

---

# Valorisation des déchets de brique rouge dans le béton à haute performance

Derabla Riad<sup>1</sup>, Bourema Moufida<sup>2</sup>...

<sup>1</sup> Département de génie civil, Université de 20 Aout 1955, B.P 26 route d'Elhadaik, Skikda, Algérie,  
[rderabla@gmail.com](mailto:rderabla@gmail.com)

<sup>2</sup> Département de génie civil, Université de Amar Teledji, BP 37 G Route de Ghardaïa, Laghouat, Algérie,  
[toukatoukanana@hotmail.com](mailto:toukatoukanana@hotmail.com)

---

**RÉSUMÉ.** Le recyclage des déchets est devenu aujourd'hui la bonne solution qui peut donner des ressources renouvelables et durables qui contribuent au processus de construction dans le domaine du génie civil de manière à protéger l'environnement. Les déchets de briques rouges (DBR) constituent une alternative intéressante dans ce cas, vu que ces déchets sont disponibles dans les chantiers de construction.

*Pour atteindre ces objectifs, nous avons essayé à travers ce travail d'ordre expérimental de valoriser le DBR et d'exprimer sa rentabilité en l'utilisant comme constituant dans le béton à haute performance. L'incorporation de DBR a été effectuée par la substitution du ciment en trois teneurs : 10%, 15% et 20%. La procédure expérimentale mise en place vise à déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques du BHP à base du DBR et de les comparer avec celles du BHP de référence préparé sans DBR. Les caractéristiques étudiées sont : densité à l'état frais et à l'état durci, affaissement, vitesse de propagation d'ultrasons et résistances à la compression et à la traction par flexion à l'âge de 3 et 28 jours.*

Les résultats obtenus montrent que la substitution du ciment par une teneur de 10% de DBR est avantageuse tant à l'état frais qu'à l'état durci.....

**ABSTRACT.** The recycling of wastes has become today the good solution which can give new renewable and durable resources which contribute in the process of the building in the field of civil engineering and so to protect the environment. The waste of red bricks (WRB) constitutes an interesting alternative in this case seen that this waste is available and is left in construction sites.

*To reach these objectives, we trial with this experimental work to valorize the WRB by using them as constituent in the high performance concrete. The incorporation of WRB has been made by the substitution of the cement with three contents 10 %, 15 % and 20 %. The Experimental procedure set up aims to determine the both physical and mechanical characteristics of HPC made with WRB and of to compared them with those of reference HPC made without WRB to express the profitability of this type of waste. The studied characteristics are: density in the both fresh state and hardened states, slump, ultrasonic pulse velocity and the both compressive and tensile bending strengths at the age of 3 and 28 days.*

*The results of this study show that the substitution of the cement by the content of 10% of WRB is advantageous in the both fresh and hardened states.*

**MOTS-CLÉS :** Déchets de briques rouges; béton à haute performance; résistance.

**KEY WORDS:** Waste of red bricks; high performance concrete; strength.

---

## 1. Introduction

En Algérie, suite à des sinistres naturels comme les séismes et les crues ou par vieillissement et dégradation des bâtiments publics, des ponts et des installations industrielles sont démolis mais jamais recyclés. Les ressources naturelles dans certaines régions sont donc épuisées. Les granulats de brique cuite concassés issus de produits de construction et/ou de démolition présentent un intérêt particulier, car leur valorisation permet de contribuer à la résolution du problème de stockage des déchets, à la réduction de la pollution de l'environnement, à la préservation des ressources naturelles, à la réduction du coût de construction et enfin à la résolution du problème d'approvisionnement en sable et graviers. Le manque de connaissances sur les déchets de brique engendre la méfiance des usagers, par conséquent, une meilleure connaissance du comportement des bétons incluant de tels granulats pourrait contribuer au développement de l'industrie de recyclage et à la valorisation des déchets de construction et de démolition en Algérie [KEN 02]. La brique est largement connue comme un additif pouzzolanique pour les matériaux de construction composites [THE 16]. Peu de tentatives de valorisation dans ce domaine ont été entreprises à El-ASNAM (CHLEF actuellement) suite au tremblement de terre de 1980 en collaboration avec le Centre Scientifique et Technique de Construction (C.S.T.C) Belge [PAW 82]. Aux alentours de Touggourt, la valorisation des DBR qui sont en abondance a montré une résistance à la compression acceptable et comparable à celle du béton ordinaire avec réduction en poids du béton appréciable. Par ailleurs, pour le même niveau du béton, la résistance à la traction des bétons à base de déchets de brique dépasse celle du béton normal. Cependant, ils ont une porosité et une absorption capillaire assez importantes que le béton ordinaire malgré la défaillance mécanique de ces granulats [BAR 06].

L'utilisation de fines d'argile rouge écrasé par [VIE 16] leur a permis de conclure que le DBR fournit de meilleures performances en termes d'absorption d'eau par capillarité et de pénétration des ions de chlorure, contrairement au rétrécissement, l'absorption d'eau par immersion et la pénétration de la carbonatation. D'après les chercheurs [NAI 15], l'addition de 40% de DBR améliore la résistance à 7 et 28 jours des pâtes mélangées alcalins activés par du laitier et des mortiers. Une autre recherche menée par [FAT 12] montre que les effets de DBR sont associés à la fissuration, à la perte des propriétés mécaniques et à la dégradation de la chimie du gel silice alcalin. Les propriétés à haute température des blocs de béton de mur de séparation préparés avec les agrégats de DBR recyclés et de démolition des constructions ont été étudiées par [ZHA 13]. Ces auteurs ont prouvé que ce matériau conduit à de meilleures performances en termes de durabilité et de sécurité incendie.

Ce travail d'ordre expérimental est une tentative pour la valorisation des DBR par leur utilisation comme constituant dans le béton à haute performance (BHP). L'incorporation de ce déchet était par la substitution du ciment en trois teneurs 10%, 15% et 20%.

## 2. Matériaux et expérimentation

Le BHP étudié a été formulé à partir des matières premières dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

Trois graviers de la carrière de Ben Brahim ont été et sont de trois fractions différentes 3/8, 8/15 et 15/25 notés respectivement G1, G2 et G3. Un sable 0/4 de la même carrière noté S1 (Tableau 1). L'analyse chimique du sable est présentée sur le Tableau 2. La poudre des briques rouges recyclées a été préparée à l'université Badji Mokhtar (Annaba), à l'aide d'un concasseur et d'un broyeur, La poudre ainsi obtenue présente une surface spécifique Blaine (SSB) de 2750 cm<sup>2</sup>/g et une masse volumique est de 2.56 g/cm<sup>3</sup>. Sa composition chimique donnée au Tableau 3 a été déterminée au laboratoire de la cimenterie de Hadjar Essoud (Azzaba-W. de Skikda).

Le ciment employé est un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42.5 fabriqué par la cimenterie de HADJAR ESSOUD, sa SSB est de 3200 cm<sup>2</sup>/g et sa densité est de 3.1.

Le super plastifiant utilisé est POLYFLOW SR 3600 un haut réducteur d'eau qui peut être utilisé à faible E/C dans les BHP et permet d'avoir un maintien d'ouvrabilité assez long.

**Tableau 1.** *Caractéristiques des granulats*

	S1	G1	G2	G3	
Masse volumique ( $M_v$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Absolue	2.74	2.63	2.70	2.75
	Réelle	2.60	2.59	2.63	2.65
	Saturée	2.65	2.60	2.66	2.69

<b>Absorption (Abs) %</b>	2	0.66	1	1.33
<b>Equivalent de sable (ES) %</b>	65	-	-	-
<b>Module de finesse (M<sub>F</sub>)</b>	2.84	-	-	-
<b>Friabilité de sable (FS)</b>	40	-	-	-
<b>Micro-Deval (MDE)</b>	-	-	16.4	-
<b>Los-Angeles (LA) %</b>	-	-	23.16	-
<b>Aplatissement (AP)</b>	-	-	1.45	5

**Tableau 2.** Composition chimique du sable 0/4 (%)

<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>M<sub>B</sub></b>	<b>SO<sub>3</sub></b>
traces	82.40	0.24	0.90	traces

**Tableau 3.** Composition chimique du DBR (%)

<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>MgO</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>PAF</b>
<b>60.55</b>	12.30	5.65	9.11	0.068	2.17	1.65	1.55	0.72	0.0

### 3. Formulation du béton

La méthode utilisée pour la formulation du BHP est la méthode de Dreux-Gorisse. Les facteurs de base sont : béton ferme (Aff = 4cm), D<sub>max</sub> = 25mm, granulats concassés, vibration puissante, et résistance du ciment 42.5 MPa. Pour étudier l'effet du dosage du DBR, quatre mélanges ont été confectionnés : BHP (R), BHP10, BHP15 et BHP20. Pour étudier l'effet du SP un BHP20-SP2 a été préparé.

Le tableau 4 présente les résultats de la formulation et donne les différents dosages des constituants en pourcentages par rapport à 1 m<sup>3</sup>.

### 4. Discussion des résultats

Les résultats obtenus à partir des essais réalisés sur les BHPs étudiés sont résumés dans le Tableau 5.

**Tableau 4.** Composition des différents BHPs

	<b>E</b> <b>(kg)</b>	<b>C</b> <b>(Kg)</b>	<b>DBR</b> <b>(Kg)</b>	<b>SP</b> <b>(%)</b>	<b>S1</b> <b>(%)</b>	<b>G1</b> <b>(%)</b>	<b>G2</b> <b>(%)</b>	<b>G3</b> <b>(%)</b>	<b>E/C</b>	<b>E/L</b>
<b>BHP (R)</b>	134	420	0	1	42	7	21	30	0.32	0.32
<b>BHP10</b>	134	378	42	1	42	7	21	30	0.35	0.32
<b>BHP15</b>	134	357	63	1	42	7	21	30	0.37	0.32
<b>BHP20</b>	134	336	84	1	42	7	21	30	0.39	0.32
<b>BHP20-SP2</b>	134	336	84	2	42	7	21	30	0.39	0.32

#### 4.1. Etat frais

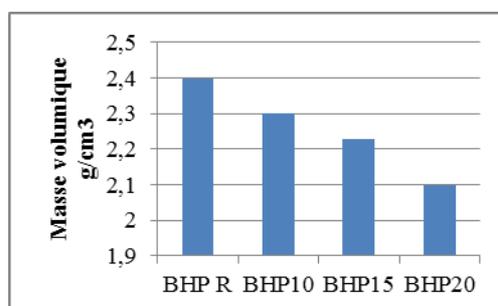
L'affaissement des BHP10, BHP15, et BHP20 est supérieur à celui du BHP (R). L'augmentation du taux de substitution du ciment par du DBR a provoqué une diminution de l'affaissement. L'augmentation du dosage du SP a pu améliorer l'affaissement du BHP20 et il est même supérieur à celui du BHP(R). L'adjuvant super plastifiant joue un rôle important dans le béton frais car il augmente sa maniabilité.

Concernant la masse volumique, plus le taux de substitution du ciment par du DBR augmente plus la masse volumique diminue par rapport au BHP(R) (Figure 1). L'augmentation du dosage du super plastifiant a augmenté la masse volumique du BHP20 de l'ordre de 7% par rapport au BHP(R) (Figure 2).

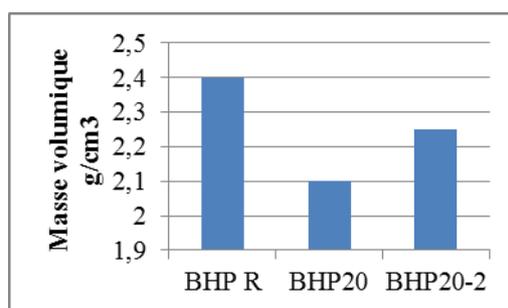
**Tableau 5.** Résultats des essais réalisés sur BHP

<b>Désignation du béton</b>	<b>BHP (R)</b>	<b>BHP 10</b>	<b>BHP 15</b>	<b>BHP 20</b>	<b>BHP 20-2</b>
<b>Affaissement (cm)</b>	4.0	3.7	3.5	3.0	7.3

<b>Masse volumique (Etat frais)</b> (g/cm <sup>3</sup> )		2.40	2.30	2.23	2.10	2.25
<b>Masse volumique (Etat durci)</b> (g/cm <sup>3</sup> )	<b>3 jrs</b>	1.90	1.89	1.87	1.86	1.89
	<b>28 jrs</b>	1.83	1.82	1.81	1.79	1.82
<b>Résistance à la Compression (MPa)</b>	<b>3 jrs</b>	29.50	26.40	24.80	20.90	25.23
	<b>28 jrs</b>	59.03	52.82	50.09	42.15	50.48
<b>Résistance à la Traction (MPa)</b>	<b>3 jrs</b>	6.55	5.55	4.43	3.61	7.13
	<b>28 jrs</b>	7.30	7.04	6.48	6.37	9.38
<b>Vitesse de propagation (m/s)</b>	<b>3 jrs</b>	3825	4191	4173	4166	4216
	<b>28 jrs</b>	4740	4487	4447	4430	4450



**Figure 1.** Masses volumiques des BHPs



**Figure 2.** Effet du dosage du SP sur la masse volumique du BHP

## 4.2. Etat durci

### 4.2.1. Résistance à la compression

Les bétons BHP10, BHP15, et BHP20 sont moins résistants que le BHP(R) à 3 j, leurs résistances sont respectivement de l'ordre de 11%, 16%, et 29% par rapport à la résistance du BHP(R). La même constatation est notée pour l'âge de 28 j. La résistance à la compression a diminué car la poudre de brique présente une faible densité apparente et une absorption d'eau plus élevée due à la porosité plus élevée. [BAR 06]

D'un autre côté, le dosage de 2% de SP a pu augmenter la résistance du BHP20 de l'ordre de 17%, mais elle reste toujours inférieure de 14% à celle du BHP(R). Elle est de l'ordre de 14% par rapport à celle du BHP(R) à 3 jrs. Une même constatation à l'âge de 28 j peut être retenue. Ainsi, le dosage du SP de 2% a pu diminuer la porosité du béton, ce qui a conduit à une augmentation de la résistance mais elle n'atteint pas celle du BHP(R).

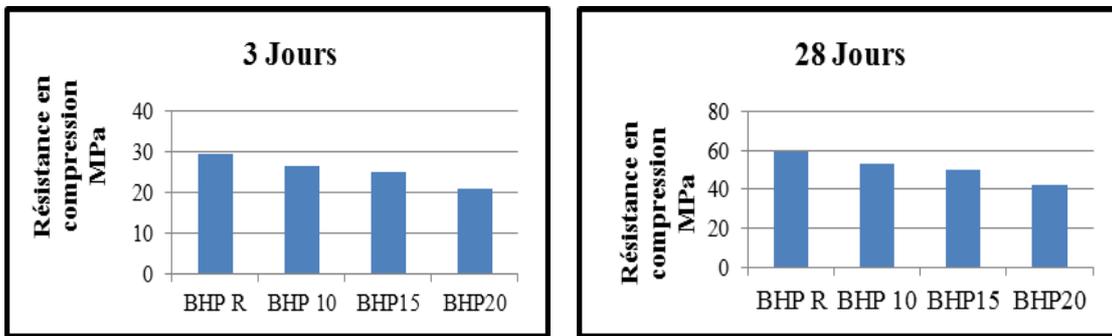


Figure 3. Résistance à la compression (MPa)

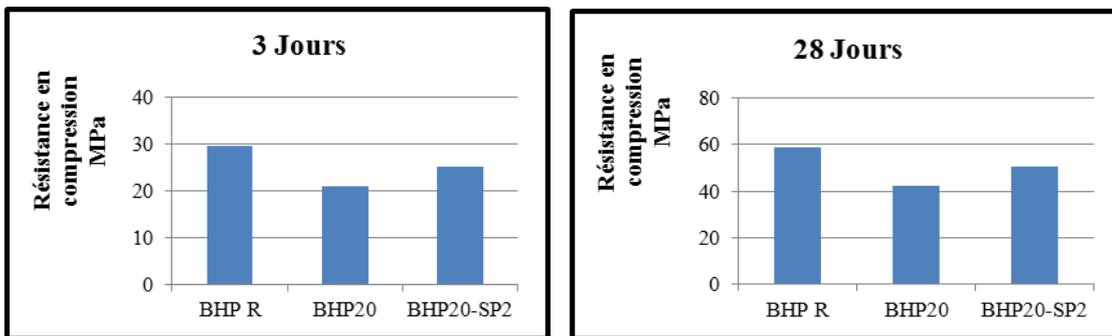


Figure 4. Résistance à la compression du BHP20(MPa)

#### 4.2.2. Résistance à la traction par flexion

Les résistances à la traction par flexion du BHP10, BHP15 et BHP20 sont respectivement de l'ordre de 32%,15% et 45% par rapport à la résistance du BHP(R) à 3 j. La même constatation est notée à l'âge 28 j, où les résistances diminuent au fur et à mesure de la teneur du DBR. Ces résistances sont de l'ordre de 4%,11% et 13% par rapport à la résistance du BHP(R). La valeur optimale de la résistance en traction est obtenue par le BHP10 et la valeur minimale est obtenue par le BHP20. La résistance en traction diminue à cause d'une faible liaison entre la poudre de brique broyée et la pâte de ciment, qui pourrait donc influencer les performances de résistance à la flexion.

Le dosage de 2% du SP a permis d'augmenter la résistance à la traction à l'âge de 3 j de l'ordre de 8% et 49% par rapport au BHP (R) et BHP20 respectivement. La même chose à l'âge du 28 j où on a une augmentation de 22% et 32% par rapport au BHP(R) et BHP20 respectivement. Le dosage de 2% a un effet positif à travers la réduction de la quantité d'eau et ainsi son rôle dans la défloculation des grains de ciment, et par conséquent, la résistance à la traction par flexion a été améliorée.

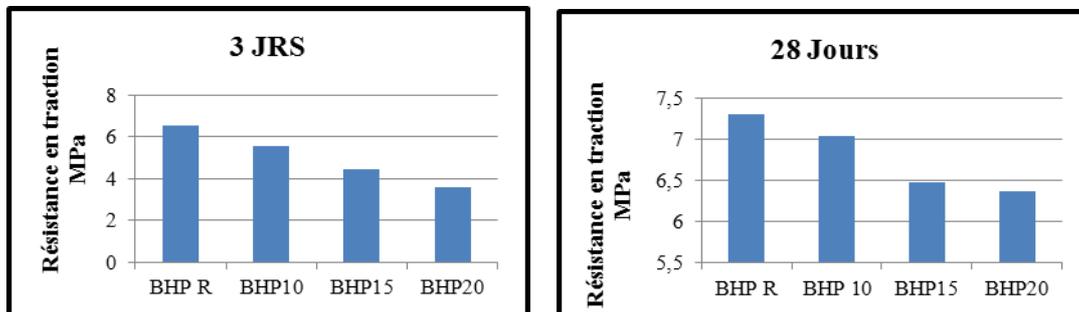
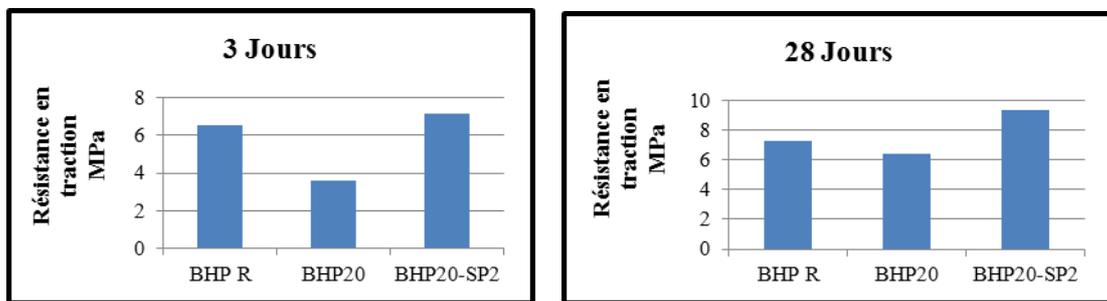


Figure 5. Résistance en traction par flexion (MPa)



**Figure 6.** Résistance en traction par flexion du BHP20(MPa)

#### 4.2.2. Auscultation dynamique(Ultrason)

L'essai d'auscultation dynamique réalisé à l'âge de 3 j montre que la vitesse de propagation du son du BHP10, du (BHP15 et du BHP20) sont supérieures à celle du BHP(R) et sont de l'ordre de 10% et 9% respectivement. A l'âge de 28 j, BHP10, BHP15, et BHP20 présentent des vitesses inférieures à celle du BHP(R). Plus le béton est compact, plus la propagation de d'ultrason est grande et plus la résistance est élevée. Lorsque la vitesse des ondes de propagation des ultrasons est supérieure à 4000 m/s la qualité du béton est bonne, lors de la vitesse des ondes inférieure à 3km/s, le béton est de mauvaise qualité.

L'augmentation du dosage du SP a permis d'augmenter la vitesse de propagation à 3 j du BHP20 et du BHP(R) de l'ordre de 1% et 9% respectivement. La vitesse de propagation du BHP20-SP2 est inférieure par rapport au BHP(R) à 28 jrs de l'ordre de 7%.

## 5. Conclusion

A l'issue de cette étude, les conclusions suivantes peuvent être retenues :

L'influence du déchet de brique finement broyé est négative sur la masse volumique et l'affaissement au cône d'Abrams du BHP à l'état frais.

Le super plastifiant joue un rôle important dans le béton frais, il peut améliorer la maniabilité, et par suite facilite la mise en œuvre et permet d'acquérir une bonne résistance mécanique du BHP.

La méthode de l'estimation de la résistance à la compression du BHP par l'essai non destructif d'auscultation dynamique semble fiable pour notre cas du BHP à base de déchet de brique.

L'augmentation du taux de substitution a mené à une diminution des résistances à la compression et à la traction par flexion du BHP. Pour cela, il est indispensable d'effectuer une étude qui porte sur la recherche du dosage optimal de l'incorporation de DBR pour acquérir plus de performances de BHP.

## 6. Références

[BAR 06] BARKAT, Abderezzak. *Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton*, Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah de Ouargla 2006.

[FAT 12] Fatih Bektas, Kejin Wang, *Performance of ground clay brick in ASR-affected concrete: Effects on expansion, mechanical properties and ASR gel chemistry*, *Cement and Concrete Composites*, Volume 34, Issue 2, February 2012, Pages 273-278.

[KEN 02] Kenai S, Debieb F, Azzouz L (2002) *Mechanical properties and durability of concrete made with coarse and fine recycled aggregates*. In: *Sustainable concrete construction*, Proceedings of an international conférence, Dundee, Sept. 2002. Thomas Telford, London, pp 383–392.

[NAI 15] Nailia R. Rakhimova, Ravil Z. Rakhimov, *Alkali-activated cements and mortars based on blast furnace slag and red clay brick waste*, *Materials & Design*, Volume 85, 15 November 2015, Pages 324-331.

[PAW 82] De Pauw C (1982) *Recyclage des décombres d'une ville sinistrée*. CSTC 4:12–28

[THE 16] M. Theodoridou, E. Charalambous, P. Maravelaki-Kalaitzaki, I. Ioannou , *Amelioration of crushed brick - lime composites using nano-additives*, *Cement and Concrete Composites*, Volume 68, April 2016, Pages 77-87.

[VIE 16] T. Vieira, A. Alves, J. de Brito, J.R. Correia, R.V. Silva, *Durability related performance of concrete containing fine recycled aggregates from crushed bricks and sanitary ware*, *Materials & Design*, Volume 90, 15 January 2016, Pages 767-776.

[ZHA 13] Zhao Xiao, Tung-Chai Ling, Chi-Sun Poon, Shi-Cong Kou, Qingyuan Wang, Runqiu Huang ,*Properties of partition wall blocks prepared with high percentages of recycled clay brick after exposure to elevated temperatures*,*Construction and Building Materials*, Volume 49, December 2013, Pages 56-61.