

---

# Formulation et propriétés des bétons de sable renforcé de fibres de polypropylène

Fatma Zohra MELAIS<sup>1\*</sup> , Djamel ACHOURA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Génie Civil, Université d'Annaba, BP 12, 23000 Annaba, Algérie

\*[melaisz@yahoo.fr](mailto:melaisz@yahoo.fr)

---

**RESUME :** La formulation d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants dont on dispose afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la réalisation d'un ouvrage résistant avec une durabilité accrue. L'étude expérimentale décrite l'influence de la nature de trois sables sur les propriétés physiques et mécaniques des bétons de sable formulées à la base de la théorie de compacité optimale et renforcé de fibres de polypropylène. Les résultats obtenus à partir de cette recherche montrent que la nature des sables influence considérablement les caractéristiques des bétons à l'état frais et durci. La maniabilité et la masse volumique varient selon la porosité, la densité, la granulométrie et l'état de surface des sables utilisés. Ces caractéristiques ne sont pas affectées considérablement par l'ajout et l'augmentation du taux de fibres. Les meilleures résistances mécaniques sont obtenues avec le mélange de deux sables (sable de dune et de sable de carrière). L'analyse de la microstructure montre que la matrice cimentaire est très dense pour la plupart des bétons testés par contre l'adhésion matrice cimentaire-granulats varie selon la nature et la texture des granulats.

**ABSTRACT:** The formulation of a concrete is to define the optimal mix of different components that are available to achieve a concrete whose qualities are those sought for the building of a structure with strong durability. The experimental study described the influence of the nature of three oil on the physical and mechanical properties of concrete made of sand at the base of the theory of optimum compactness and fiber reinforced polypropylene. The results from this research show that the nature of oil significantly influences the characteristics of fresh concrete and hardened. Workability and the density vary depending on porosity, density, particle size and surface condition of the sand used. These characteristics are not affected significantly by the addition and the increase of fiber. The best mechanical strengths are obtained with the mixture of two sands (dune sand and quarry sand). The microstructure analysis shows that the cement matrix is very dense for most concretes tested against the cement matrix-aggregate adhesion varies depending on the nature and texture of aggregates.

**Mots clés :** Béton de sable –nature de sable - fibre de polypropylène – formulation – maniabilité – microstructure.

**Keywords:** sandcrete -Sand nature - polypropylene fiber - formulation - Workability - microstructure.

---

## 1. Introduction :

Dans les régions riches en sable et pauvres en matériaux pierreux, notamment les régions sahariennes ; les constructions en béton armé deviennent un peu coûteuses, ou il y a un manque des granulats grossiers qui est très coûteux. Les bétons de sable sont une nouvelle gamme de matériaux de construction qui peuvent présenter une bonne alternative pour remplacer les bétons classiques dans la confection de certains éléments de construction. Les bétons de sable sont composés essentiellement de mélange en proportions convenables de sable (un ou plusieurs), de fines d'ajout, de ciment et d'eau. D'autres additions peuvent être incorporées : adjuvants, fibres, gravillons ... etc. (Achoura 2005 et Sablocrete 1996)

Les performances mécaniques restent parmi les critères les plus utilisés pour le jugement de la qualité de ces bétons et pour leurs classifications. Plusieurs recherches ont été réalisées afin de réduire au maximum les inconvénients du béton de sable et d'améliorer les performances mécaniques par : la correction de l'étendu granulaire, le type et le dosage en fines d'ajout, addition des adjuvants, addition des fibres ... etc. (Ben Amara, 2002 et Achoura D., Redjel B, 1999)

Lorsque les charges appliquées au béton s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent, parfois rapidement. Les fibres noyées dans le béton permettent d'arrêter le développement de la fissuration. (Beaudoin, 1982)

Plusieurs études montrent l'influence des fibres de polypropylène sur le comportement mécanique des bétons et surtout l'amélioration de la ductilité et la résistance à la flexion. En plus une réduction du retrait de séchage a été constaté (Denis 2002 et Benaïssa 1992)

L'objectif attendu de cette recherche est d'effectuer une étude de caractérisation et du comportement mécanique des bétons de sable, cette recherche est basée l'étude de l'influence de la nature de trois types de sables et l'ajout de fibre de polypropylène sur le comportement physico-mécanique des bétons de sable.

## 2. Matériaux et procédure expérimentale

### 2.1. Matériaux

#### 2.1.1. Les sables

Trois types de sable sont utilisés dans cette étude : sable fin siliceux de la région d'Annaba, sable grossier de carrière de la région de Souk Ahras et sable moyen de laitier granulé qui présente un sous-produit de l'industrie sidérurgique **d'El-Hadjar (Annaba)**. Les caractéristiques physiques des sables d'étude sont représentées dans le tableau 1 et la composition granulométrique est représentée par figure 1.

Tableau 1 : Les caractéristiques des sables

Caractéristiques	unité	Sable de dune	Sable de carrière	Sable de laitier
Le module de finesse	-	1.45	3.90	2.93
La masse volumique apparente	g/cm <sup>3</sup>	1.416	1.453	0.813
La masse volumique absolue	g/cm <sup>3</sup>	2.65	2.24	2.12
La porosité	%	46.57	35.13	59.5
la propreté (ES)	%	96	95	87

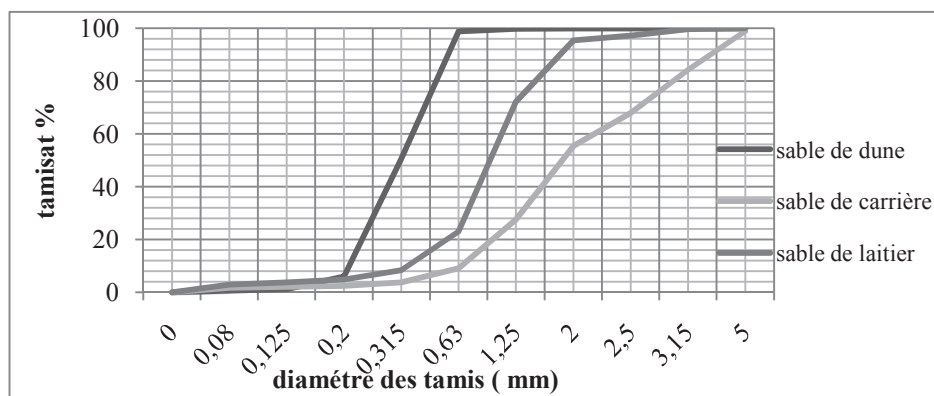


Figure 1. Courbes granulométriques des sables d'étude

### 2.1.2. Le ciment et fines d'ajout

Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEMII42,5 d'origine de Hdjar-soud (Algérie) avec ajout de laitier granulé. Les fines d'ajouts utilisés sont des fillers de laitier granulé obtenus par broyage au laboratoire du sous-produit de l'industrie sidérurgique de haut fourneau d'El-Hadjar. La composition chimique et les caractéristiques physiques sont représentées sur les tableaux 2 et 4.

Tableau 2 : Composition chimique du ciment et des fines d'ajout

matériaux	Principaux constituants chimiques (%)							total
	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	P.A.F	
Ciment	58.59	6.58	24.92	3.65	1.21	2.17	1.70	99.41
laitier	39,2	8,98	38,9	0,85	9,59	0,07	1.86	99.45

Tableau 3 : Caractéristiques physiques du ciment et du laitier

Caractéristiques	unités	ciment	Laitier granulé
Masse volumique apparente	g/cm <sup>3</sup>	1.057	2.91
Masse volumique absolue	g/cm <sup>3</sup>	3.20	
Consistance normale	%	29	-
Début de prise	H /min	2/ 34	-
Finesse de mouture	%	9.6	10.6
Surface spécifique de Blaine	cm <sup>2</sup> /g	3480	2822
Résistance à la traction à 28jours	MPa	7	-
Résistance à la compression à 28jours	MPa	39	-

### 2.1.3. Les fibres

Les fibres utilisées sont des fibres de polypropylène commercialisées par la société algérienne « GRANITEX », de longueur de 12mm, de densité égale 0.9g/cm<sup>3</sup>, d'un point de fusion d'environ 150°, de module de Young de 3KN/mm et d'une Section égale 30 microns.

### 2.1.4. Les adjuvants

L'adjuvant utilisé est superplastifiant hautement réducteur d'eau fabriqué par la société Algérienne Granitex commercialisé sous l'appellation 'MEDAPLAST SP 40', de forme liquide ; de couleur marron ; d'un PH égale 8,2, de densité 1,20 ± 0,01 et d'une Teneur en chlore < 1g/L.

## 2.2. Procédure expérimentale

La caractérisation mécanique est obtenue en exploitant les mesures de résistance flexion et en compression sur des éprouvettes 4x4x16 cm<sup>3</sup> conformes à la norme NF 15 403 et NF EN196.

La préparation des éprouvettes est réalisée selon la norme NF P 18-400. Le malaxage est réalisé à l'aide d'une bétonnière dont la durée de malaxage totale est de 3 minutes. La vibration a été réalisée sur une table vibrante à amplitude de vibration réglable. La durée de vibration est 30 + 30 secondes. Après 24 heures de conservation en salle humide, les éprouvettes sont conservées en humidité saturante (température ambiante, Humidité=100%).

3. **Formulation des bétons de sable d'études** : l'approche théorique de SABLOCRETE ajustée expérimentalement est utilisée pour la formulation des mélanges de bétons de sable cette de recherche. Le tableau 4 rassemble la composition de ces mélanges.

**Tableau4. Composition des bétons de sables d'étude**

Bétons de sable	dosages en constituants (Kg/m <sup>3</sup> )								
	Ciment	Eau	Sable de dune	Sable de carrière	Sable de laitiers	Filler	SP	E/C	E/(C+F)
<b>BS 1</b>	398	206	1489.3	-	-	163	11.22	0.52	0.38
<b>BS 2</b>	398	206	-	1258.88	-	163	11.22	0.52	0.38
<b>BS 3</b>	398	206	-	-	1191.44	163	11.22	0.52	0.38
<b>BS 4</b>	398	206	744.65	627.44	-	163	11.22	0.52	0.38

**BS 1** : béton de sable avec 100% sable de dune.

**BS 2** : béton de sable avec 100% sable de carrière.

**BS 3** : béton de sable avec 100% sable de laitier.

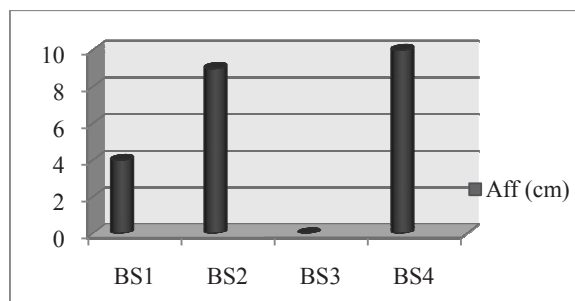
**BS 4** : béton de sable avec 50% sable de dune et 50% sable de carrière.

#### 4. Analyse des résultats

##### 4.1. L'influence de la nature des sables sur les caractéristiques des bétons à l'état frais

###### 4.1.1. L'influence de la nature des sables sur l'ouvrabilité et la compacité du béton frais

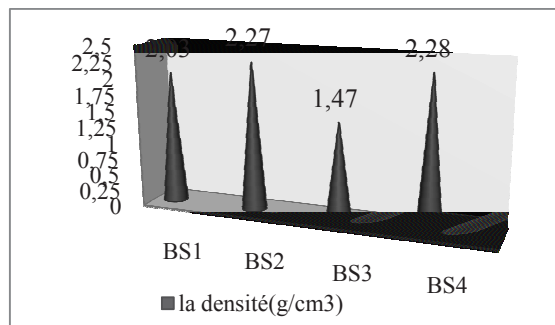
L'ouvrabilité du béton est déterminée à l'aide de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams de dimensions (D=20 ; d=10 ; h=30 cm) selon la norme NF P 18 - 451. Et la compacité est estimée à partir de la détermination de la masse volumique des mélanges de béton frais. Pour un dosage constant en eau et en ciment, la figure 2 montre clairement que la nature des sables influence considérablement la maniabilité des bétons testés.



**Figure 2.** Variation de la maniabilité des bétons selon la nature des sables

Avec un affaissement de l'ordre de 0.5 (très ferme), le BS3 est le moins maniable et cela est dû à la grande porosité du sable e laitier. Le BS1 avec un sable fin présente est une maniabilité par contre le BS2 avec sable ce carrière et le BS4 avec un mélange de deux sables donnent des bétons très plastiques. D'une manière générale on peut attribuer la variation de la maniabilité en fonction de la nature des sables à l'état de surface lisse ou rugueuse, à la porosité ouverte, la granulométrie et dimension maximale des sables.

La figure 3 montre l'effet de la nature des sables sur compacité caractérisée par la variation de la densité des bétons frais.



**Figure 3.** Variation de la densité des bétons selon la nature des sables

Nous pouvons constater d'après les résultats la densité la plus faible est celle de BS3 (béton de sable avec sable de laitier granulé) ; Cela est dû à la faible densité intrinsèque du laitier. Donc le BS3 est classé comme béton léger.

Le BS1 (béton de sable avec sable de dune) a une densité moyenne qui est plus faible que les deux autres bétons. Par contre les BS2 et BS4 (avec sable de carrière et avec un mélange de deux sable) présentent les meilleures densités cela est due à leurs densités élevées et leurs bonne granulométrie.

#### 4.2. L'influence de l'ajout de la fibre sur les propriétés des bétons frais

Le mélange de deux types de sable (sable de dune, sable de carrière) donne un béton de sable avec les meilleures caractéristiques à l'état frais. Ce dernier est choisi pour l'étude de l'influence de l'ajout de fibre sur le comportement physico mécanique des bétons de sable.

La composition du béton de sable avec (50% sable de dune/50% sable de carrière) et 2% du superplastifiant et un taux de fibrage de 600 g/m<sup>3</sup>. La figure 4 illustre l'effet de l'addition des fibres de polypropylène sur les caractéristiques des bétons frais.

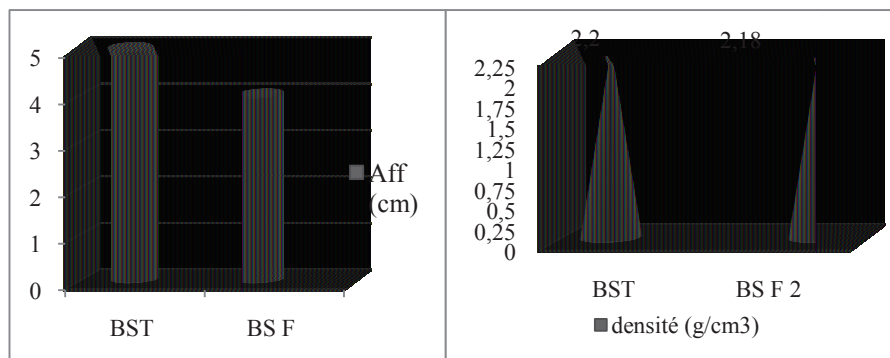


Figure 4. L'influence de l'ajout de la fibre sur les propriétés des bétons frais

L'ajout des fibres au béton de sable présente un effet négligeable sur les caractéristiques des bétons à l'état frais (l'affaissement et la densité).

#### 4.3. Caractéristiques mécanique des bétons de sable d'étude

##### A/effet de la nature des sables

Au niveau des figures 5 et 6 on peut constater que la cinétique d'évolution des résistances mécanique en compression et en traction par flexion se diffère d'un béton à l'autre en fonction de la nature des sables utilisés. Les meilleurs résultats sont obtenus avec les sables de carrière (BS4) et le mélange de sable de carrière et sable de dune (BS2). La résistance les plus faible sont ceux du BS3 obtenues avec le sable de laitier granulé. La différence au niveau des résistances peut s'expliquer par la nature morphologique (texture, porosité et forme des grains de sable), la granulométrie, l'absorption initiale et la liaison granulat pâte de ciment. Ces phénomènes on peut les observer au niveau de la microstructure des bétons de sable d'études (voir la figure 7)

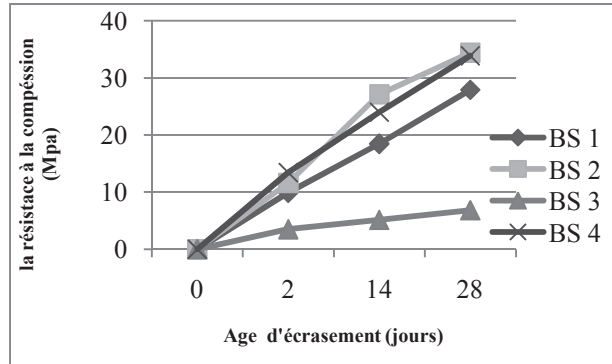


Figure 5. Influence de la nature des sables sur la résistance à la compression

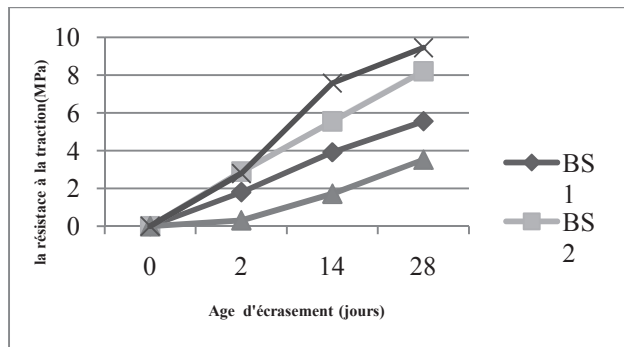
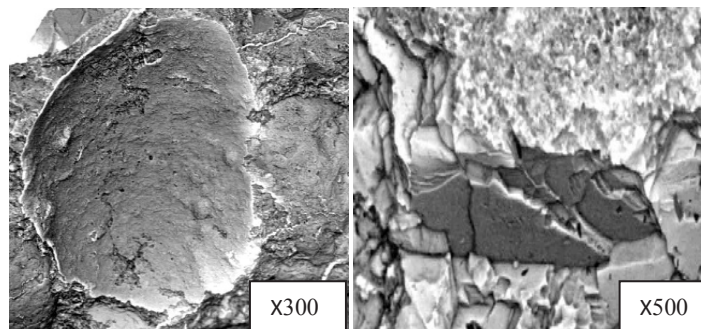


Figure 6. Influence de la nature des sables sur la traction par flexion



7. A/ liaison matrice –sable de dune      7. B/ liaison matrice –sable de carrière

Figure 7. Effets de la nature des sables sur la microstructure



**B/ L'influence de l'ajout de fibres**

Le renforcement des bétons de sable par les fibres de polypropylène a amélioré la ductilité des bétons de sable (voir la figure8) par contre la résistance mécanique est peut affecter par l'addition des fibres. La figure 9 .a montre que les bétons de sable fibré ont le même niveau de résistance au différent âge de durcissement. Pour la résistance de traction par flexion illustrée par la figure 9.B ont peut constater qu'un gain de résistance de 2MPa est obtenu à 28 jours

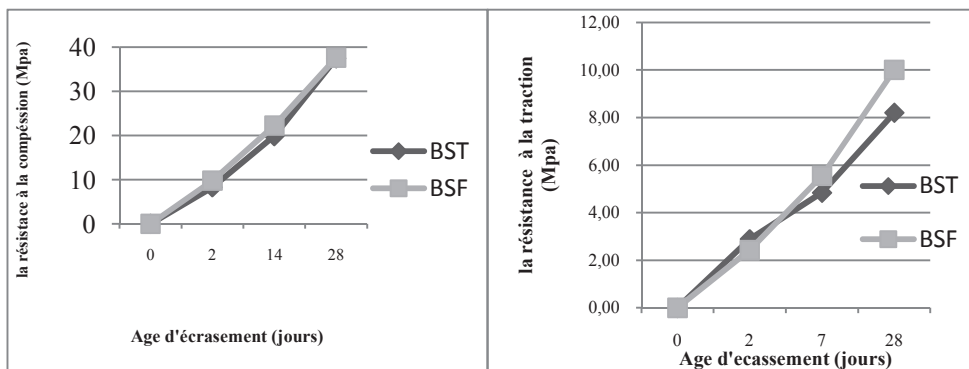


8. A/ béton témoin



8. B/ BSF avec 600 g/m<sup>3</sup>

**Figure 8 :** Amélioration de la ductilité des bétons de sable par l'ajout des fibres



9. A/ résistance en compression

9. B/ résistance en traction

**Figure 9 :** Influence de l'ajout sur la résistance à la compression et la traction par flexion des bétons de sable d'étude

La liaison fibre - matrice de ciment présentée au niveau de la figure 10 peut justifier l'amélioration de la ductilité et la résistance à la traction par flexion.

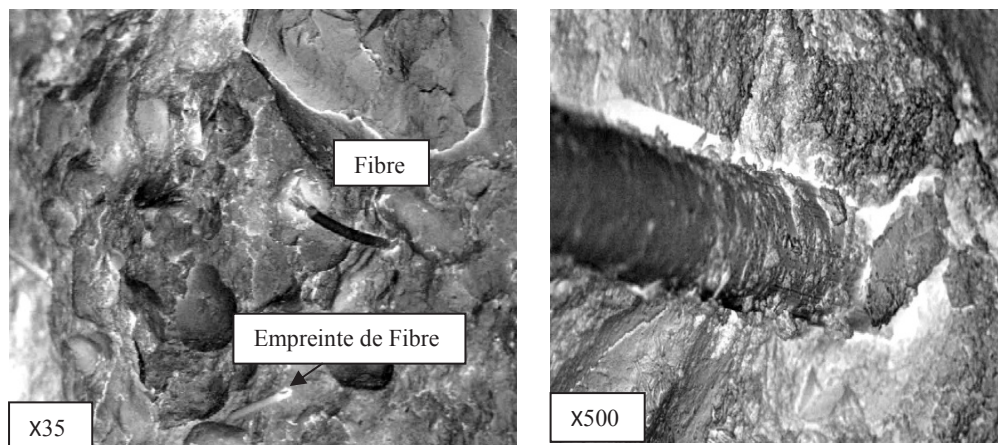


Figure 10. La liaison fibre –matrice

## CONCLUSION

Cette étude a mis en évidence le rôle et l'influence de certains paramètres à savoir: la nature et la granulométrie des sables et l'ajout de fibre sur les caractéristiques des bétons de sable. Par l'analyse des résultats obtenus nous pouvons énoncer :

Les meilleures caractéristiques à l'état frais est donné par Le mélange de deux types de sable (sable de dune, sable de carrière) qui donne un béton de bonne compacité donc la nature des sables influe sur les caractéristiques des bétons à l'état frais par les caractéristiques intrinsèque des sables de composition.

Bien que la relation existante entre la résistance et le rapport E/C soit incontestable, d'autres facteurs peuvent influencer la résistance, parmi eux les propriétés des granulats. La bonne granulométrie du sable de carrière et le mélange de sable de dune et sable de carrière donnent les bétons les plus compacts et les plus résistants mécaniquement.

L'incorporation des fibres dans les bétons de sable est bénéfique pour l'amélioration de la ductilité de ces matériaux. Les résultats obtenus montrent que cette incorporation n'affecte pas les caractéristiques des bétons frais. L'étude montre que les résistances mécaniques sont influencées par la nature des granulats.

Une nouvelle gamme de bétons de sable léger a été définie grâce à l'utilisation du sable de laitier granulé. Ce type de béton de sable dont la densité est de l'ordre de  $1.5 \text{ g/cm}^3$  répond à certaines exigences de la construction en particulier l'isolation thermique et phonique.

L'emploi du laitier de haut fourneau directement dans la fabrication des bétons de sable entant que fillers et sables peut apparaître intéressant de plusieurs points de vue : mise en œuvre, résistance, économie et écologie.

### Références bibliographique

- Achoura. D., Contribution a l'étude de la formulation et de la caractérisation des béton de sable à base de laitiers de hauts fourneaux d'EL-HADJAR , Thèse de doctorat , Université de Annaba, 2005.
- Achoura D., Redjel B., « béton de sable : caractérisation et comportement », *1<sup>er</sup> colloque maghrébin de génie civil, université de Annaba*, pp.17-25, Nov. 1999
- Ben Amara D., Formulation et comportement d'un béton de sable de la région de Biskra renforcé de fibre métallique, Thèse de magister de génie civil, Université de Annaba, 2002.
- BENAISSA A., déformation différée du béton de sable, Thèse de doctorat de génie civil, Université de bordeaux, 104p, 22octobre 1992.
- Beaudoin JJ., Béton renforcé de fibres, juillet 1982
- DENIS A, ATTAR A, BREYSSE D, effect of coarse aggregate on the workability of sandcrete , cement and concrete reseache vol 32, pp701-706, 2002.
- Dreux G & Festa J, «nouveau guide du béton et de ces constituants», édition Eyrolles, paris, 409p
- SABLOCRETE, « béton de sable : caractéristiques et pratiques d'utilisation » *presses de l'école nationale des ponts et chaussées (France)* 230pp, 1994.