006 (capacité de chargement de 1500 KN) après 28 jours de cure en immersion.

4.2 Propriétés des mortiers à l'état frais et à l'état durci

4.2.1 Influence du taux de substitution (Série A)

La Figure 4 présente l'affaissement des mortiers de la série A. Comme on peut le voir, l'affaissement diminue quand le taux de substitution du sable recyclé augmente, ce qui pourrait être attribué à l'angularité et à la rugosité supérieures des particules de sable recyclé par rapport au sable naturel.

La Figure 5 présente la masse volumique à l'état frais des mortiers de la série A. Comme on peut le voir, la masse volumique du mortier à l'état frais diminue quand le taux de substitution du sable recyclé augmente, ce qui est dû à la plus faible masse volumique du sable recyclé par rapport au granulats naturels.

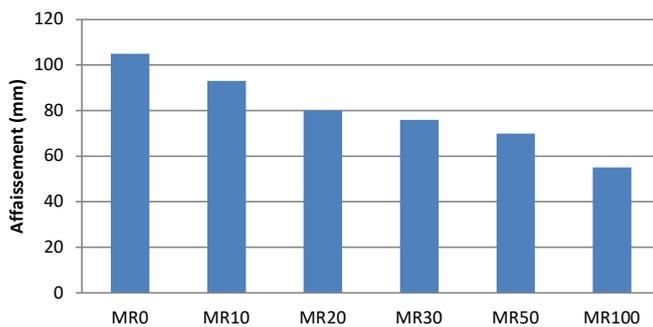


Figure 4. Affaissement des mortiers de la série A

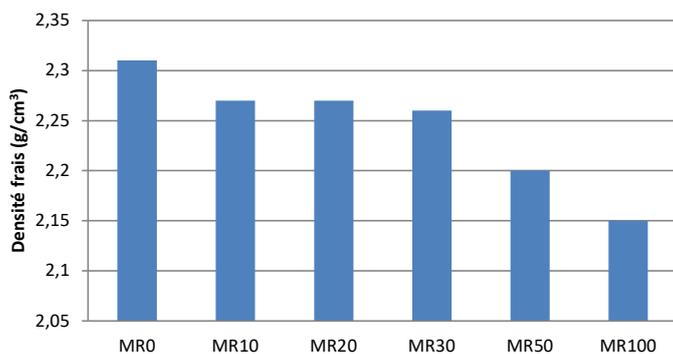


Figure 5. Masse volumique des mortiers de la série A à l'état frais

La Figure 6 présente les résistances mécaniques des mortiers en fonction du taux de substitution en sable recyclé. Les résistances à la flexion et à la compression des mortiers diminuent quand le taux de substitution augmente, ce qui peut être attribué à la diminution des propriétés de la zone d'interface entre la pâte et le granulat et aussi à la diminution des propriétés mécaniques intrinsèques du mélange de granulats. Comme on peut le voir sur la Figure 7, la résistance relative des mortiers par rapport au mortier de référence diminue de manière quasi-linéaire en fonction du taux de substitution. La résistance en compression du mortier contenant 100% de sable recyclé diminue de 30% par rapport au mortier de référence.

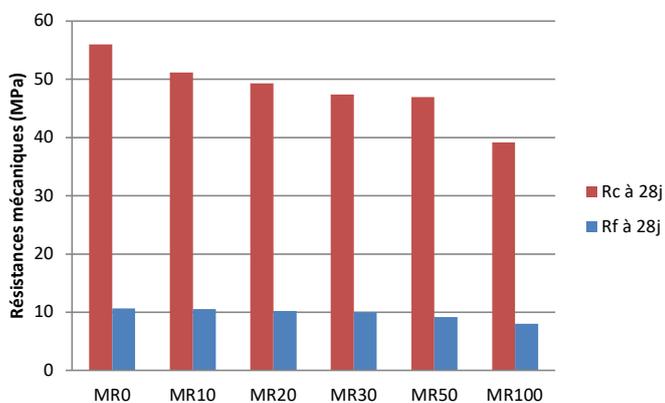


Figure 6. Résistance à la compression et à la flexion de mortiers de la série A

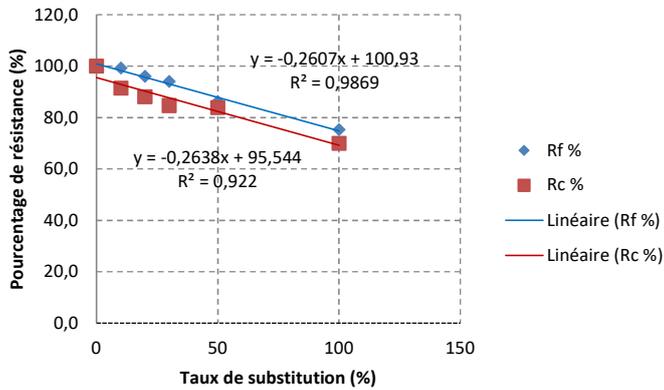


Figure 7. Résistances relatives en fonction du taux de substitution pour les mortiers de la série A

4.2.2 Influence de la fraction granulaire de sable recyclé

La série B permet d'étudier l'influence de chaque fraction granulaire de sable recyclé sur les propriétés des mortiers. La Figure 8 présente l'affaissement des mortiers de la série B. Comme on peut le voir, l'affaissement des mortiers est similaire à celui du mortier de référence quand chaque fraction du sable naturel est remplacée par le sable recyclé.

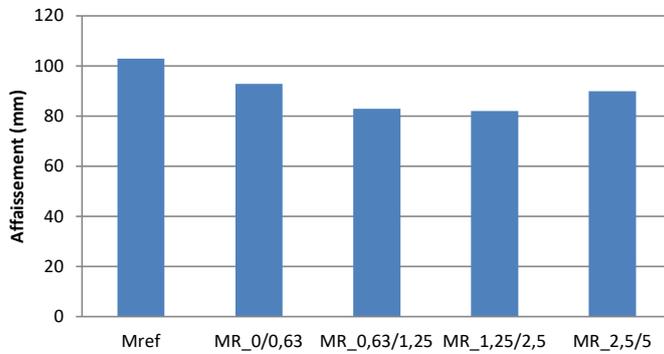


Figure 8. L'affaissement de mortiers de la série B

La résistance à la flexion des mortiers est très peu influencée par la fraction granulaire de substitution (Zhao et al., 2015). En revanche, la résistance à la compression des mortiers diminue par rapport au mortier de référence après le remplacement pour toutes les fractions granulaires. La résistance en compression du mortier dans lequel la fraction la plus fine a été substituée est la plus faible. Les réductions de résistance sont de 17,6%, 6,8%, 5,4%, 3,1% respectivement pour MR_0/0,63,

Commenté [S1]: L'article est déjà trop long, inutile de présenter ce résultat qui n'apporte pas grand chose.

MR_0,63/1,25, MR_1,25/2,5, MR_2,5/5. Donc la fraction la plus fine du sable recyclé est la plus pénalisante pour les propriétés mécaniques, ce qui peut être dû à la plus grande quantité de pâte de ciment durcie dans cette fraction.

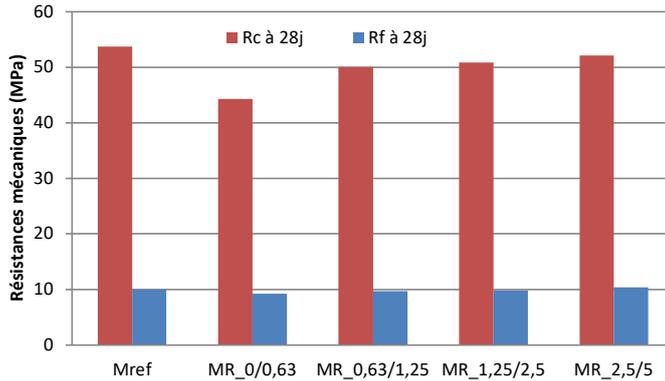


Figure 10. Résistance à la compression et à la flexion de mortiers de la série B

5. CONCLUSION

Dans cette étude, une nouvelle méthode permettant de caractériser les propriétés des sables recyclés est présentée. Cette méthode est basée sur la mesure de la fraction soluble des GR dans l'acide salicylique (FSAS). La FSAS est mesurée pour quatre classes granulaires croissantes sur des sables recyclés produits dans différentes plateformes de concassage. Pour les granulats recyclés testés, la FSAS varie de manière quasi linéaire en fonction de la classe granulaire. Une méthode basée sur l'utilisation de la relation FSAS/absorption d'eau est proposée, permettant de déterminer précisément le coefficient d'absorption d'eau de la fraction 0/0,63mm des granulats recyclés industriels.

Deux séries de mortiers sont réalisées avec l'un des granulats recyclés étudiés précédemment (SRI1). L'influence des proportions de sable recyclé et l'influence de chaque fraction granulaire de sable recyclé sur les propriétés des mortiers ont été étudiées. Les résultats montrent que la résistance à la compression des mortiers diminue quasi linéairement quand le pourcentage de remplacement du sable recyclé augmente. En outre, on montre que la fraction la plus fine du sable recyclé (0/0,63mm) a l'effet le plus pénalisant sur les propriétés mécaniques des mortiers. Pour vérifier les conclusions précédentes, tirées à partir d'essais sur mortiers, les propriétés à l'état frais et à l'état durci de bétons contenant des sables recyclés en remplacement du sable naturel seront mesurées par la suite.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la société Lafarge pour la fourniture du ciment blanc et la société Holcim pour la fourniture des granulats naturels. Ils remercient également la société Colas et le Projet National Recybéton pour la fourniture des granulats recyclés. Enfin, les auteurs remercient le China Scholarship Council (CSC) pour son soutien financier.

REFERENCES

- Courard L., Michel F., Delhez P. (2010) Use of Concrete Road Recycled Aggregates for Roller Compacted Concrete. *Construction Building Material*, 24(3):390-395.
- De Juan M.S., Gutiérrez P.A. (2009) Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 23:872-877.
- DjerbiTegguer A. (2012) Determining the water absorption of recycled aggregates utilizing hydrostatic weighing approach. *Construction and Building Materials*, 27(1): 112-116.
- Etxeberria M., Vázquez E., Marí A., Barra M. (2007) Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 37(5):735-742.
- Tam V.W., Gao X., Tam C., Chan C. (2008) New approach in measuring water absorption of recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 22(3): 364-369.
- Topcu I.B., Sengel S. (2004) Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*, 34(8):1307-12.
- Zhao Z., Remond S., Damidot D., Xu W. (2013) Influence of hardened cement paste content on the water absorption of fine recycled concrete aggregates. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 2(3-4): 186-203.
- Zhao Z., Remond S., Damidot D., Xu W. (2014) Teneur en pâte de ciment et coefficient d'absorption d'eau des sables recyclés. Quinzième édition des Journées Scientifiques du Regroupement Francophone pour la Recherche et la Formation sur le Béton (RF)2B, Douai, France, 03-04 Juillet 2014, pp101-111.
- Zhao Z., Remond S., Damidot D., Xu W. (2015) Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars. *Construction and Building Materials*, 81: 179-186.