
Effet des granulats recyclés sur le développement de la microstructure des bétons autoplaçants (BAP)

Zitouni Kheira^{1,2}

¹ *Laboratoire construction, transport et protection de l'environnement (LCTPE), Universtié Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie.*

² *Laboratoire formulation, microstructure, modélisation et durabilité (FM2D), IFSTTAR, Marne La Vallée, France.*

*Email : Kheira.zitouni@hotmail.com

RÉSUMÉ. Plusieurs auteurs ont étudié l'effet des granulats recyclés sur la rhéologie, les performances mécaniques et la durabilité des bétons autoplaçants (BAP), mais une analyse approfondie de la microstructure n'a pas encore été rapportée, en totale continuité avec ces travaux, cette étude vise à comprendre l'influence d'une substitution partielle et totale des granulats naturels (GN) par les granulats recyclés (GR) sur la microstructure et la résistance à la compression des BAP. Ceci tout en tenant compte de la composition des bétons granulats recyclés (BGR), qui sont composés de plusieurs phases ; ancienne pâte (AP), nouvelle pâte (NP) et ancienne-nouvelle pâte (AP-NP). Les résultats obtenus montrent que les diminutions des résistances à la compression sont proportionnelles au taux de substitution, un remplacement de 30% de GR n'a cependant pas d'impact significatif. L'état saturé des GR joue un rôle sur ces baisses de performances, ceci est principalement lié à l'augmentation de la porosité au niveau de l'interface ancienne-nouvelle pâte (AP-NP), mais aussi à la modification de la nouvelle pâte par un mouvement d'eau des GR vers la nouvelle pâte.

ABSTRACT. Several authors have studied the effect of recycled aggregates on the rheology, mechanical performances and durability of self-compacting concrete (SCC). However, an analysis of the microstructure has not yet been reported, in continuity with these works, this study aims to understand the influence of partial and total substitution of natural aggregates (NA) by recycled aggregates (RA) on the microstructure and the compressive strength of SCC, taking into account the the composition of the RCA, which are composed of several parts (OP, NP and OP-NP). The results found show that compressive strengths decreases are proportional to substitution rates, but 30% replacement does not have a significant impact. These decreases are related to initial moisture state of RA which increases the porosity not only at the interface OP-NP, but leads to the modification of the new paste (NP) by a water movement from RA to the paste.

MOTS-CLÉS: granulats recyclés, béton autoplaçant, résistance à la compression, microstructure, nouvelle pâte, ITZ
KEY WORDS: recycled aggregate self compacting concrete, compressive strength, microstructure, new paste, ITZ.

1. Introduction

Le développement durable est un objectif commun que nous visons au sein de l'industrie de la construction, aujourd'hui, nous sommes confrontés à une disponibilité de ressources de plus en plus limitée, Afin de maintenir les principes d'une conception durable, il devient donc primordial de revitaliser ce qui était autrefois et de l'utiliser de nouveau à son plein potentiel. L'utilisation des sous-produits industriels pour améliorer les propriétés du béton a été largement adoptée. Le recyclage du béton issu de la déconstruction en granulats pour la confection de nouveaux bétons est entrain de suivre la même tendance.

Il est aussi reporté dans la littérature que 30% de GR est le pourcentage permettant d'atteindre des performances équivalentes qu'un béton de granulats naturels [LIM 00 ; GON 08], cette limitation rentre aussi dans le cadre de la norme EN206/CN. Pour voir ce pourcentage à la hausse, plusieurs méthodes ont été proposées telles que l'amélioration de la qualité du liant en réduisant le rapport E/L, l'utilisation des ajouts cimentaires, ou même des granulats recyclés traités ou issus de béton parent de meilleure qualité, à des fins d'amélioration des performances, l'emploi des GR dans la formulation des bétons autoplaçants semble aujourd'hui être une autre alternative du fait que les BAP présentent un volume de granulats grossiers inférieur aux autres bétons (BO et BHP) [GRD 10 ;TUY 14 ; MOD 14] . Afin d'être dans la continuité des travaux visant à optimiser la valorisation des granulats recyclés, cet article se propose d'étudier l'influence des GR dans les BAP en explorant les points suivants :

- Identifier l'influence du taux de substitution des GN par les GR sur les résistances à la compression des BAP au cours du temps.
- Etudier la microstructure des BAP en tenant compte des spécificités des bétons de granulats recyclés.
- Relier les résistances à la compression aux changements microstructuraux de la nouvelle pâte et la nouvelle ITZ en fonction du taux de granulats recyclés.

2. Etude expérimentale

2.1. Matériaux utilisés

Un ciment CEM I/A 42,5N et des fillers calcaires (FC) ont été utilisés avec une surface spécifique Blaine de 3150 g/cm³ et 4200 g/cm³ respectivement. L'adjuvant employé est un superplastifiant VISCOCRETE TEMPO 12, fourni par l'entreprise SIKA. Les granulats fins employés sont un sable de mer de nature siliceuse (Sm 0/1) et un sable concassé de nature calcaire (Sc 0/3),pour obtenir un béton autoplaçant, le volume et la taille maximale des granulats grossiers sont réduits afin de limiter les frictions et éviter les blocages dans les zones confinées. Le diamètre maximal des granulats a été fixé dans notre étude à 15mm. Les gravillons naturels sont des granulats calcaires de classe 3/8 mm (GN 3/8) et 8/15 mm (GN 8/15). Les granulats recyclés de même fractions (GR3/8mm) et (GR 8/15mm) sont obtenus suite au concassage d'un béton de démolition. Les propriétés de l'ancien béton sont cependant méconnues. Les principales caractéristiques physiques des granulats naturels et recyclés sont présentées dans le tableau 1.

Granulats	Sm	Sc	NA	NA	RA	RA
	0/1	0/3	3/8	8/15	3/8	8/15
ρ (g/cm ³)	2,60	2,68	2.66	2.64	2.35	2.42
24h-WA(%)	0.96	1.8	1.4	1.3	6.10	4.85
Porosité (%)	-	-	-	-	18.7	16.4
LA (%)				21	-	33

Tableau 1. Caractéristiques des granulats

On constate d'après le tableau 1 que les granulats recyclés ont une faible masse volumique, une absorption d'eau et un coefficient de Los Angeles plus élevé que les granulats naturels, l'ancienne pâte attachée aux GR conduit à des caractéristiques plus faibles que les GN.

2.2. Formulation des BAP

La méthode utilisée pour concevoir les compositions des BAP est inspirée d'une formulation d'un BAP à base de fillers calcaires. Le principe de cette formule se base essentiellement sur la fixation d'un volume de pâte à 37,5 % (375,00 l/m³), rapport E/L = 0,5 et G/S proche de 1. Dans notre étude nous proposons de substituer en volume les granulats naturels par les granulats recyclés, quatre mélanges ont été préparés ; ou les granulats recyclés ont été utilisés à des taux de 30%, 50%, 100%. Compte tenu de l'absorption d'eau élevée des granulats recyclés, ces derniers ont été utilisés à l'état saturé surface sèche (SSD), ils ont été saturé pendant 24h, et avant chaque mélange l'humidité de surface a été retirée à l'aide d'un drap. Les compositions des BAP sont représentées dans le tableau 2.

Désignation	Ciment	FC	Sm (0/1)	Sc (0/3)	GN (3/8)	GN (8/15)	GR (3/8)	GR (8/15)	E	E/L	Sp
BAP0 (kg/m ³)	382	65	578	253	335	495	0	0	224	0,5	2,67
BAP30 (kg/m ³)	382	65	578	253	235	347	89	136	224	0,5	2,67
BAP50 (kg/m ³)	382	65	578	253	168	248	147	227	224	0,5	2,67
BAP100 (kg/m ³)	382	65	578	253	0	0	296	454	224	0,5	2,67

Tableau 2. Proportions des différents constituants des BAP

2.3. Méthodes expérimentales

Il est nécessaire de valider les propriétés autoplaçantes des BAP étudiés. A cet effet les propriétés des BAP à l'état frais ont été évaluées selon les recommandations de [AFGC 2008] (Etalement, T50, L-BOX, stabilité au tamis). La résistance à la compression a été mesurée pour différentes échéances (28 jours, 90 jours et 1an). La microstructure des bétons a été évalué à l'issue d'une cure humide de 90 jours via prosimètre au mercure (MIP). Les essais ont été réalisés sur AutoPore IV 9500 V1.09 de MICROMERITICS INSTRUMENT CORPORATION avec une pression maximale de 413 MPa qui permet d'atteindre des pores de 3,6 nm de rayon. La porosimétrie au mercure est basée sur le principe qu'un fluide non mouillant pour atteindre un pore de diamètre d, une pression P inversement proportionnelle au diamètre d de ce pore doit être appliquée. Cette pression est donnée par l'équation de Washburn (1):

$$P = \frac{-4 \gamma \cos\theta}{d} \quad (1)$$

Où γ est la tension de surface du mercure et θ l'angle de contact entre le mercure et la paroi des pores. La valeur de $\gamma = 0,485 \text{ N/m}$ et $\theta = 141,3^\circ$. Les échantillons testés sont la nouvelle pâte (NP), l'ancienne pâte (AP) et l'AP-NP (voir figure 1). Le principe de l'échantillonnage est détaillé dans la suite de l'article. L'étude de la microstructure des BGR a également été réalisée par des observations au microscope électronique à balayage (MEB) en mode d'imagerie « diffraction d'électrons rétrodiffusés » (BSE) suivie d'analyses d'images permettant de quantifier le taux d'anhydres.

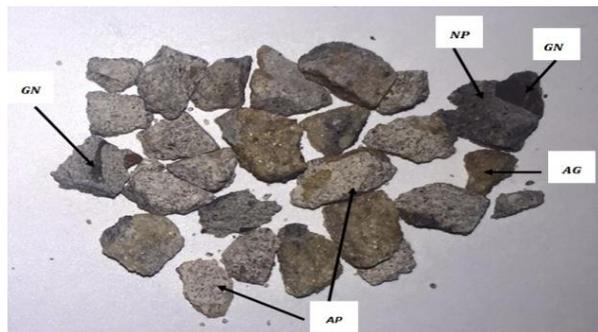


Figure 1. Différents composants d'un béton de granulat recyclé

3. Résultats

3.1. Propriétés des BAP à l'état frais

Les propriétés à l'état frais des BAP sont récapitulées dans le tableau 3. Les résultats montrent que l'étalement initial est similaire pour tous les BAP, aucune auréole de laitance n'a été observée lors des essais, cela ne peut être dû qu'à l'effet positif d'utiliser les granulats à l'état SSD (Saturated Surface Dry), dans cette condition le réseau des pores saturé, n'absorbent plus d'eau et permet alors de préserver la fluidité de la pâte. Le temps T-500mm indique la viscosité des BAP, plus ce temps est long plus le BAP est visqueux bien qu'aucune limite temps ne soit donnée par l'AFGC, les résultats obtenus sont conformes aux spécificités les plus courantes d'un BAP à l'état frais ($3s \leq t \leq 5s$). L'essai de la boîte en L simule la capacité du béton à s'écouler à travers le ferrailage, l'espacement entre les barres d'acier peut varier pour appréhender au mieux différentes densités de ferrailage, d'après le tableau 3 tous les BAP présentent des taux de remplissage supérieur à 80%, ce taux augmente avec pourcentage des granulats recyclés. L'essai de stabilité au tamis permet de calculer le taux de ségrégation et de déduire si le béton testé possède une stabilité satisfaisante ou non, tous les BAP expriment une stabilité correcte inférieure à 15%. Ces résultats sont en accord avec ceux de [KOU 09 ; GRD 10].

Désignation	BAP0	BAP30	BAP50	BAP100
Etalement (cm)	70	70	71	70
T50 (s)	3,5	3,4	3,6	3,9
L-BOX (%)	0,85	0,86	0,88	0,89
π (%)	7,8	8,0	9,4	10

Tableau 3. Propriétés des BAP à l'état frais

3.2. Résistance à la compression des BAP et son évolution au cours du temps

La figure 2 (a) présente une comparaison de l'évolution des résistances à la compression des BAP pour les différents pourcentages. Quelque soit l'âge des bétons, il a été observé une diminution des résistances à la compression en fonction du taux de granulats recyclés, par contre un taux de remplacement de 30% permet d'obtenir des résistances à la compression comparable au BAP de référence, ces baisses de performances sont liées à la porosité élevée, aux faibles caractéristiques mécaniques des GR (tableau 2) et la contribution du réseau poreux des différents composants du BAP, cela sera démontré par la suite dans la partie microstructure.

Pour des taux de substitution de 50% les diminutions de résistances sont bien inférieures à ceux observées dans d'autres études à 28 jours, qui sont de l'ordre de 19% [POO 04] et 14.6% [SEA 14]. Il a également été constaté que les diminutions des résistances s'atténuent au cours du temps, par exemple, l'écart de résistance du BAP100 par rapport au BAP0 est de 20.6%, 17,6% et 14,6 % à 28 jours, 90 jours et 365 jours respectivement. Si on compare la diminution de résistances à 28 jours par rapport à un béton ordinaire de 100% de GR formulés avec des paramètres de composition similaire à la présente étude ($E/L = 0.5$ et GR à l'état SSD), des diminutions de RC peuvent atteindre 30% par rapport au béton de référence [BRA 18 ; SEA 14].

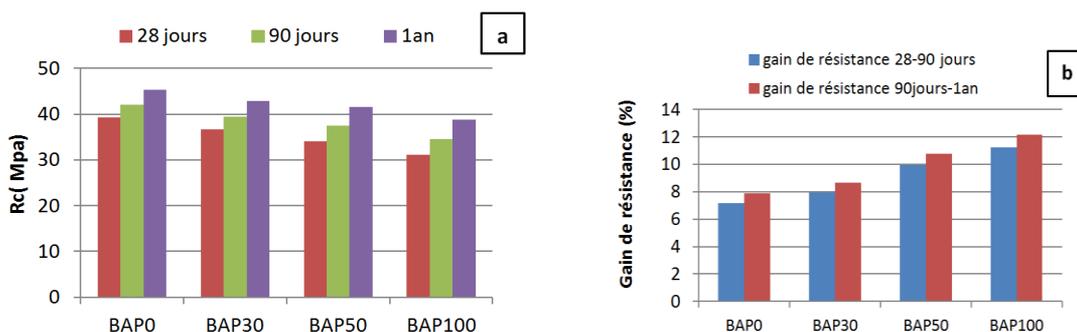


Figure 2. (a) Evolution des résistances à la compression des BAP

(b) gain de résistance des BAP

Il est aussi important de souligner que l'utilisation des GR à l'état SSD produit un effet positif sur le développement des résistances à la compression au cours du temps, il en résulte des gains de performances plus importantes à mesure que le taux de substitution augmente (figure 2(b)), ceci s'explique par l'effet de cure interne des granulats recyclés, en effet, l'eau ajusté par pré-saturation à 24h agit comme un réservoir d'eau permettant la poursuite de l'hydratation. [YIL 15] Observe des résultats dans le même sens ou le gain de résistance à 28 jours a été fortement influencé par la quantité d'eau stockée dans les GR.

3.3. Etude de la microstructure des BAP

Dans la littérature, la représentativité de l'échantillon pour l'essai MIP dans le cas des bétons granulats recyclés n'est pas prise en compte. En considérant les différents composants d'un béton de granulats recyclés (ancienne pâte, ancien granulats naturel, nouvelle pâte et nouveau granulats naturel), et le faible volume de l'échantillon nécessaire aux essais (quelques cm³), il est évident que la proportion de chaque élément dans un échantillon d'essai de porosimétrie au mercure est différente de celle d'un échantillon de béton de GR à un volume plus large. Cette étude propose une nouvelle méthode d'échantillonnage pour étudier la microstructure du béton GR par MIP, on définit le béton GR comme un composite multiphase dans lequel la nouvelle pâte (NP) est attaché au granulats naturel (GN) et granulats recyclés (GR), ce dernier est composé d'ancienne pâte (AP) et d'anciens granulats naturels (AG). Pour un béton avec différents taux de granulats recyclés comme le montre la Figure 3, les interfaces entre la nouvelle pâte (NP) et ces composants sont appelées zones interfaciales de transition (ITZ).

ITZ0: Zone interfacial de transition entre NP et GN,

ITZ: Zone interfacial de transition entre NP et AP,

ITZ1: Zone interfacial de transition entre AP et AG

L'objectif sera d'explorer les aspects suivants,

- l'éventuelle modification de la microstructure de la nouvelle pâte par rapport au taux de GR,
- Evaluer la répartition poreuse de l'ancienne pâte attachée à la nouvelle pâte AP-NP et estimer la distribution des pores dans la nouvelle ITZ en fonction du taux de substitution.

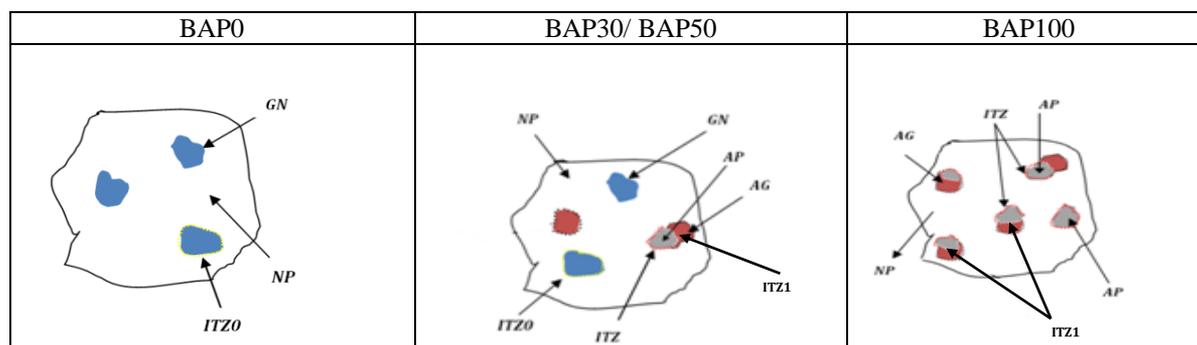


Figure 3. Composition des BAP en fonction du taux de remplacement des GR

Concernant les différentes interfaces citées, notre étude se focalise sur la nouvelle ITZ, en effet nous avons effectué des observations au MEB et nous avons constaté, qu'il n'y a de tendance de variation de la microstructure de l'ancienne ITZ (ITZ1) avant et après incorporation des GR dans les BAP, l'effet de l'ancienne ITZ sur la résistance à la compression a été largement reporté dans la littérature [OTS 03 ; RYU03]

3.3.1. Influence des granulats recyclés sur la structure poreuse de la nouvelle pâte

La figure 4 représente les courbes d'intrusion au mercure en fonction des diamètres de pores des nouvelles pâtes. On observe qu'avec l'augmentation du pourcentage de granulats recyclés, le volume d'intrusion de mercure augmente. On distingue deux groupes de distribution des tailles de pores: dans le premier les pâtes (NP0 et NP30) évoluent de la même manière avec un volume total de mercure de l'ordre de 0,069 ml / g et dans le second les pâtes NP50 et N100 présentent un volume de intrusion de mercure de 0,09 ml / g. On peut également observer que les pâtes (NP50 et NP100) malgré un volume d'intrusion de mercure élevée, ces pâtes ont une distribution des pores plus fine que les pâtes (NP0 et NP30) pour la taille des pores (<50nm). Au moyen des GR humide, le mouvement d'eau crée entre la nouvelle pâte et les GR perturbe l'hydratation de la nouvelle pâte, Cela

peut provoquer deux phénomènes: soit , l'humidité contenue dans les pores de la pâte est progressivement libérée pour permettre une hydratation continue, ou dans l'autre cas, les GR absorbent l'eau de gâchage qui provoque une réduction du rapport E / C dans la nouvelle pâte.

Pour démontrer cela, il a été nécessaire de mener une étude plus approfondie de la microstructure. Le taux d'anhydres des nouvelles pâtes estimé par analyse d'image sur les observations MEB (Figure 6) est de 5,75% pour NP0 et de 5,04% pour NP30 alors qu'il n'est que de 3,63% pour NP50 et de 1,21% pour NP100, Ceci permet d'affirmer la première hypothèse, l'eau absorbée par les granulats recyclés lors du processus de présaturation migre vers la nouvelle pâte, ce qui génère moins de macrospores et d'anhydres pour des taux de remplacement élevés de GR. La Figure 5 montre que le pourcentage de macrospores entre 50-10000nm est de 30 et 29% pour NP0 et NP30 respectivement à 20% pour NP50 et NP100. Ce phénomène a permis de créer une distribution plus fine des pores dans le réseau mésoporeux, le pourcentage de pores entre (10-50 nm) est estimé à 51% pour NP50 et NP100 contre seulement 34% et 32% pour NP0 et NP30

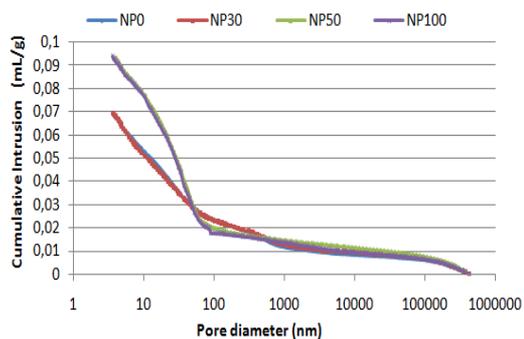


Figure 4. Courbes d'intrusion de mercure des NP

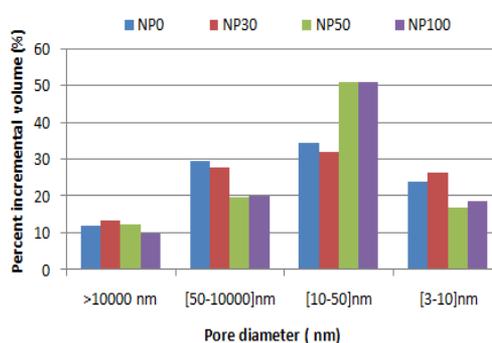


Figure 5. Distribution de la taille des pores des NP

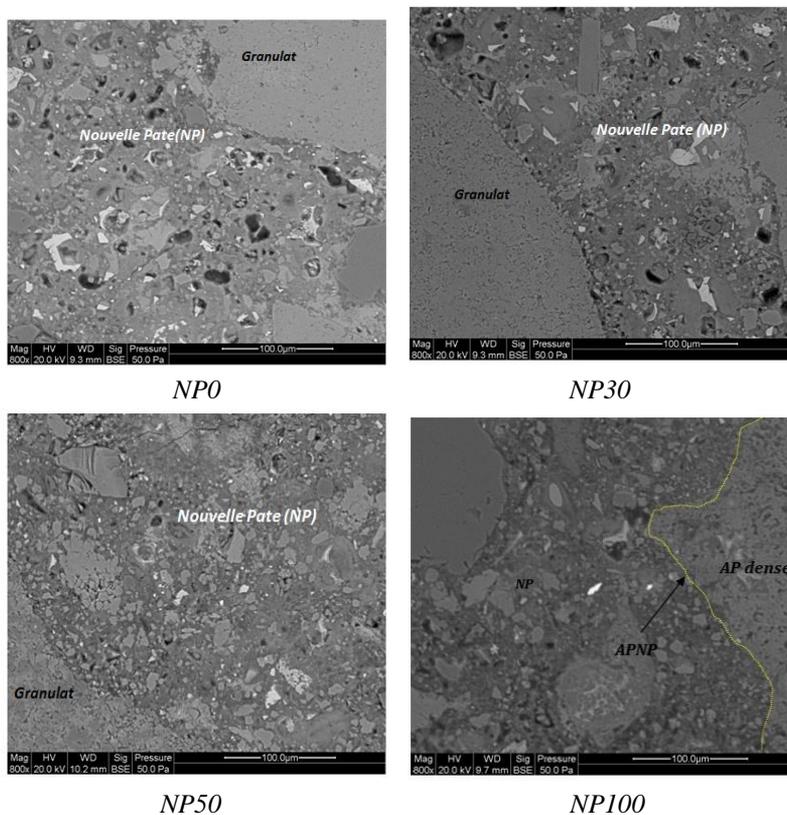


Figure 6. Observations MEB des nouvelles pâtes (NP).

3.3.2. Evolution de la structure poreuse de l'ancienne pâte attachée à la nouvelle pâte

Cette section présente la microstructure de l'ancienne pâte (AP) et l'ancienne pâte attachée à la nouvelle pâte (AP-NP) dans les BAP étudiés, dont le but est d'évaluer la microstructure de NP à l'interface de AP (ITZ), la microstructure au cœur de NP a été étudiée (figure 4). Nous pouvons remarquer une différence dans les courbes d'intrusion au mercure de AP et AP- NP dans les figures (7, 8, 9), cela met en évidence la différence la distribution de la taille des pores de l'ancienne pâte dans le GR et l'ancienne pâte liée à la nouvelle pâte, qui est principalement due à ITZ.

Généralement l'épaisseur de l'ITZ est de l'ordre 40-50 μm , [ZHA 15] avance qu'en utilisant les GR à l'état humide sa taille peut être comprise entre 20 and 80 μm , il n'est donc pas possible expérimentalement de prélever cette épaisseur qui caractérise l'ITZ pour effectuer l'essai MIP, dans le but de caractériser la distribution des pores de la nouvelle ITZ, nous avons déduit le mercure totale introduit à partir des résultats expérimentaux à savoir AP-NP, AP et NP (figure 4), la figure 10 présente une estimation de la répartition des pores. On observe une augmentation du pourcentage des pores dans l'ITZ dans la gamme des macropores en fonction du taux de GR, principalement pour les tailles des pores supérieur 200nm, on remarque aussi une augmentation des pores inférieurs à 50nm pour ITZ50 et ITZ100 par rapport à ITZ30. Malgré la petite épaisseur de l'ITZ, notre étude montre que la distribution poreuse de la nouvelle ITZ dépend du taux de substitution des GR qui affecte la microstructure au cœur du NP et également la microstructure à l'interface de NP. Alors que les études précédentes relient la microstructure de l'ITZ qu'à l'état de saturation des GR, [ZHA 15] avance que l'ITZ dépend de l'état de saturation des GR, l'eau va migrer des GR vers à la nouvelle pâte, et augmenter ainsi le rapport E / C à la surface des GR

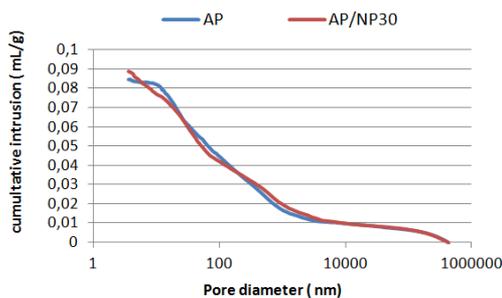


Figure 7. Courbes d'intrusion de mercure des AP AP/NP30

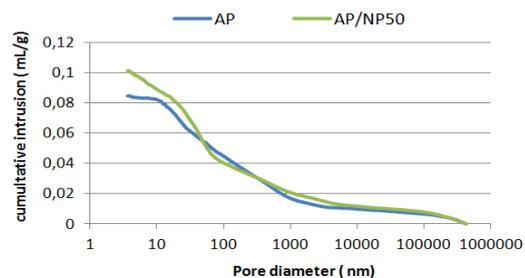


Figure 8. Courbes d'intrusion de mercure des AP et AP/NP30

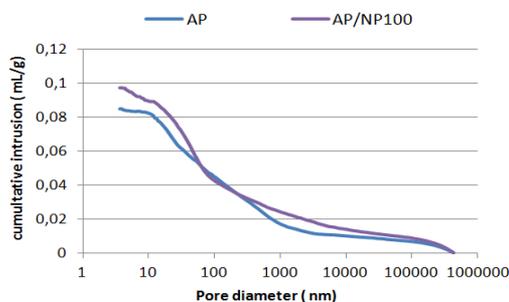


Figure 9. Courbes d'intrusion de mercure des AP et AP/NP100

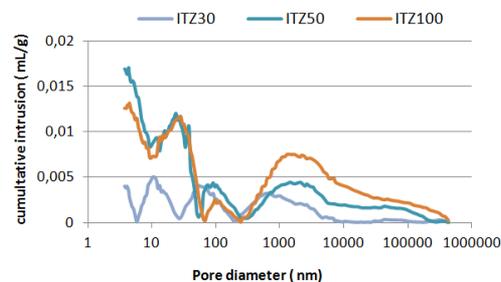


Figure 10. Distribution de taille des pores des ITZ

4. Résistance à la compression et propriétés de microstructure

Pour évaluer la porosité au mercure, l'échantillonnage pour l'essai est constitué exclusivement que de pâte de ciment, la porosité estimée ne concerne donc que celle de la pâte, Dans le cas des BGR qui sont constitués de plusieurs composants (nouvelle pâte NP, ancien granulats AG ainsi que l'ancienne pâte AP) la taille de l'échantillon (environ 2g) n'est pas représentatif et ne permet pas d'évaluer la porosité réelle, il est donc

impératif de prendre en considération la porosité de chaque constituants afin de donner une estimation de la porosité totale au mercure. On peut ainsi dire que cette porosité totale au mercure est celle de la pâte à laquelle on rajoute la porosité des granulats, ce calcul est fait d'après la formule suivante :

$$Pt_0 = \sum V_i P_i = V_p \times P_p + V_{GN} \times P_{GN}$$

$$Pt_{30,50,100} = \sum V_i P_i = V_p \times P_p + V_{GN} \times P_{GN} + V_{GR} \times P_{GR}$$

Pt_n : porosité totale du béton pour différents taux de substitution

V_p : volume de pâte

P_p : porosité de la pâte calculée par intrusion au mercure

V_g : volume des granulats

P_{GN} : Porosité des granulats naturels évaluée par porosimétrie au mercure.

La figure 11 révèle que la différence de porosité entre les différents bétons est apporté par la proportion de GR, lorsque ce pourcentage augmente, il est tout à fait logique d'observer une augmentation de la porosité totale au mercure. Puisque les paramètres de mélange sont similaires avec un volume de pâte fixe et un E/L constant, l'influence de l'ancienne pâte est prédominante.

On remarque également que la porosité de la nouvelle pâte n'est pas constante dans tous les bétons, comme nous l'avons mentionné précédemment, ce n'est pas seulement l'ancienne pâte (AP) qui est modifiée mais aussi la microstructure de la nouvelle pâte (NP).

On peut dire que les diminution des résistances à la compression sont influencées par la porosité de l'ITZ, mais aussi à la contribution à la fois de l'ancienne pâte la nouvelle pâte. Dans le cas du BAP100, qui présente les plus faibles résistances à la compression, la porosité de la nouvelle pâte représente presque 50 % de la porosité totale.

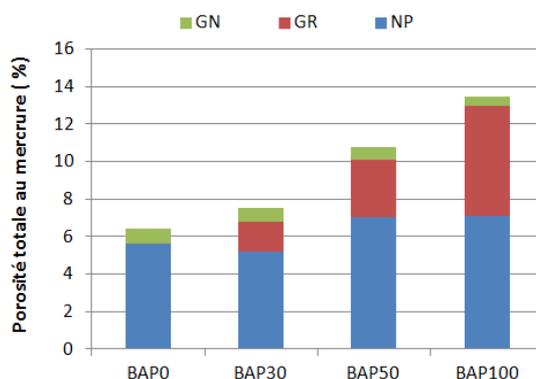


Figure 11. Porosité totales au mercure des BAP

5. Conclusion

Cette étude a permis d'acquérir des informations sur le comportement des bétons autoplaçants à base de granulats recyclés, les résultats obtenus peuvent mener aux conclusions suivantes :

- L'utilisation des GR à l'état SSD permet de préserver les propriétés autoplaçantes des bétons.
- La résistance à la compression diminue en fonction du taux de substitution, toutefois 30 % de GR n'a pas d'impact notable sur les chutes de performances, en ce qui concerne des taux de remplacement supérieur à 50% les diminutions s'insèrent aux valeurs observées dans d'autres études et sont parfois inférieures. Le mouvement d'eau des granulats recyclés vers la nouvelle pâte a créé un effet positif sur le grain de résistance à long terme. une diminution de résistance à la compression de 12% par rapport au béton de référence est observée après 1 an en cure humide
- L'analyse de la microstructure des bétons de GR avec la méthode d'échantillonnage proposée permet d'évaluer le réseau poreux des différents composants du béton de GR. La distribution poreuse du cœur de nouvelle pâte et à l'interface de l'ancienne pâte (nouvelle ITZ) dépend du taux de substitution des GR.

- La plupart des études relie la baisse des propriétés des bétons de GR aux propriétés du GR et l'ITZ, alors que notre étude montre que les GR affectent également la microstructure de NP.
- En perspective, d'autres formulations sont nécessaires pour mieux comprendre l'influence des GR sur les propriétés des BAP, par exemple en utilisant les GR à l'état sec afin d'améliorer les propriétés de l'ITZ.

6. Bibliographie

- [AFGC 08] Documents scientifiques et techniques - Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants. Association Française de Génie Civil, Paris, France.
- [BRA 18] Bravo M., de Brito J., Evangelista L., Pacheco J., « *Durability and shrinkage of concrete with CDW as recycled aggregates: Benefits from superplasticizer's incorporation and influence of CDW composition* », *Construction and Building Materials*, vol.168, 2018, p.818–830
- [GON 08] González-Fonteboa. B., Martínez-Abella. F., « *Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. Materials and mechanical properties* », *Building and Environment*, vol.43, 2008, p.429-437.
- [GRD 10] Grdic Z.J., Toplicic-Curcic G.A., Despotovic. I.M., Ristic. N.S., « *Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate* », *Construction and Building Materials*, vol.24, 2010, p.1129–1133.
- [KOU 10] Kou S.C., Poon C.S., « *Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates* », *Cement & Concrete Composites*, vol.31, 2009, p.622-627.
- [LIM 00] Limbachiya M. C., Leelawat T., Dhir R. K., « *Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete* », *Materials and Structures*, vol.33, 2000, p.574-580
- [MOD 14] Modani P.O. , Mohitkar V.M., « *Self-compacting concrete with recycled aggregate: A solution for sustainable development* », *INTERNATIONAL JOURNAL OF CIVIL AND STRUCTURAL ENGINEERING*, vol.5, n° 2, 2014.
- [POO 04] Poon C.S., Shui Z.H., Lam L., Fok H., Kou S.C., « *Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete* », *Cement and concrete research*, vol.34, 2004, p.31-36
- [SEA 14] Seara-Paz S., Gonzalez-Fonteboa B., Eiras-Lopez J., Herrador M., « *Bond behavior between steel reinforcement and recycled concrete* », *Materials and structures*, vol.47, 2014, p.323-334.
- [TUY 14] Tuyan M., Mardani-Aghabaglou A., Ramyar K., « *Freeze–thaw resistance, mechanical and transport properties of self-consolidating concrete incorporating coarse recycled concrete aggregate* », *Materials and Design*, vol.54, 2014, p.983-991
- [YIL 15] Yildirim S.T., Meyer C , Herfellner S., « *Effects of internal curing on the strength, drying shrinkage and freeze–thaw resistance of concrete containing recycled concrete aggregates* », *Construction and Building Materials*, vol.91, 2015, p.288–296.
- [ZHA 15] Zhao Z., Remond S., Damidot D., Xu W., « *Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars* », *Construction and Building Materials*, vol.81, 2015, p.179–186.
- [OTS 03] Otsuki N., Miyazato S-I., and Yodsudjai W., « *Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete* », *Journal of materials in civil engineering*, 2003.
- [RYU03] Ryu JS., « *Improvement on strength and impermeability of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate* », *Journal of Materials Science Letters*, vol.21, 2002, p.1565–1567.