

## **ETUDE D'UN MILIEU AGRESSIF ACIDE SUR UN MORTIER A BASE DE CIMENT COMPOSE**

*Boucif Belhachemi<sup>1</sup> et Nasr Eddine Hassaine<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen, BP 119, 13000 Tlemcen Algérie  
Email : [boubelha@live.fr](mailto:boubelha@live.fr) Fax : 043286308

<sup>2</sup> Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen, BP 230 Chétouane,  
Tlemcen Algérie

### **Resume**

*Le ciment, produit stratégique et incontournable pour le développement de tout pays, est un liant de première importance. A cet effet, ses caractéristiques intrinsèques et les conséquences des milieux environnants sur ces dernières doivent être bien connues.*

*Pour ce faire, notre article traite de l'étude de l'influence des solutions acides à différentes concentrations en acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) sur la dégradation des éprouvettes sans et après une cure de 28 jours dans l'eau. Le mortier étudié est constitué d'un ciment composé d'ajouts (10 % de pouzzolane + 2 % de calcaire), de sable roulé de classe 0/2, et d'une quantité d'eau dont le rapport eau/ciment (E/C) est fixé à 0,6.*

*Des essais de mesure de poids ainsi que les résistances à la traction par flexion et à la compression ont été effectués à des différents âges et pour des différents milieux.*

**Mots clés :** ciment composé, ajouts, pouzzolane, milieux agressifs, résistances

### **Abstract**

*Cement, strategic product for the development of any country, is a binder of first importance. To this end, its intrinsic characteristics and the consequences of the surrounding mediums on these last must be well known.*

*With this intention, our article deals with the study of the influence of acid solutions at different concentrations of sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) on the degradation of the test tubes without and after treatment for 28 days in water. Studied Mortar consists of a cement compound additions (10 % pozzolana + 2 % limestone), of rolled sand of class 0/2, and a quantity of water whose ratio water/cement (E/C) is fixed at 0,6.*

*Tests measuring weight as well as the tensile bending and compression were carried out at various ages and for various mediums.*

**Keywords:** composed cement, additions, pozzolana, aggressive mediums, resistances

## 1. INTRODUCTION

Les travaux de construction effectués dans des milieux agressifs posent des problèmes de durabilité dus aux attaques chimiques (Benabed *et al.*, 2005 ; Damene *et al.*, 2005) dont un des agents peut être l'acide (Benosman *et al.*, 2005 ; Bertron, 2004 ; Achoura *et al.*, 2004 ; Carde, 2007 ; 2008).

Dans le but d'augmenter la banque des données, cette étude considère l'attaque acide  $H_2SO_4$  sur un mortier confectionné à partir d'un ciment composé de pouzzolane et de calcaire, et de sable roulé de classe 0/2 avec un rapport eau/ciment (E/C) égal à 0,6.

Nous nous sommes intéressés à la mesure des :

- Variations de masse des échantillons ayant subi de différents séjours d'immersion dans des milieux agressifs de concentrations différentes en  $H_2SO_4$  ;
- Résistances mécaniques du mortier à la traction par flexion et à la compression.

## 2. MATERIAUX ET PROCEDURE EXPERIMENTALE

### 2.1. Matériaux

Les essais d'identification ont été effectués selon les normes nationales (IANOR, 2000) et internationales (Dupain *et al.*, 2000). Les valeurs des caractéristiques des matériaux utilisés sont consignées dans les tableaux suivants :

TABLEAU 1

Masses volumiques et équivalents de sable roulé de classe 0/2

Masse volumique apparente ( $kg/m^3$ )	1402
Masse volumique absolue ( $kg/m^3$ )	2500
Equivalent de sable visuel (%)	91
Equivalent de sable au piston (%)	86

TABLEAU 2

Propriétés physiques du ciment composé

Masse volumique apparente ( $kg/m^3$ )	0,98
Masse volumique absolue ( $kg/m^3$ )	3,07
Consistance (%)	25,30
Prise (min)	217 (Début) 280 (Fin)
Surface spécifique ( $cm^2/g$ )	3598

La détermination de la composition minéralogique d'un ciment ordinaire se fait à l'aide des formules de Bogue dont voici :

$$C3S = 4,071 CaO - 7,6024 SiO_2 - 1,429 Fe_2O_3 - 6,7187 Al_2O_3$$

$$C2S = - 3,071 CaO + 8,6024 SiO_2 + 1,0785 Fe_2O_3 + 5,068 Al_2O_3$$

$$C3A = - 1,692 Fe_2O_3 + 2,650 Al_2O_3$$

$$C4AF = 3,0432 Fe_2O_3$$

Cependant, le ciment utilisé contient, en plus de ses constituants essentiels, de la chaux libre  $CaO_1$  et des impuretés (tableau 3). Ainsi, sa composition minéralogique est calculée en appliquant intégralement les

formules de Bogue avec les corrections suivantes :

$$\text{CaO}_{\text{combinée}} = \text{CaO}_{\text{totale}} - \text{CaO}_1 - 0,7 \text{ SO}_3$$

$$\text{SiO}_2_{\text{totale}} = \text{SiO}_2_{\text{totale}} - \text{RI}$$

**TABLEAU 3**

**Composition chimique du ciment composé par analyse chimique et fluorescence X**

Eléments	Analyse chimique (%)	Fluorescence X (%)
SiO <sub>2</sub>	27,97	25,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,43	5,64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,05	3,06
CaO	56,37	58,01
MgO	0,71	0,72
PF (Perte au Feu)	3,11	-
SO <sub>3</sub>	-	1,73
K <sub>2</sub> O	0,43	0,51
Na <sub>2</sub> O	0,30	0,71
CaO <sub>1</sub>	0,75	-
RI (Résidus Insolubles)	9,11	-

**TABLEAU 4**

**Composition minéralogique du ciment composé**

Constituants	C3S	C2S	C3A	C4AF
%	59,98	2,15	9,87	9,31

## 2.2. Procédure expérimentale

Les échantillons d'essais sont des éprouvettes prismatiques (4×4×16 cm<sup>3</sup>). Après démoulage, ces éprouvettes sont divisées en deux séries :

**Première série :** Celles qui sont immergées dans des solutions de concentrations différentes (2 ; 4 ; 6 ; 10 et 20 % en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pour des séjours 2 ; 7 et 28 jours ;

**Deuxième série :** Celles qui subissent une cure de 28 jours dans l'eau avant leur immersion dans les solutions précitées jusqu'au jour de l'essai (2 ; 7 et 28 jours).

Le jour de l'essai, les parties attaquées des éprouvettes sont nettoyées avec de l'eau puis on les laisse sécher. Après une demi-heure, on évalue :

– La résistance à l'attaque chimique selon la variation de masse par :

$$\Delta M (\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

Où M<sub>1</sub> et M<sub>2</sub> étant respectivement les masses avant et après immersion dans le milieu considéré ;

–Les résistances mécaniques à la compression et à la traction par flexion.

A titre comparatif, les mêmes essais ont été effectués sur un échantillon témoin (0 % en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

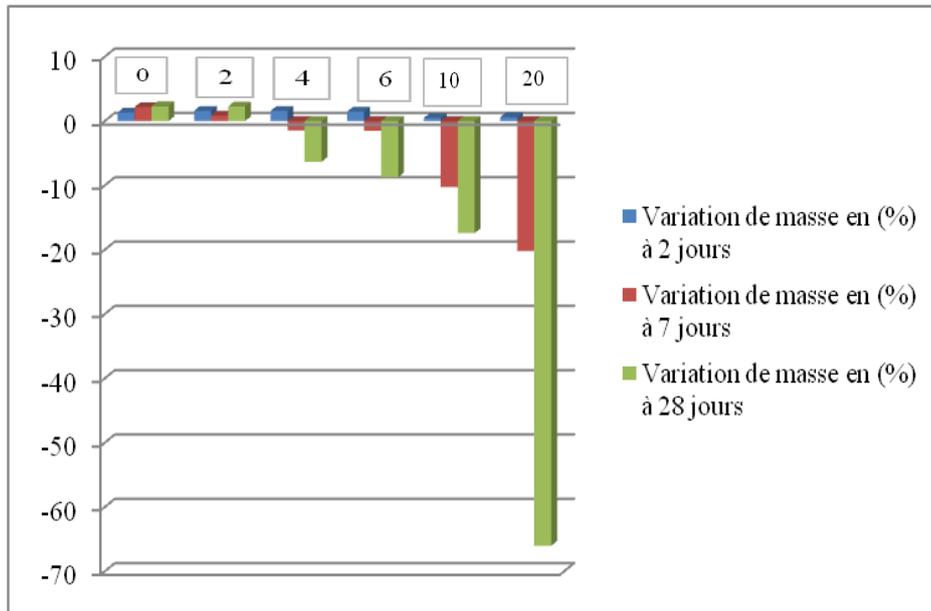
## 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Cette étude expérimentale nous a permis d'obtenir des résultats concernant l'estimation de la durabilité des mortiers à l'attaque chimique dans un milieu agressif

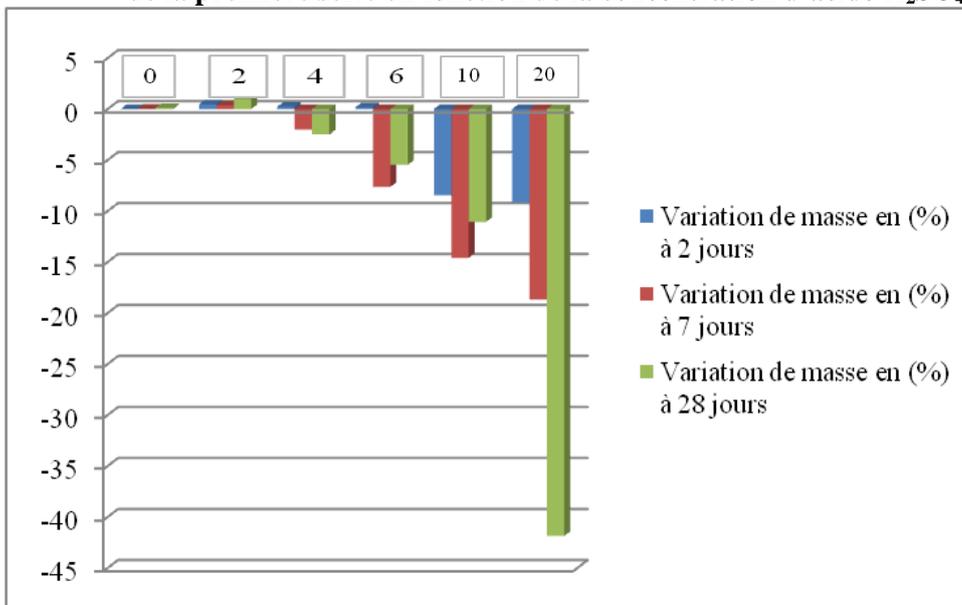
à différents pourcentages d'acide  $H_2SO_4$  et pour des séjours différents d'une part et d'autre part les résistances mécaniques à la compression et à la flexion.

### 3.1. Résistance à l'attaque chimique

Les résultats relatifs à l'attaque chimique des éprouvettes de la première et deuxième séries sont représentés sur les figures 1 et 2 respectivement.



**Figure 1. Variation de la masse à 2 ; 7 et 28 jours des éprouvettes de la première série en fonction de la concentration d'acide  $H_2SO_4$**



**Figure 2. Variation de la masse à 2 ; 7 et 28 jours des éprouvettes de la deuxième série en fonction de la concentration d'acide  $H_2SO_4$**

### 3.2 Résistances mécaniques

Les résistances à la compression et à la flexion à 2 ; 7 et 28 jours réalisées sur

les éprouvettes de la première et deuxième séries sont illustrées sur les figures 3 à 6.

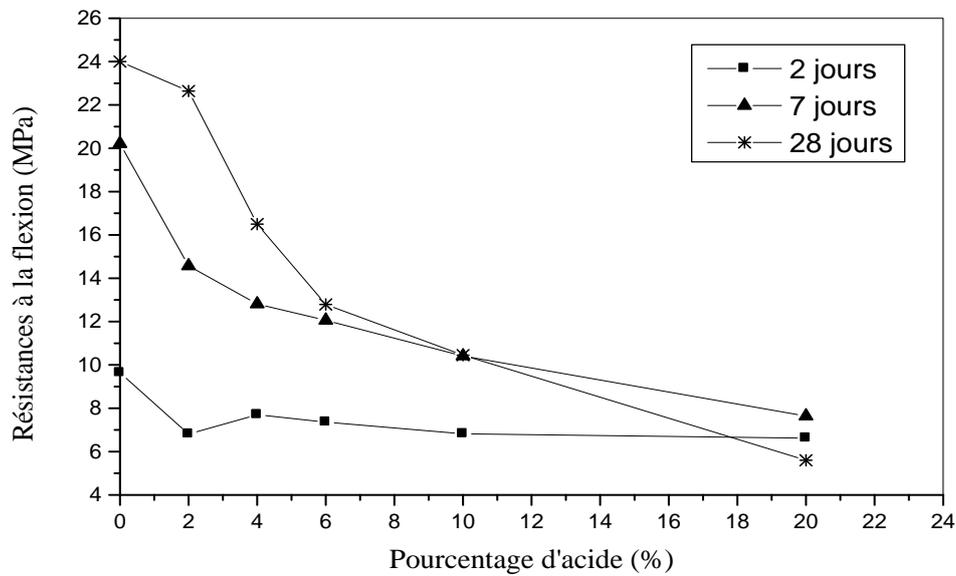


Figure 3. Résistances à la compression à 2 ; 7 et 28 jours des éprouvettes de la première série en fonction de la concentration d'acide  $H_2SO_4$

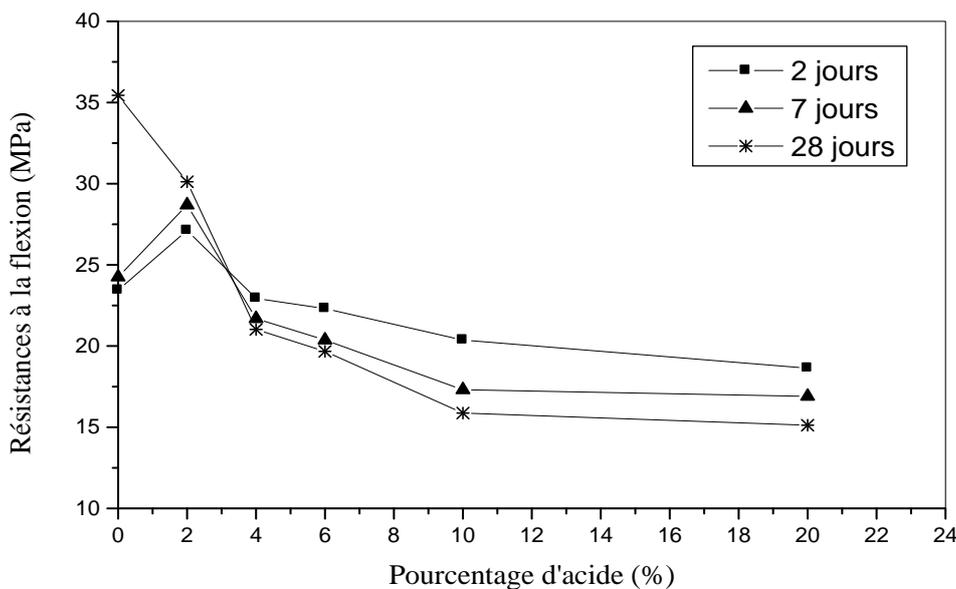


Figure 4. Résistances à la compression à 2; 7 et 28 jours des éprouvettes de la deuxième série en fonction de la concentration d'acide  $H_2SO_4$

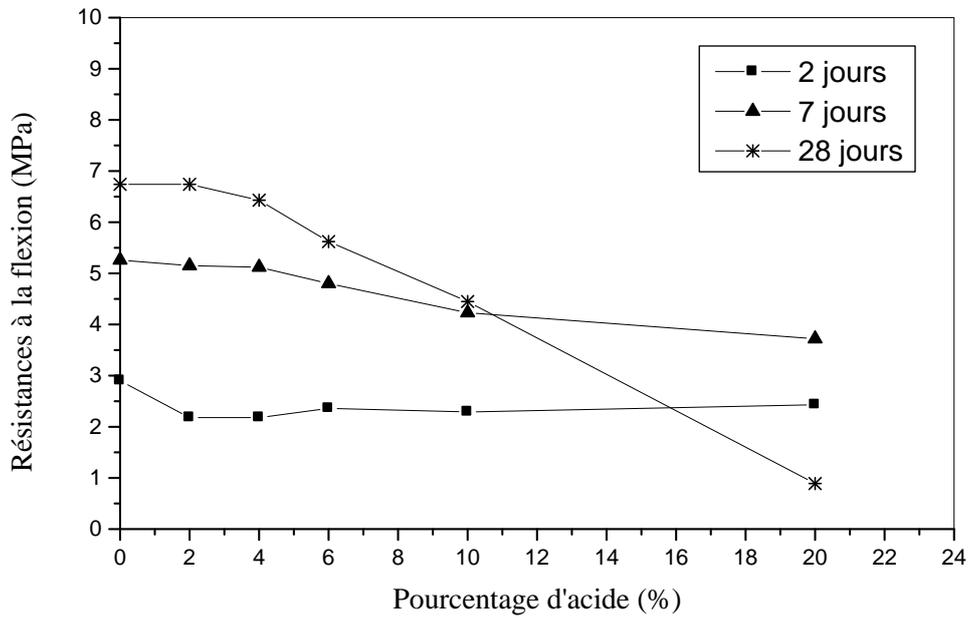


Figure 5. Résistances à la flexion à 2 ; 7 et 28 jours des éprouvettes de la première série en fonction de la concentration d'acide  $H_2SO_4$

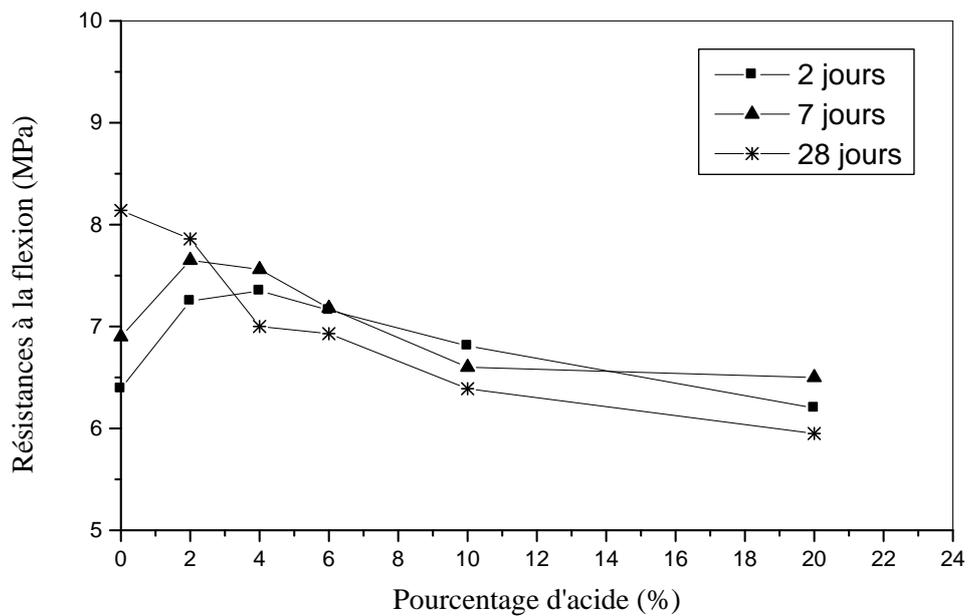


Figure 6. Résistances à la flexion à 2 ; 7 et 28 Jours des éprouvettes de la deuxième série en fonction de la concentration d'acide  $H_2SO_4$

#### 4. DISCUSSION ET CONCLUSION

L’analyse des résultats obtenus révèle que :

– L’attaque chimique, constatée visuellement (Figure 7), est beaucoup plus significative pour les éprouvettes qui n’ont pas subi de cure : la cure contribue à la diminution d’environ 58 % de  $\Delta M$  pour un séjour de 28 jours dans une solution de

concentration de 20 % en  $H_2SO_4$ . Cette attaque, qui se traduit par une perte de masse (détérioration), est le résultat des réactions chimiques entre l’acide et les constituants du ciment ; à savoir :

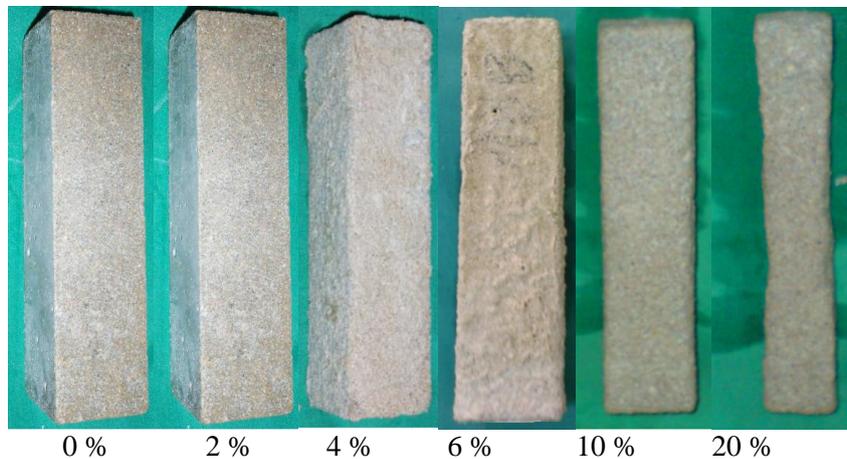
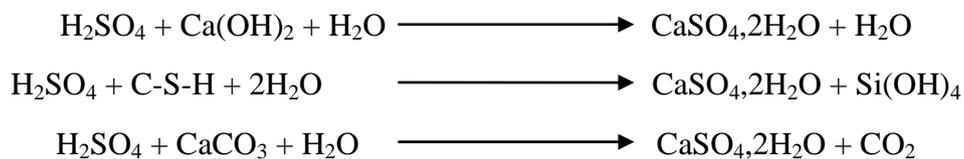


Figure 7. Evolution de la dégradation des éprouvettes

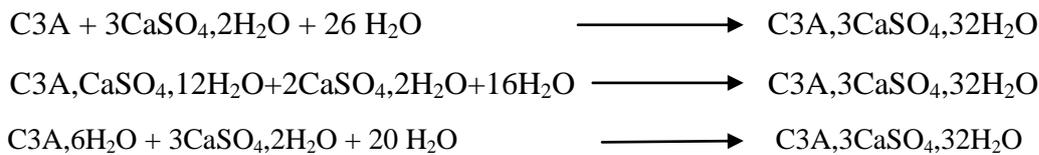
- D’une part, la formation du gypse secondaire suite à la lixiviation (dissolution) de la portlandite ( $Ca(OH)_2$ ), des silicates de calcium

hydratés C-S-H (selon notation cimentière C = CaO ; S =  $SiO_2$  et H =  $H_2O$ ) et le carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ) des ajouts selon :



- D’autre part, la formation de l’ettringite secondaire ; produit des réactions entre l’aluminate de calcium C3A ( $3CaO, Al_2O_3$ ), le

monosulfoaluminate tétracalcique ( $C_3A, CaSO_4, 12H_2O$ ) et l’hydrate d’alumine ( $C_3A, 6H_2O$ ) et le gypse respectivement selon :



Les solides, ainsi formés, possèdent des volumes beaucoup plus grands que ceux des corps qui leur ont donné naissance ; il en résulte donc une expansion qui conduit à la détérioration ;

– Les résistances à la compression et à la flexion sont inversement proportionnelles aux concentrations des milieux. Cependant, pour les éprouvettes qui ont subi une cure, elles ne sont pas influencées à 2 et 7 jours dans le cas où la concentration d'acide n'excède pas 2 %.

## REFERENCES

- Achoura D., Lanos Ch., Jauberthie R., Radjel B. 2004. Influence d'une substitution partielle du ciment par du laitier de hauts fourneaux sur la résistance des mortiers en milieu acide. J. Phys.IV France, 118 : 159-164.
- Benabed B., Azzouz L., Damene Z. 2005. Comportement mécanique et durabilité des mortiers à base du sable de dune. Colloque Méditerranéen sur les Matériaux (CMEDIMAT), ENSET d'Oran- Algérie, 06-07 décembre 2005.
- Benosman A.S., Taibi H., Belbachir M., Mouli M., Senhadji Y. 2005. Durabilité des matériaux polyphasés : attaques chimiques par différents milieux agressifs. Colloque Méditerranéen sur les Matériaux (CMEDIMAT), ENSET d'Oran-Algérie, 06-07 décembre 2005.
- Bertron A. 2004. Durabilité des matériaux cimentaires soumis aux acides organiques : Cas particulier des effluents d'élevage. Thèse de Doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA), Toulouse , 2004.
- Damene Z., Azzouz L., Goual M.S., Kenai S. 2005. Durabilité des mortiers à base de ciments algériens vis-à-vis du sulfate de magnésium ( $\text{MgSO}_4$ ) et effet de sable de dune sur le taux de chute de résistance. Colloque Méditerranéen sur les Matériaux (CMEDIMAT), ENSET d'Oran les 06 et 07 Décembre 2005.
- Carde C. 2007. Lixiviation. Béton[s] le Magazine, n°11 Juillet/Août : 59-60.
- Carde C. 2008. Dégradations des réseaux d'assainissement. Béton[s] le Magazine, n°19 Novembre/Décembre : 71-72.
- Institut Algérien de Normalisation 2000. Liants hydrauliques – Ciments courants : Composition, Spécifications et Critères de conformité, Norme Algérienne NA 442, Alger, 2000.
- Dupain R., Lanchon R., Saint-Arroman J.C. 2000. Granulats, Sols, Ciments et Bétons, Paris, Casteilla, 2000.