

## Effects of active mineral additions on the concrete behavior based on demolition sands

### *Effets des ajouts minéraux actifs sur le comportement du béton à base des sables de démolition*

Elhadj Benaichi<sup>✉</sup>, Bouzidi Mezghiche

Laboratoire de recherche de Génie Civil, Université de Biskra, 145 BP RP, 07000, Biskra, Algeria

Received 4 April 2018

Published online: 11 June 2018

#### Keywords

Recycled aggregates

Rheology

Physical and mechanical

Consistency

Active mineral additions,

Demolition

**Abstract:** The exhaustion of natural aggregate deposits and the difficulties of opening new quarries make it necessary to look for new sources of supply. Recycling and recovery of waste are now considered a solution for the future in order to meet the shortfall between production and consumption and protect the environment. The objective of this study is to evaluate the effect of active mineral additions (Pozzolana, slag and silica fume) and inert (calcareous) on the behavior of concrete using recycled fine aggregates. The results obtained in this experimental study allow us to draw the conclusion that the use of additions (pozzolana, limestone fillers, silica fume and slag) improves the physico-mechanical and, more particularly, rheological characteristics of concretes based on 50% of recycled fine aggregate.

© 2018 The authors. Published by the Faculty of Sciences & Technology, University of Biskra. This is an open access article under the CC BY license.

**Résumé:** L'épuisement des gisements naturels de granulats et les difficultés pour ouvrir de nouvelles carrières imposent de chercher de nouvelles sources d'approvisionnement. Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre la production et consommation des agrégats ; et de protéger l'environnement. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des ajouts minéraux actifs (Pouzzolane, Laitier et fumée de silice) et inerte (calcaire) sur le comportement du béton à base des agrégats fin recyclés. Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de conclure que l'utilisation des ajouts (pouzzolane, fumées de silice et laitier) améliore les caractéristiques physico-mécaniques et plus particulièrement rhéologiques des bétons à base de 50 % d'agrégat fin recyclé.

**Mots clés :** Granulats recyclés, Rhéologie, caractéristiques physico-mécaniques, consistance, ajouts minéraux actifs, démolition.

## 1. Introduction

Dans le but de préserver de l'environnement et de l'intégration ; dans le concept du développement durable, on s'est intéressé au recyclage des bétons. Cette idée permet de réutiliser ces bétons comme granulats pour la confection de nouveaux bétons. Ainsi, ce recyclage nous permet de réduire les dépenses sur la gestion des déchets surtout en cas de démolition, et de protéger les gisements et les montagnes contre l'ouverture de nouvelles carrières (Rubaud et al., 2006). De plus, l'épuisement de certains gisements naturels de granulats et les difficultés de mise en place de nouvelles exploitations de carrières exigent de rechercher de nouvelles sources d'approvisionnement en granulats. En pratique, les granulats issus du recyclage des bétons, peuvent remplacer une partie des granulats naturels dans une nouvelle composition de béton. Les taux de substitutions des granulats recyclés sont généralement de 20, 30 50 jusqu'à 70 %. Le mode de préparation des granulats recyclés débute par la réception des bétons démolis, ensuite le découpage de ces bétons, la séparation des matériaux, le broyage des blocs du béton et enfin le stockage des granulats qui seront prêts à être utilisés pour de

nouveaux bétons. La littérature a montré que les bétons à agrégats recyclés sont poreux, d'où une perméabilité plus élevée en comparaison avec les bétons confectionnés par des granulats naturels. Les propriétés physiques et mécaniques de ces bétons diminuent à mesure que le taux de substitution des granulats naturels par des granulats de recyclage augmente. Ainsi, la résistance à la compression diminue considérablement dès que le taux de remplacement dépasse les 30% (Gomez 2002). La différence principale entre les granulats naturels et ceux recyclés des bétons réside dans l'adhérence pâte cimentaire / granulats. Cette pâte influe considérablement sur les propriétés des granulats recyclés par rapport aux granulats naturels (Pedro et al. 2014). Les granulats recyclés sont caractérisés par une faible densité, une absorption d'eau beaucoup plus élevée et des résistances mécaniques inférieures à celles des granulats naturels (Arabi and Berrejem 2011). La porosité élevée de ces granulats influence les propriétés des bétons à l'état frais et durcis (Ravindrarajah et al., 2001).

Les études réalisées par de nombreux chercheurs (Pedro et al. 2014; Arabi and Berrejem 2011 et Meftah et al. 2013) montrent

<sup>✉</sup> Corresponding author. E-mail address: benaichi06@yahoo.fr

que la substitution des granulats naturels par ceux recyclés de béton, nécessite une augmentation de la quantité d'eau de gâchage pour pallier aux difficultés d'écoulement du béton frais. Cette quantité supplémentaire d'eau influe négativement sur les caractéristiques du béton et principalement la résistance à la compression, résistance la flexion et le module d'élasticité (Meftah et al. 2013).

Les études ont montré que les résistances à la compression diminuent au-delà de 30% du taux de substitution des granulats naturels par les granulas recyclés (Gomez 2002). Et on vue d'améliorer les performances mécaniques des bétons, composées avec ses granulats, notre objectifs est d'incorporer des ajouts minéraux actifs tel que le laitier et pouzzolane et la fumée de silice pour formuler un béton durable en augmentant le taux de substitution à 50%. Les spécimens de béton recyclés ont été coulés en utilisant 10 et 20% de laitier et pouzzolane et 10% de fumés de silice.

**2. Matériaux et Procédures expérimentales**

**2.1 Matériaux utilisés**

Le ciment utilisé est de classe CEM I 42.5 ES. Il est produit par la cimenterie d'Ain Elkbira (Sétif). Il est conforme à la norme EN 197-1. Ses caractéristiques sont présentées dans le tableau 1. Les gravillons utilisés sont de deux types (fig. 1) :

- Granulats naturels: gravier naturel concassé (GN) provenant de la carrière d'Aint-Touta (Batna) et, sable naturel (SN) 0/5

provenant de Oued-Lioua (Biskra), les Caractéristiques physico-mécaniques des granulats utilisés sont présentée dans le tableau 2.

- Granulats recyclés (sables recyclés (0/5)), et qui sont : (i) SDB : sable de démolition de béton, obtenu après concassage de béton de ciment d'un vieux béton de structure et (ii) SDBR : sable de démolition de brique, produit par le concassage de brique cuite de briqueterie des frères Amouri (Biskra).

L'eau de gâchage utilisée est de l'eau de robinet exempte d'impuretés. On a choisi de concevoir deux classes de granulats 8 /15 et 15/20. Les ajouts minéraux additionnés au ciment sont : le laitier de haut fourneau (S) et la pouzzolane (Z) et le filler calcaire (L) , qui sont concassés et broyés a Ain Elkbira après les avoir passé à l'étuve pendant 24 heures 100-101 °C pour éliminer l'eau libre et la fumée de silice ( D) provenant de GRANITEX ( Alger ). Les analyses chimiques des ajouts sont présentées dans le tableau 3.

**Tableau 1.** Caractéristiques du ciment

Paramètres	CEM I 42.5 ES
Masse volumique apparente (Kg/m <sup>3</sup> )	1100
Masse volumique absolue (Kg/m <sup>3</sup> )	3100
Surface spécifique ( BLAINE) (cm <sup>2</sup> /g )	4370
Temps de début de prise ( H : min )	3:30
Temps de fin de prise ( H :min )	5:00
R <sub>c</sub> (28j) ( MPa )	44.60

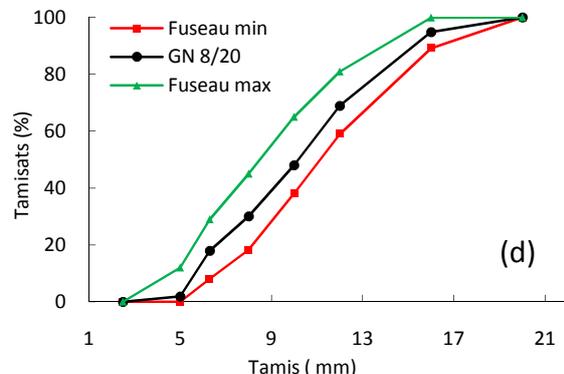
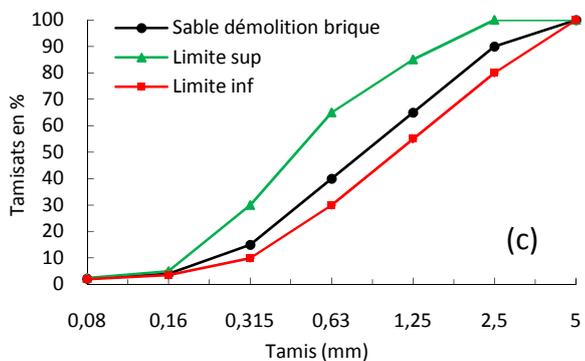
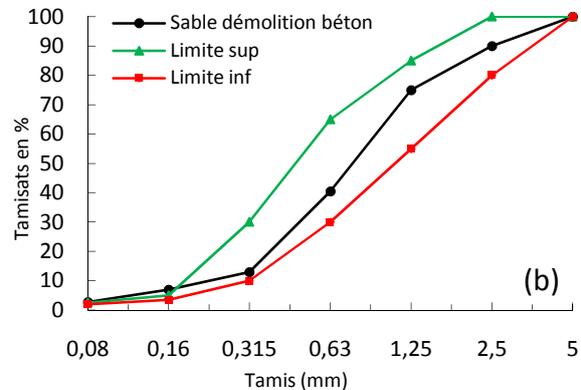
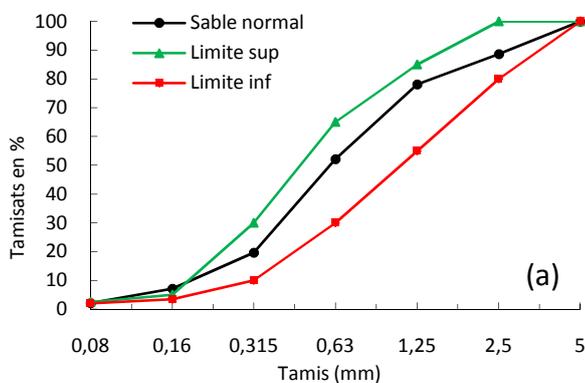


Figure 1. Analyses granulométriques des granulats utilisés : (a) sable naturel, (b) sable de démolition de béton, (c) sable de démolition de brique rouge et (d) graviers.

**Tableau 2.** Caractéristiques physico-mécaniques des granulats utilisés.

	MF	ES	Compression (%)	Porosité (%)	Abs (%)	Mvapp (kg/m <sup>3</sup> )	Mvabs (kg/m <sup>3</sup> )	Impureté (%)	LA (%)
GN	-	-	-	-	1.3	1420	2740	2.29	22
SN	2.53	70.7	60.0	37.0	11.0	1560	2550	-	-
SDB	1.85	78.0	50.0	48.0	14.0	1244	2300	-	-
SDBR	1.74	82.0	40.0	58.50	16.0	1160	2000	-	-

**Tableau 3.** Analyse chimique des ajouts minéraux.

	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Z	10.60	44.89	17.76	8.99	3.48	1.11	-	4.45	0.21
S	43.01	34.60	10.32	0.73	7.14	-	3.02	0.54	0.49
L	55.80	0.58	0.06	0.02	0.06	-	-	-	0.08
D	0.5	89	0.3	0.9	1.5	1.7	-	0.6	0.3

## 2.2 Méthode de formulation

Dans cette étude, les mélanges ont été préparés selon la méthode du volume absolu (B.SCRAMTAIV) (Komar 1978; Mezghiche 2005). On a choisi les pourcentages suivants des ajouts minéraux 10% et 20%. Les moules cylindrique (10×20) cm<sup>3</sup>. Le taux de substitution des granulats recyclés est de 50% des deux sables de démolition (béton et brique concassée.). Un dosage de ciment constant pour tous les mélanges, 350 kg pour 1 m<sup>3</sup> de béton. La composition des mélanges sont présentée dans le tableau 4. Une même consistance plastique classe (S2), essais réaliser avec un cône d'Abrams, NF EN 12350-2. Pour le besoin de l'étude, un béton témoin naturel (BT) est fabriqué à base de granulats naturels, voir Tableau 4.

## 3. Méthodes expérimentales

### 3.1 Etat frais

La méthode utilisée pour évaluer l'aptitude au travail à la fois pour le béton ordinaire et le béton recyclé était la méthode de Slump Test. Une maniabilité d'environ 70 ±20 mm a été maintenue pour tous les mélanges.

### 3.2 Etat durci

#### 3.2.1 Résistance à la compression

L'essai s'effectue sur machine à compression conformément à la norme NF P 18-406. La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement de cinq éprouvettes cylindriques de (10 x 20) cm<sup>3</sup> pour chaque mélange, soit à 28 jours et 90 jours de cure. La résistance est calculée par la formule :  $RC = P/S$  (MPa). La charge est appliquée régulièrement à raison d'une augmentation de (2 à 5) kg/cm<sup>2</sup> par seconde. Sur les nouvelles presses, on peut avoir directement la courbe force appliquée-raccourcissement que l'on peut enregistrer sur support magnétique pour analyser et interpréter les résultats.

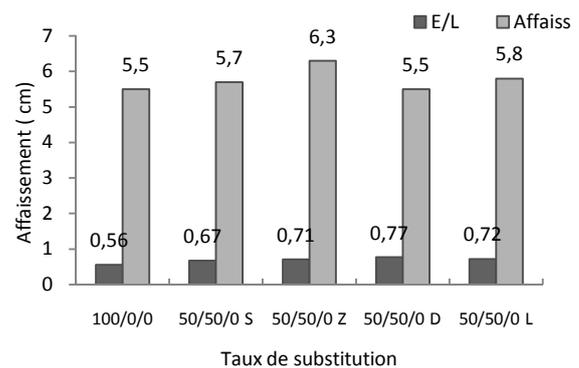
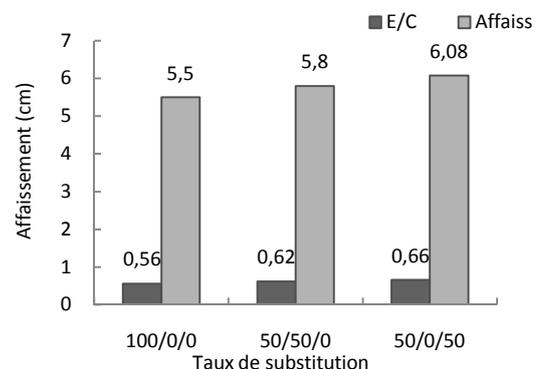
## 4. Résultats et Analyses

### 4.1. Béton frais

**Tableau 4.** Composition des mélanges de béton pour 1m<sup>3</sup> de béton.

	Ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Eau (l/m <sup>3</sup> )	Pierres concassés (kg/m <sup>3</sup> )	Sable (kg/m <sup>3</sup> )	E/C	Affais (cm)
B.SN	350	210	1200	685	0.56	5.50
B.SDR	350	216	1200	329	0.62	5.80
B.SDBR	350	230	1200	329	0.66	6.08

Comme tous les mélanges de béton sont préparés avec un affaissement (entre 5 et 9 cm) fourchettes des bétons plastiques. Ce qui est plus répondu dans les chantiers de coulage de béton. On remarque que la quantité d'eau réellement utilisée (eau de gâchage) pour assurer cet affaissement s'accroît avec le taux de substitution en sables recyclés d'une part et le type d'ajouts d'autre part. Cette quantité est importante pour l'obtention d'une ouvrabilité plastique (approximativement de 5 à 16%) pour les bétons recyclés conçus avec 10 et 20% des ajouts minéraux actifs (Wirquin 2009). Les résultats sont présentés sur les figures 2, 3 et 4.

**Fig. 3.** Effet des ajouts minéraux sur la maniabilité du béton à base de sable de béton concassée.**Fig. 2.** Evolution du rapport E/C et l'affaissement des bétons en fonction du taux de Substitution.

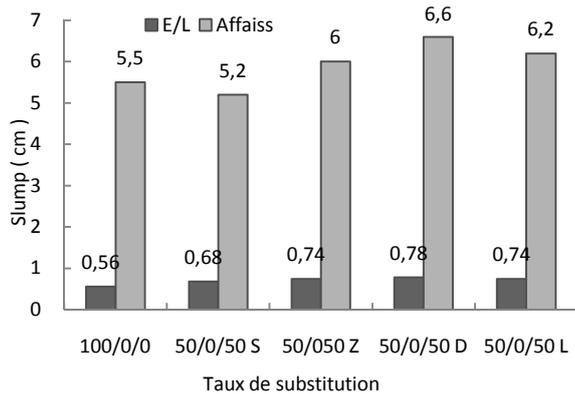


Fig. 4. Effet des ajouts minéraux sur la maniabilité du béton à base de sable de brique concassé.

D’après les figures 2, 3 et 4, on remarque que la consistance des différents mélanges varie dans le même sens que le taux de substitution en granulats fins recyclés. Cela est traduit par la présence de l’ancien mortier qui couvre les granulats provenant du concassage de béton concassé (SDB) qui est caractérisé par sa forte absorption d’eau (6%) tandis que les granulats, issus du concassage de brique (SDBR), ont une porosité élevée, plus la nature d’origine argileuse (10%). Les bétons recyclés (B.SDB, B.SDBR) avec 10 et 20% des ajouts minéraux ont une consistance plus élevée que ceux préparés sans ajouts minéraux et cela est dû à la finesse de mouture des ajouts minéraux. La présence des ajouts minéraux améliore la maniabilité des bétons recyclés.

4.2 Béton durci

D’après la figure 5, on remarque que les bétons recyclés (B.SDB, B.SDBR) présentent des résistances à la compression plus faible que le béton conventionnel, et que la chute de résistance diminue en faisant augmenter l’âge de cure.

Les figures 5, 6 et 7 présentent les résultats des essais à la compression des bétons à base de granulats recyclés conçus avec des sables de démolition de béton et brique concassée avec ajouts minéraux actifs (laitier, pouzzolane et fumée de silice) et inerte (calcaire) effectuée sur des éprouvettes cylindrique (10x20) cm<sup>3</sup>. Pour les bétons à base de sable de démolition de

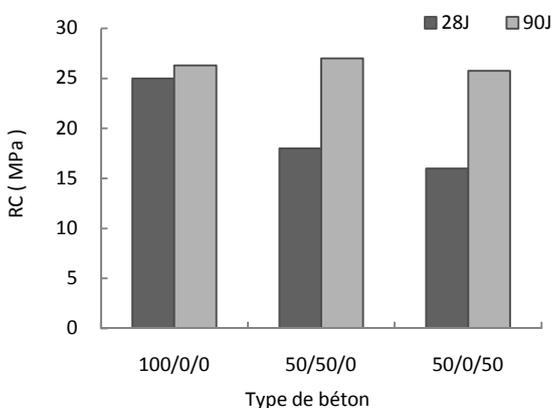


Fig. 5. Résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substituant.

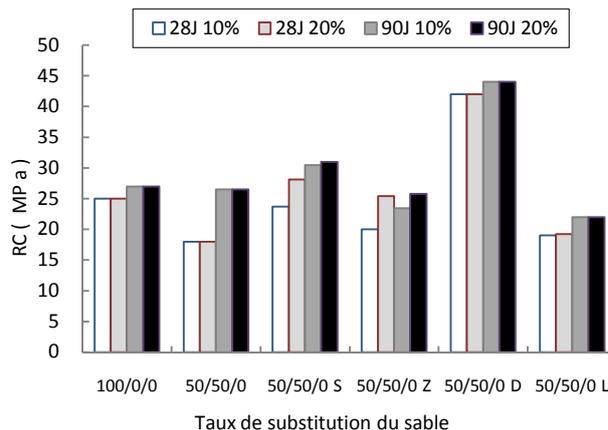


Fig. 6. Résistances à la compression des bétons à base de sable de béton concassé avec ajouts minéraux.

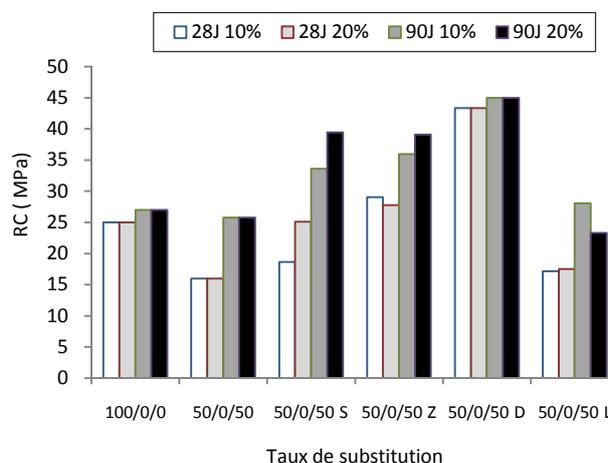


Fig. 7. Résistances à la compression des bétons à base de sable de brique concassée avec ajouts minéraux.

bétons concassée (SDB) : On remarque que l’ajout de (10 et 20%) de laitier améliore la résistance à la compression à moyen et à long terme (31%) et cela dû à la finesse élevée des ces ajouts, tandis que pour le pouzzolane on observe une légère augmentation (11%) à moyen et à long terme du fait que les réactions pouzzolaniques sont lente (Baroghel-Bouny 1994). l’évolution des résistances selon le temps est expliquée par la propriétés hydraulique latente de l’hydratation des additions minérales ( laitier et pouzzolane ), (Messaoudene et al. 2012). Pour le béton conçu avec de sables de démolition de brique concassées (SDBR) : On remarque une légère augmentation (16%) des résistances mécaniques avec l’ajout de laitier (10% et 20%). Par contre l’ajout de pouzzolane améliore nettement les résistances à la compression à moyen terme qui est sont de l’ordre de 74 % et de 94% à long terme et cela due à la nature pouzzolanique des briques.

On constate que la présence de la fumée de silice dans les bétons à base de sables recyclés influence de façon significative les propriétés mécaniques de ces derniers, une augmentation importante d’environ 97% pour (SDB) et 98 % pour (SDBR) qui dépasse le béton témoin. Cette action particulière est due au fait que les grains de la fumée de silice ont un diamètre environ 100 fois plus petit que celui des plus petits grains de ciment, et que

cette finesse des grains diminue le ressuage. L'ajout de calcaire améliore légèrement les résistances des bétons à base des sables recyclés (SDB, SDBR), mais reste inférieur au béton témoin.

## 5. Conclusion

Dans cette étude on a utilisé des sables recyclés de déchet de démolition de béton et de brique concassé 50% avec des ajouts minéraux actifs laitier (S), Pouzzolane (Z) et la Fumée de silice (D) et calcaire (L) ont été remplacés partiellement de l'ordre de 10 et 20 % de chacun de ces ajouts pour améliorer les performances des bétons recyclés conçus avec des sables recyclés. Les résultats des essais sont résumés comme suit :

L'ajout de laitier améliore la résistance à la compression à moyen et à long terme du béton de 50 % sable de démolition de béton. L'ajout de pouzzolane au béton à base de 50% sable de démolition de brique améliore nettement les performances mécaniques, cela est dû à la nature pouzzolanique du déchet de brique concassée. La présence de la fumée de silice dans les bétons à base de sables recyclés influence de façon significative les propriétés mécaniques de manière analogue pour les deux sables (SDB, SDBR). Donc finalement on peut conclure qu'on peut aller jusqu'à 50% de substitution de sable de démolition soit de béton ou de brique concassée pour fabriquer des bétons hydraulique avec des même performances mécanique ou plus que les bétons avec agrégats naturels avec ajouts de 10 et 20% de laitier pour les béton de SDB et de 10 et 20% pour les bétons de SDBR et 10 % de fumée de silice pour les deux sables à moyen et à long terme. On constate qu'on peut atteindre une augmentation de la quantité de gâchage de 5 à 16% pour béton recyclés (B.SDB, B.SDBR) avec des ajouts (S; Z; L et D). La présence des ajouts minéraux améliore la maniabilité des bétons recyclés notamment la fumée de silice et la pouzzolane.

## Références

- Arabi, N., L. Berredjem (2011) Valorisation des déchets de démolition comme granulats pour bétons. *Déchets-revue francophone d'écologie industrielle* 60(1): 25-30.
- Baroghel-Bouny, V. (1994) Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons-méthodes, analyse, interprétation. Technical report, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France.
- Gómez-Soberón, J. M. (2002) Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: an experimental study. *Cement and concrete research* 32(8): 1301-1311.
- Komar A. (1978) *Matériaux et éléments de construction*. Mir Edition, Moscou, 1978.
- Mefteh, H., O. Kebaïli, H. Oucief, L. Berredjem, N. Arabi (2013) Influence of moisture conditioning of recycled aggregates on the properties of fresh and hardened concrete. *Journal of cleaner production* 54(1): 282-288.
- Messaoudene, I., L. Molez, D. Rangeard, R. Jaubertie, A. Naceri (2012) Mortiers à base de sable pliocène et de ciments aux ajouts: fillers de déchets industriels et cendres volcaniques. *Matériaux & Techniques* 100(5): 377-386.
- Mezghiche, B. (2005) *Les essais de laboratoire des matériaux de construction*. Algérie: Publication Universitaire Biskra. p.120
- Pedro, D., J. De Brito, L. Evangelista (2014) Influence of the use of recycled concrete aggregates from different sources on structural concrete. *Construction and Building Materials* 71(1): 141-151.
- Ravindrarajah, R. S., M. Steward, D. Greco (2001) Variability of recycled concrete aggregate and its effect on concrete properties. *International Conference on Engineering Materials*, San Jose, USA.
- Rubaud, M., J. Pasquet, F. Bourgeois (2006) Recyclage des matériaux de construction : les nouvelles filières pour préserver l'environnement, *Géosciences* 1: p.48.
- Wirquin, E., R. Hadjieva-Zaharieva, F. Buyle-Bodin (2000) Utilisation de l'absorption d'eau des bétons comme critères de leur durabilité- Application aux bétons de granulats recyclés. *Materials and structures* 33(6): 403.