

PROPRIÉTÉS PHYSICO-MÉCANIQUES ET DURABILITÉ DES MORTIERS À BASE DE DÉCHETS DE BRIQUES

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF CERAMIC WASTE BASED MORTARS

HARBI Radhia¹, BENMALEK Mohamed Larbi²

¹ Doctorante : université 08 Mai 1945, Guelma, Algérie, e-mail : rad.ikram@yahoo.fr

² Professeur : université 08 Mai 1945, Guelma, Algérie, e-mail : bmalek2@yahoo.fr

Résumé : Ce travail d'ordre expérimental constitue une contribution à la protection de l'environnement par recyclage des déchets de briques.

L'objectif recherché est l'étude de l'influence du taux de substitution des sables de carrière dans la confection des mortiers par des sables de déchets de briques préalablement concassés et tamisés jusqu'à obtention d'une granulométrie similaire à celle des sables de carrière.

Les résultats expérimentaux ont prouvé que les résistances à la compression des mortiers élaborés diminuent avec l'augmentation du taux de déchets de brique à cause de la plus grande porosité des déchets de brique et de leur plus grande capacité d'absorption d'eau.

Par ailleurs, ces mortiers sont globalement durables pour les usages envisagés : enduisage, réparation, jointage, scellement, pose etc ...

Mots-Clefs : Brique, déchets, mortier, recyclage, durabilité.

Abstract : This experimental work is a contribution to the protection of the environment through recycling of waste brick.

The aim of this work is to study the influence of the rate of substitution sands career in the manufacture of mortars by sands waste crushed brick and sieved prior to obtaining a size similar to the career sands.

The experimental results have shown that the compressive strength of mortars prepared decrease with the increase in the rate of waste brick because of the greater porosity of waste bricks and their greater capacity to absorb water. Furthermore these mortars are generally durable for uses: coating, repair, jointing, sealing, pose etc ...

Keywords : Brick - Waste - mortar - recycling -sustainability.

1. Introduction

L'industrie de la brique cuite génère de grandes quantités de déchets qui constituent bien souvent un problème pour l'environnement. La demande sans cesse croissante de briques cuites dans le domaine de la construction implique nécessairement une augmentation correspondante de déchets.

Le Danemark produit un taux de 2 % de déchets pour une production annuelle de 0.75 à 0.90 millions de tonnes de briques, la Pologne et la Lituanie : 5 % pour une production annuelle de 4 millions de tonnes et 0.57 millions de tonnes respectivement tandis que la grande Bretagne produit 3.2 % pour une production annuelle de 5 à 7 millions de tonnes.

Localement, dans la wilaya de Guelma, la production de briques est en nette croissance, les deux briqueteries activant dans la région ont produit, selon la direction des mines de la wilaya, les chiffres suivants : en 2007, briqueterie privée de Bendjerrah : 28 639 tonnes, briqueterie étatique de Bordj Sabath : 14 730 tonnes.

- En 2008, briqueterie privée de Bendjerrah : 73 835 tonnes, briqueterie étatique de Bordj Sabath : 31 273 tonnes

- Prévision 2009, briqueterie privée de Bendjerrah : 80 000 tonnes, briqueterie étatique de Bordj Sabath : 39 100 tonnes

Les déchets de brique produits sont estimés à 10 % pour la briqueterie de Bendjerrah et 15% pour celle de Bordj Sabath

Les déchets de brique ont déjà fait l'objet de plusieurs travaux : ils ont été utilisés comme substituants au ciment par WILD, S. et al [1] pour leur pouzzolanicité.

LEVY, M. et al [2] ont étudié l'influence des déchets de brique finement broyée sur les propriétés mécaniques des mortiers. Une réduction dans la consommation du ciment d'environ 30 % par rapport à des mortiers traditionnels ayant de similaires performances mécaniques a été notée par les auteurs

LABIADH, M/R. et al [3] ont utilisé du tuileau (déchet de brique concassés) pour formuler des mortiers d'enduits rustiques à base de pouzzolanes artificielles. Leurs travaux ont révélé l'existence

d'un pourcentage optimal de substitution du tuileau (moins de 20 % du volume du liant).

Les travaux de AZZOUZ, L. et al [4] ont porté sur l'amélioration des propriétés physico-mécaniques du béton de sable de dunes par inclusion de granulats de brique (3/8).

Les déchets de briques ont été également utilisés comme fillers dans un béton de sable de dune HADJOUJIA, M. et al. [5]. Les résistances mécaniques ont été améliorées à cause de la meilleure compacité obtenue par l'introduction des fillers dans le mélange de béton de sable dunaire.

Le travail que nous présentons dans cet article s'inscrit dans cette thématique : utilisation des déchets solides et élaboration de matériaux à faible impact environnemental.

Il s'agissait de formuler des mortiers à différents taux de déchets de brique ayant une même consistance et de tester leurs principales performances.

2. Caractéristiques des matériaux

Le travail présenté a consisté à incorporer des taux de déchet de briques variant entre 0 et 100% dans des mortiers confectionnés à base de granulats de carrières.

2.1. Matériaux utilisés

2.1.1. Granulats

Les caractéristiques physiques et chimiques du sable et de déchets de brique sont exposés dans le tableau 1 et tableau 2 ci-dessous :

Tableau 1 : Caractéristiques physiques du sable de carrière et des déchets de brique

Caractéristiques	Sable de carrière	Déchet de brique
Classe Granulaire	0/2	0/2
Module de finesse	02.96	02.82
Masse volumique apparente (g /cm ³)	01.47	01.25
Masse volumique absolue (g /cm ³)	02.63	02.50
Porosité (%)	44.12	50.00
Compacité (%)	55.88	50.00
Équivalent de sable (%)	91.56	98.15
Teneur en eau (%)	00.60	03.36
Coefficient d'absorption d'eau (%)	-	16.08

La teneur en eau au moment des essais était de 0.6% pour le sable et 3.36% pour les déchets de brique (environ 3 fois plus). Cette différence a été prise en compte dans la composition et l'élaboration des mortiers élaborés.

Tableau 2 : Composition chimique des déchet de brique

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O
Percentage%	70.30	23.01	1.10	0.73	2.90	0.33	0.04	1.14

2.1.2. Ciment

Le ciment employé est un CPJ 42.5 fabriqué à Hadjar El Soud dans la wilaya de Skikda

Tableau 3 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé

Classe MPa	Surface Blaine [cm ² /g]	Mv app. [g/cm ³]	Mv abs. [g/cm ³]
42.5	3702	1.12	3.1

2.1.3. Eau de gâchage

L'eau utilisée est une eau de robinet du Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique de l'université de Guelma et ayant un PH ~ 7.

Taux des déchets de briques étudiés

- 0 % de déchet pour le mortier témoin.
- 33.33 %, 50 %, 66.67 % et 100 % des déchets pour les autres mortiers

2.2- Formulation des mortiers d'étude

Nous avons au départ procédé à une pré-formulation des mortiers d'étude en adoptant les dosages d'un mortier normalisé (en masse) :

- 1 partie de ciment
- 3 parties de sable sec
- E/C = 0.5

Cette pré-formulation a donné lieu à des éprouvettes manquant visiblement de cohésion comme le montre la figure 1 (notamment les éprouvettes de mortier à fortes teneurs en déchets de brique).

Par ailleurs les valeurs des résistances à la compression à 28 jours n'étaient pas significatives (tableau 4 ci-dessous).

**Figure 1 :** Etat des éprouvettes avec la pré-formulation adoptée (E/C = 0.50)**Tableau 4 :** Résistances mécaniques avec E/C=0.50

Composition	Résistance à la compression (MPa)
M ₁	25.21
M ₂	12.61
M ₃	04.89
M ₄	03.22
M ₅	01.55

De M1 à M5 sont des échantillons préparés avec E/C=0.5. Ces résultats montrent des résistances à la compression très basses à cause de l'insuffisance des quantités d'eau de gâchage mises en œuvre lors de la confection des mortiers envisagés. Pour éviter ce problèmes, nous avons été amenés à préparer des mortiers ayant une même consistance et ce en variant les quantités d'eau de gâchage.

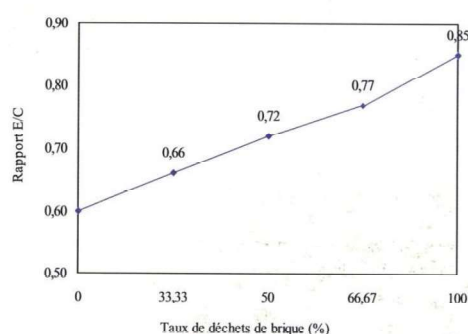
2.2.1. Mesure la consistance de la pâte

Les résultats d'essais sont exposés dans le tableau 5 suivant :

Tableau 5 : Relation E/C – Taux de déchet de briques mis en service

Pourcentage de déchet de briques(%)	0	33.33	50	66.67	100
Rapport E/C	0.60	0.66	0.72	0.77	0.85

Pour une consistance choisie égale à 11 mm, nous avons obtenu les résultats de la figure 2 suivante.

**Figure 2 :** Variation du rapport E/C en fonction du taux de déchets de briques mis en œuvre des différents mortiers à consistance égale

Il faut noter qu'à consistance égale le rapport $E/C = 0.60$ pour un mortier sans déchets de brique correspond à $E/C = 0.85$ pour un mortier sans sable concassé.

3. Résultats expérimentaux et analyses

3.1. Essais mécaniques

3.1.1. Résistance à la compression à 28 jours (R_{c28})

Nous avons choisi dans cette étude expérimentale de mesurer la résistance à la compression à 28 jours car c'est une résistance caractéristique des mortiers. Les résistances mesurées sur les 5 mortiers élaborés (un mortier test sans déchets de briques et 4 mortiers avec divers taux de déchets) sont regroupées dans le tableau 6 qui suit. Ces résultats représentent la moyenne arithmétique de 3 mesures réalisées.

Tableau 6 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de déchet de briques (avec E/C variable et consistance constante)

Pourcentage de déchet de briques(%)	0	33.33	50	66.67	100
Rapport E/C	0.60	0.66	0.72	0.77	0.85
R_{c28} moy (MPa)	29.53	23.15	20.50	18.41	15.78

A la lecture des résultats, on constate que la résistance du mortier M1 (mortier test, sans déchets) ayant pour valeur $R_{c28}(M1) = 29.53$ MPa est presque le double de la résistance du mortier M₅ (confectionné avec 100 % de déchets de briques) et qui a pour valeur $R_{c28}(M5) = 15.78$ MPa.

En effet:

$$\frac{R_{c28}(M_1)}{R_{c28}(M_5)} = 1.87 \quad (1)$$

Ce résultat s'explique par la grande capacité d'absorption d'eau et la plus grande porosité du mortier M5. Il est bien connu dans la littérature qu'un matériau compact est plus résistant qu'un matériau poreux.

L'influence des déchets de brique sur la résistance à la compression à 28 jours des mortiers élaborés, est montrée dans la Fig. (3).

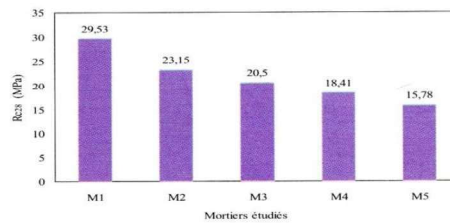


Figure 3 : Résistances à la compression à 28 jours des mortiers étudiés

3.1.2. Résistance à la traction par flexion

Pour évaluer la résistance à la traction à 28 jours des mortiers d'étude, trois éprouvettes de chaque composition ont été soumises au test de la résistance à la traction par flexion.

Les résultats obtenus (moyenne de 3 essais) sont regroupés dans le tableau 7 qui suit et présentés dans l'histogramme de la figure 4:

Tableau 7: Résistance à la traction en fonction du pourcentage de déchet de briques

Pourcentage de déchet de briques(%)	0	33.33	50	66.67	100
R_{t28} moy (MPa)	6.59	5.09	4.89	3.74	3.69

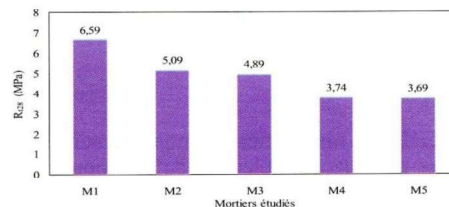


Figure 4 : Histogramme des résistances à la traction à 28 jours des mortiers étudiés

Les résultats de l'histogramme ci-dessus, permettent de conclure que les résistances à la traction des mortiers élaborés décroissent avec l'augmentation du taux de déchets mis en œuvre; et comme pour la résistance à la compression à 28 jours, le rapport entre $R_{t28}(M_1)$ et $R_{t28}(M_5)$ qui correspond aux taux extrêmes de déchets de briques (0 et 100 %), est de l'ordre de 1.79.

La comparaison du comportement mécanique des différentes compositions des mortiers montre que la résistance à la traction diminue avec l'augmentation du taux de déchets de brique.

3.1.3. Influence de la porosité et du rapport E/C sur la résistance R_{c28}

Nous avons ensuite examiné l'influence de la porosité ouverte à l'eau sur la résistance à la compression à 28 jours des mortiers élaborés. Les résultats sont montrés dans la figure 5 :

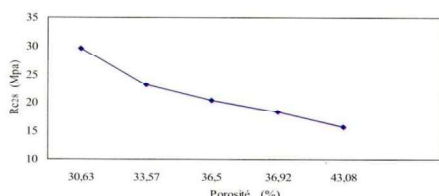


Figure 5 : Influence de la porosité (P) sur la résistance R_{c28}

Il est à noter que le rapport E/C a une influence similaire sur la résistance à la compression à 28 jours des mortiers élaborés.

Il existe une quasi-proportionnalité au delà de $E/C=0,66$ comme le montre la courbe de la figure 6.

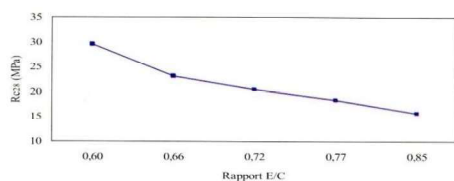


Figure 6 : Influence du rapport E/C sur la résistance R_{c28}

La résistance à la compression à 28 jours des mortiers étudiés est inversement proportionnelle au rapport E/C à cause de la plus grande quantité d'eau de gâchage mis en œuvre pour l'obtention d'une maniabilité constante.

Les mortiers avec un plus grand taux de déchets de brique nécessitent en effet un plus grand volume d'eau de gâchage et par conséquent un plus grand rapport E/C.

3.1.4. Influence de la capacité d'absorption d'eau et du rapport E/C sur la résistance R_{t28}

Nous avons ensuite examiné l'influence de la capacité d'absorption d'eau sur la résistance à la traction par flexion des mortiers élaborés. Les résultats sont montrés dans la figure 7 suivante:

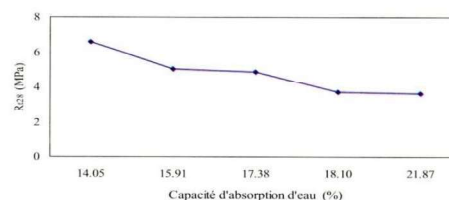


Figure 7 : Influence de la capacité d'absorption d'eau (C.A) sur la résistance R_{t28}

Comme pour la résistance à la compression à 28 jours, la résistance à la traction à 28 jours est inversement proportionnelle au rapport E/C (Fig. 8).

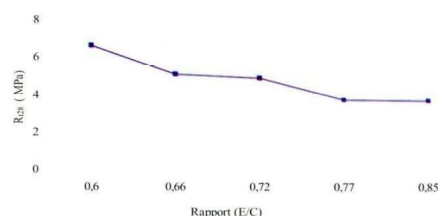


Figure 8 : Résistance à la traction par flexion en fonction du rapport E/C

La comparaison du comportement mécanique des différentes compositions des mortiers montre que la résistance à la traction diminue avec l'augmentation du taux de déchets de brique.

La substitution du sable de carrière par le sable de déchets de brique fait chuter les résistances R_{c28} et R_{t28} des mortiers élaborés à cause de la plus grande capacité d'absorption d'eau de ces derniers et des pores résultant de l'évaporation d'eau en excès.

3.2. Essais hydriques

3.2.1. Cinétique d'absorption d'eau

Les essais d'absorption d'eau par capillarité ont été réalisées à température ambiante sur des éprouvettes prismatiques $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 16\text{cm}$, préalablement séchées dans une étuve jusqu'à masse constante. Elles ont ensuite été pesées et recouvertes sur les 4 surfaces latérales parallèles à la direction de la remontée d'eau capillaire, à l'aide de papier aluminium.

Seule la surface de base 4cm × 4cm à été laissée à l'air libre pour assurer une remontée unidirectionnelle de l'eau, éviter son évaporation et ne pas permettre l'échange d'humidité avec le milieu ambiant. Cette base est alors mise en contact de l'eau.

Cette technique à été adoptée par de nombreux auteurs, notamment HALL, C. [6] et PRAZAK, J et al. [7].

Les résultats de l'absorption d'eau massique dans le temps (cinétique d'absorption) sont présentés dans la courbe de la figure 9.

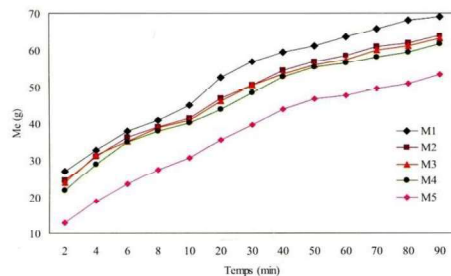


Figure 9 : Courbe globale de la masse de l'eau absorbée pour les mortiers M1 à M5

Les résultats des essais montrent que :

- La masse d'eau absorbée (Me) évolue dans le temps presque de la même manière pour tous les mortiers testés (de M1 à M5).
- Les mortiers contenant moins de déchets de brique absorbent plus rapidement l'eau capillaire.
- L'absorption d'eau massique par capillarité diminue en fonction de l'augmentation du dosage en granulats de brique. Ceci est lié à la nature et au dosage en granulats.

Il faut rappeler que les éprouvettes testées sont celles élaborées avec un rapport E/C variant de 0.60 à 0.85. Par ailleurs la cinétique d'absorption d'eau est plus importante pour les mortiers contenant le moins de déchets de brique en raison des dimensions des pores, probablement plus importantes dans le cas des déchets de brique. Il est évident que seule une analyse porométrique (à laser) pourra confirmer cette hypothèse. Il est en effet bien connu que les matériaux avec de larges pores sont moins absorbants (par succion capillaire) que ceux ayant des pores de dimensions réduites

Observation

Les valeurs de Me obtenues au delà de 90 min d'absorption ne sont pas significatives et n'ont donc pas été reportées sur les courbes.

3.2.2. Absorption d'eau par immersion

Les résultats expérimentaux des essais sur mortiers sont exposés dans le tableau 8 suivant et les évolutions des caractéristiques par la courbe de la figure 10 qui suit:

Tableau 8 : Variation de l'absorption d'eau par immersion en fonction du pourcentage de déchet

Pourcentage de déchet de briques(%)	0	33.33	50	66.67	100
Ab %	14.05	15.91	17.38	18.10	21.87

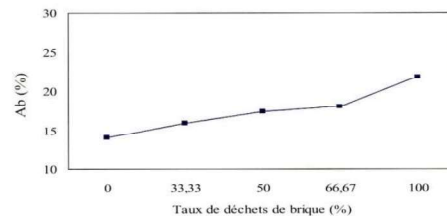


Figure 10 : Evolution de la capacité d'absorption d'eau en fonction du taux de déchets de brique mis en œuvre

L'analyse des résultats obtenus montre que l'augmentation de la capacité d'absorption d'eau par immersion est quasi- proportionnelle à l'augmentation du taux de déchets de brique, ceci est expliqué par le fait que les mortiers à plus grands taux de déchets de briques sont les plus poreux. Les matériaux les plus poreux sont manifestement les plus absorbants.

3.2.1. Retrait

Dans l'étude du retrait nous avons considéré deux paramètres : la variation dimensionnelle unidirectionnelle $\frac{\Delta L}{L}$ dans le temps et la variation pondérale $\frac{\Delta M}{M}$ des mêmes éprouvettes.

3.2.1.1. Variation dimensionnelle

$$\frac{\Delta L}{L} \times 10^3 \text{ mm / m}$$

Les résultats expérimentaux obtenus sont représentés dans la courbe de la figure 11.

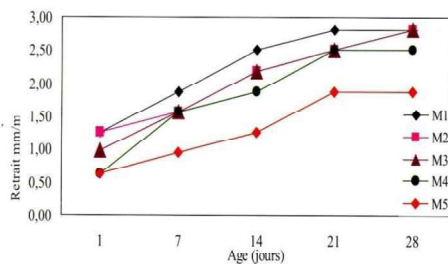


Figure 11 : Courbe globale de la cinétique du retrait pour les mortiers M_1 à M_5

On remarque que le retrait augmente dans le temps et diminue avec l'introduction progressive des déchets de briques.

Ces résultats tendent à prouver que les déchets de brique freinent le retrait des mortiers, ils concordent avec les résultats obtenus par BOUDJEDIR, A et al. [8] qui ont rapporté qu'au delà de $E/C=0.65$ l'eau additionnelle disparaît au séchage sans provoquer de retrait. Pour nos mortiers (M_2 à M_5) le rapport E/C est toujours > 0.65 .

3.2.1.2. Variation pondérale : $\frac{\Delta M}{M} \times 10^3 (g / Kg)$

Les éprouvettes utilisées pour mesurer la variation pondérale (perte de masse) sont les mêmes que celles utilisées pour mesurer la variation dimensionnelle (retrait).

Les résultats expérimentaux sont regroupés dans la courbe de la figure 12.

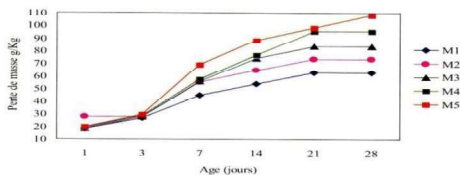


Figure 12 : Courbe globale de la cinétique de la perte de masse pour les mortiers M_1 à M_5

Des courbes précédentes, on constate que la perte de masse augmente avec l'augmentation des pourcentages des déchets de briques à cause de l'allègement des éprouvettes combiné à l'évaporation de l'eau en excès.

4. Conclusion générale

-Les R_{c28} et R_{t28} des cinq types des mortiers diminuent avec l'augmentation du taux de déchets de brique à cause de leurs plus grandes capacités d'absorption d'eau.

- R_{c28} et R_{t28} du mortier à base de sable de carrière

est plus grande que celle à base de déchets de brique car ce dernier à une plus grande porosité par rapport au sable de carrière.

-Le rapport E/C augmente avec l'augmentation du taux de déchets de brique mis en œuvre.

-Le retrait des mortiers augmentent dans le temps et diminuent avec l'introduction des déchets.

-La perte de masse (variation pondérale) augmente avec l'augmentation du taux de déchets à cause de leur allègement.

-L'absorption d'eau massique diminue en fonction de l'augmentation du dosage en granulats de brique.

Références bibliographiques

- [1] WILD, S., GAILUIS, A., SZWABOWSKI, J., HANSEN, H., Waste clay brick - A European study of its effectiveness as a cement replacement material, Exploiting wastes in concrete. Proceedings of the international seminar held in Dundee 1999. Ed Ravinda K. Dhir. ISBN07277 28334.
- [2] LEVY, M., HELENE, P., Influence of finely ground ceramic waste materials on the properties of new mortars, Université de Sao Polo. Brésil 2000.
- [3] LABIADH, M/R., BEN OUEZDOU, M., MENSI, R., Formulations et comportements d'enduits rustiques à base de chaux et pouzzolanes artificielles. Colloque international de sol et matériaux à problèmes, Tunisie, 9-11 février 2007.
- [4] AZZOUZ, L., KENAI, S., BOUHICHA, M., HADJOUJDA, M., Amélioration des propriétés physico mécaniques du béton de sable de dunes par inclusion de granulats de brique., Séminaire national de génie civil, Oran, 28-29 janvier 2003.
- [5] HADJOUJDA, M., BEDRINA, M., Amélioration des propriétés mécaniques des bétons de sable de dunes par ajout des déchets de briques., Colloque SOMAPRO international 'sols et matériaux à problèmes, Tunisie, 9-11 février 2007.
- [6] HALL, C., Water movement in porous building materials- VII. The sorptivity of mortars., Building and environment. Vol.21, n°2, PP 113-118.1986.
- [7] PRAZAK, J. and LUNK, P., Capillary suction of AAC. Advances in Autoclaved Aerated Concrete., Edition wittman balkema. Retterdam. ISBN 90 5410 0869. PP 119-129. 1992.
- [8] BOUDJEDIR, A., HOUARI, H., Contribution à l'étude du retrait des variétés de mortiers et bétons -Influence des paramètres de composition et de conservation., Séminaire national de Génie Civil. ENSET Oran les 28 et 29 Janvier 2003.