

Comportement des bétons légers fibrés à base des granulats pouzzolaniques vis-à-vis les milieux acides

A. H. MOHAMMED BELHADJ^a, A. MAHI^b, R. DERBAL^a, R. AOUANE^c

a. Smart Structures Laboratory (SSL) Univ Ctr of Ain Temouchent, Po Box 284,46000, Algeria. email : mb_ahl@yahoo.fr

b. Laboratoire matériaux structures et thermiques (LMST), Université des Sciences et de la Technologie d'Oran USTOMB, Algérie.

c. Département Génie Civil, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran USTOMB, Algérie.

Résumé :

Le travail présenté ici vise à analyser l'influence de types des fibres sur le comportement des bétons légers à base des granulats pouzzolaniques dans les milieux agressifs tels que les acides. Le choix des granulats pouzzolaniques a pour objectif la valorisation de la pouzzolane naturelle comme granulats légers dans le béton, sachant que ce matériau est très abondant en Algérie.

Dans ce sens, des séries d'essais ont été étudié en utilisant des fibres métalliques et des fibres polypropylène dans les bétons légers à base des granulats pouzzolaniques. Les éprouvettes en bétons de dimensions de 7x7x7cm³ ont été conservé dans l'eau saturé en chaux jusqu'à l'âge de 28, 60 et 90 jours, puis elles ont été placé dans des solutions d'acide chlorhydrique Hcl et d'acide sulfurique H₂SO₄ avec une concentration de 5% pour chaque milieu. L'évaluation de la durabilité de ces bétons ainsi que le comportement mécanique ont été obtenu par la mesure de la perte de masse et la résistance en compression mécanique.

Les résultats obtenus ont montré que les bétons légers à base des fibres polypropylène présentent un bon comportement mécanique vis-à-vis les attaques des acides forts par rapport à ceux avec des fibres métalliques

Abstract :

The work presented here aims to analyze the influence of types of fibers on the behavior of light concretes based on pozzolanic aggregates in aggressive media such as acids. The choice of pozzolanic aggregates aims at the valorization of natural pozzolana as light aggregates in concrete, knowing that this material is very abundant in Algeria.

In this sense, series of tests have been studied using metal fibers and polypropylene fibers in light concretes based on pozzolanic aggregates. Concrete samples of 7x7x7 cm³ were stored in lime-saturated water up to 28, 60 and 90 days and then placed in solutions of Hcl hydrochloric acid and sulfuric acid H₂SO₄ with a concentration of 5% for each medium. The evaluation of the durability of these concretes as well as the mechanical behavior were obtained by measuring the loss of mass and the resistance in mechanical compression.

The results obtained showed that lightweight concretes based on polypropylene fibers exhibit good mechanical behavior with respect to attacks of strong acids as compared to those with metal fibers

Mots clefs : béton léger, granulats pouzzolaniques, fibres métalliques, fibres polypropylène, d'acide chlorhydrique HCl, d'acide sulfurique H₂SO₄ .

1 Introduction

Ces dernières années, l'industrie de la construction a montré un intérêt significatif pour l'utilisation de béton de fibres en raison des avantages qu'il offre sur le béton ordinaire traditionnel.

L'utilisation de fibres comme armature en béton ordinaire non seulement augmente la résistance à la traction, mais réduit également la fissuration.

En outre, les fibres d'acier améliorent la résistance à la détérioration du matériau en raison de la fatigue, de l'impact, du retrait et des contraintes thermiques [1] [2].

Le concept d'utilisation de fibres ou de renforcement n'est pas nouveau. Les fibres ont été utilisées comme renfort depuis les temps anciens. Historiquement, le crin a été utilisé dans le mortier et la paille dans des briques de boue. Dans les années 1900, des fibres d'amiante ont été utilisées dans le béton. Dans les années 1950, le concept de matériaux composites a vu le jour et le béton armé de fibres a été l'un des sujets d'intérêt [3] [4].

Une fois que les risques pour la santé associés à l'amiante ont été découverts, il y avait un besoin de trouver un remplacement pour la substance dans le béton et d'autres matériaux de construction. Dans les années 1960, l'acier, le verre et les fibres synthétiques telles que les fibres de polypropylène ont été utilisés dans le béton. La recherche de nouveaux bétons renforcés par fibres continue aujourd'hui [5] [6].

Nataraja [7] a étudié la résistance à la rupture du béton armé de fibres d'acier (SFRC) en utilisant un spécimen de cube typique de 100 mm. Les résultats des essais de traction en flexion, en compression et en fendage ont indiqué que la résistance à la traction de la SFRC était de 0,67 fois de la résistance à la flexion et 0,09 fois la résistance à la compression [7]. Le béton armé de fibres peut être utilisé pour améliorer les performances des éléments de structure en béton comme les poutres, les colonnes et les planchers en profondeur, en termes de réduction des fissures, de ténacité et de ductilité [8].

De même, Lee [8] [9] a découvert qu'un plus grand volume de fibres plus longues donnerait de meilleures performances mécaniques au béton s'il est uniformément distribué. Cependant, il pourrait y avoir un problème accru de maniabilité et de distribution uniforme avec l'augmentation du volume et de la longueur des fibres [10] [11].

Le béton est un matériau largement utilisé dans tous les domaines. Sous certaines conditions, il peut être confronté à des médias agressifs, ces environnements agressifs peuvent changer certains facteurs physiques et chimiques et causer un danger significatif pour le béton [12] [13].

Les environnements acides susceptibles d'être agressifs pour le béton commencent dans les eaux pures et s'étendent à l'eau douce, peu chargée en dioxyde de carbone et en pluie acide, et se terminent par des acides inorganiques et organiques, y compris les eaux usées [14]. Les fours à effluents utilisant des combustibles riches en soufre et les effluents d'un produit chimique peuvent contenir de l'acide sulfurique. La décomposition de la matière organique dans les eaux usées, les silos ou dans les réservoirs de stockage peut conduire à la formation de gaz H₂S qui peut être converti en acide sulfurique par l'activité bactérienne. Ce type d'acide est très vulnérable pour le béton [12] [14].

Afin d'effectuer notre travail, une série d'essais ont été étudiés en utilisant des fibres métalliques et des fibres polypropylène dans les bétons légers à base des granulats pouzzolaniques. Les éprouvettes en bétons de dimensions de $7 \times 7 \times 7 \text{ cm}^3$ ont été conservés dans l'eau saturée en chaux jusqu'à l'âge de 28, 60 et 90 jours, puis elles ont été placées dans des solutions d'acide chlorhydrique HCl et d'acide sulfurique H_2SO_4 avec une concentration de 5% pour chaque milieu. L'évaluation de la durabilité de ces bétons ainsi que le comportement mécanique ont été obtenus par la mesure de la perte de masse et la résistance en compression mécanique.

2 Caractérisation des matériaux utilisés

Le choix des matériaux locaux algériens était basé sur leur disponibilité abondante et leur coût modéré.

2.1 Ciment

L'étude a été menée sur du béton léger, en utilisant des matériaux locaux. Il a été fabriqué avec le Ciment Composite Portland (CEM II / A 42.5) de l'usine de Beni-Saf (ouest de l'Algérie), selon la norme algérienne NA 442. Ce ciment est bien adapté aux usages les plus courants du bâtiment dans la région ouest d'Algérie. Les compositions chimiques et minéralogiques de ce ciment sont présentées dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1. Compositions chimiques du ciment

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	PF	insoluble	Total
23.65	56.80	5.52	3.22	1.03	2.45	2.42	4.6	99.69

Tableau 2. Compositions minéralogiques (Bogue) de ciment

BOGUE COMPOSITION (%)				
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO
51.74	24.50	8.78	10.51	0.91

2.2 Granulats pouzzolaniques

La pouzzolane utilisée est une pouzzolane naturelle de provenance du gisement de BOUHAMIDI (Béni-Saf, Ain Téouchent). Cette pouzzolane est fournie sous forme de roches concassées de type pierre ponce et scorie, de diamètres variant entre 50 et 100 mm. Ces roches sont concassées et criblées afin d'obtenir les fractions granulaires utilisées dans le présent travail, à savoir un sable concassé 0/3, 0/5 et gravier, 3/8. Les caractéristiques chimiques de la pouzzolane sont données dans le tableau 3.

Tableau 3. Caractéristiques chimiques de la pouzzolane naturelle

Composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P.F
Teneurs (%)	47.48	18.83	10.51	9.92	4.38	0.50	0.20	0.81	3.91

L'analyse chimique de la pouzzolane de Beni-Saf montre qu'elle peut être considérée comme un matériau pouzzolanique d'après les normes en vigueur. La norme française exige que les pouzzolanes

doivent être composées essentiellement de la silice SiO_2 réactive avec une teneur $\geq 25\%$ et de l'alumine Al_2O_3 .

2.2.1 Analyse Granulométrique

L'analyse granulométrique est réalisée conformément à la norme EN 933-2. Les résultats de l'analyse granulométrique de différentes fractions granulaires sont présentés sur la figure 1.

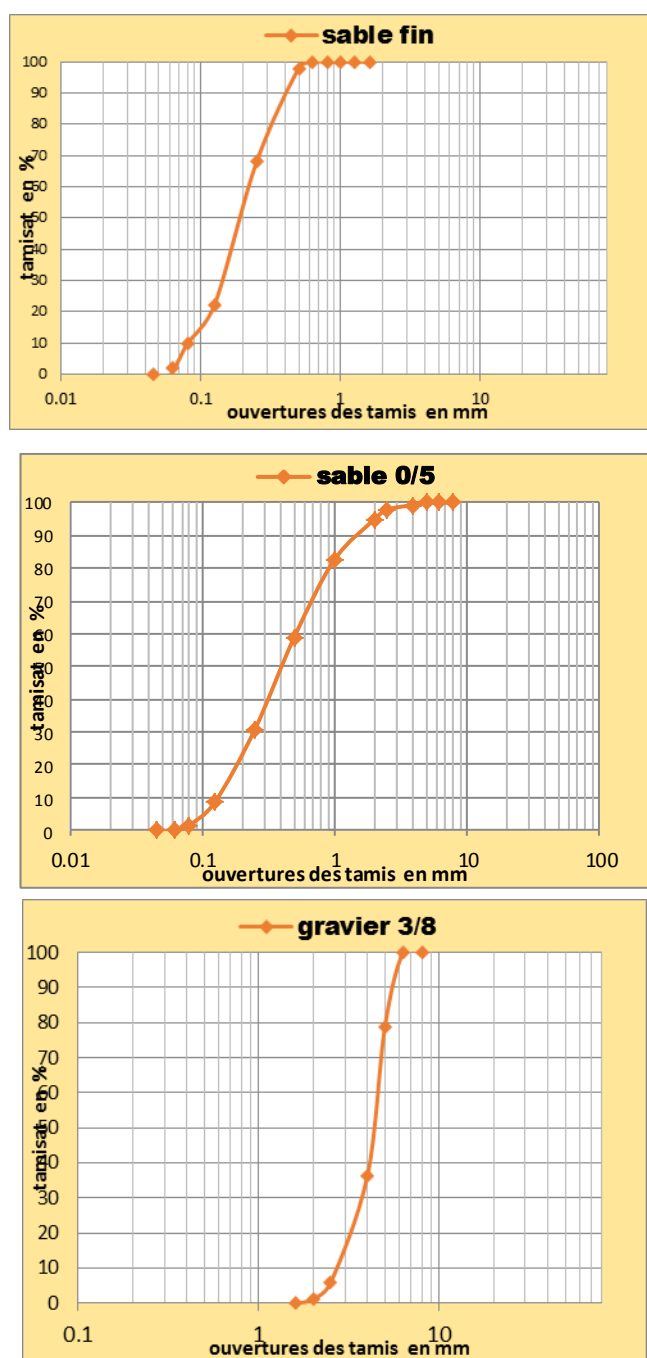


Figure 1. Analyse granulométrique des granulats pouzzolanques

2.3 Les fibres

Les fibres utilisées pour préparer les différentes éprouvettes des bétons sont les fibres de polypropylène et les fibres métalliques figure 4 et figure 5 respectivement. Leurs propriétés sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 4. Caractéristiques des fibres

	Longueur (mm)	Diamètre (mm)	Densité (g/cm ³)	à la traction (MPa)	Module d'élasticité (GPa)	Allongement à la rupture (%)
Polypropylène	6	0,05	0,900	600	05-10	10-20
Métallique	30	0,5	7,85	1700	150-200	3-4



Figure 4. Fibres polypropylène



Figure 5. Fibres métalliques

2.4 Composition des bétons

Les différentes compositions des bétons étudiés sont données dans le tableau 5 (BPL: béton sans fibres ; BPLP: avec des fibres de polypropylène ; BPLM: avec des fibres métalliques).

Tableau 5. Compositions des bétons étudiés

Composition d'un M ³ de	Ciment (kg)	Sable fin (kg)	Sable 0/5 (kg)	Gravier 3/8 (kg)	Eau (l)	Fibres (%)
BPL	350	104,07	277,52	386,11	165	0
BPLP	350	104,07	277,52	386,11	165	0,11
BPLM	350	104,07	277,52	386,11	165	0,51

2.5 Cure des éprouvettes

Après 28 jours de cure dans une solution d'eau saturée en chaux, les éprouvettes sont pesées pour déterminer M1, puis elles sont immergées dans les différentes solutions chimiques (voir Figure 6) dont les concentrations sont présentées dans le tableau 6.

Tableau 6. Concentration des solutions

Solution	Concentration(%)	Quantité/10 litres d'eau	Observation
Hcl	5	1300 ml/10 L	Acide fort
H ₂ SO ₄	5	520 ml/10 L	Acide fort



Figure 6. Cures des éprouvettes dans les solutions chimiques

3 Résultats et interprétations

3.1 Examen visuel

3.1.1 Milieu de l'acide chlorhydrique Hcl

Après conservation des éprouvettes en bétons dans l'acide chlorhydrique Hcl, on a remarqué une couleur verte vif de la solution, avec une couche flottante très polluée sur la surface (Figure 7).

la corrosion et dégradation des fibres est considérable pour les éprouvettes en BLPM (fibres métalliques : figure 8), on constate des débris du bétons dus à l'altération de ce dernier, les surfaces sont rugueuses et on a une altération de l'éprouvettes pour les différents bétons.



Figure 7. Solution d'acide chlorhydrique Hcl et débris de béton



Figure 8. Altération de l'éprouvette en béton

3.1.2 Milieu de l'acide sulfurique H₂SO₄

la solution est saturée de fines blanchâtre ; les débris de béton sont importants (Figure 9).



Figure 9. solution d'acide sulfurique et débris de bétons

On remarque que la rugosité de la surface des éprouvettes est relativement élevée, cependant les surfaces sont lissivées dénuées complètement de la pâte de ciment (Figure 10). Un gonflement des éprouvettes est observé.



Figure 10. Gonflement d'une éprouvette en béton

3.2 Perte de masse

Nous avons suivi l'évolution de la durabilité de nos échantillons par la perte de masse. La mesure de la perte de masse a été effectuée sur trois échantillons identifiés à cet effet, précédemment essayés et nettoyés trois fois avec de l'eau distillée pour éliminer la solution de surface et le béton altérés. Nous avons utilisé l'équation suivante (1) pour calculer la perte de masse :

$$ML = \left(\frac{M_t - M_i}{M_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

Où M_t est la masse (g) à l'instant t et M_i est l'initiale de masse (g)

3.2.1 Milieu acide chlorhydrique Hcl

On remarque une augmentation plus au moins importante de masse, qui continue jusqu'à la deuxième semaine d'immersion pour toutes les éprouvettes. Ce qui s'explique par l'augmentation de produit d'hydratation dans les bétons, ainsi que les produits de corrosion pour les BLPM ; une perte de masse relativement importante 8.31%, 4.29% pour les éprouvettes avec fibres métalliques et polypropylènes, le cas contraire dans les éprouvettes sans fibres. (Figure 11).

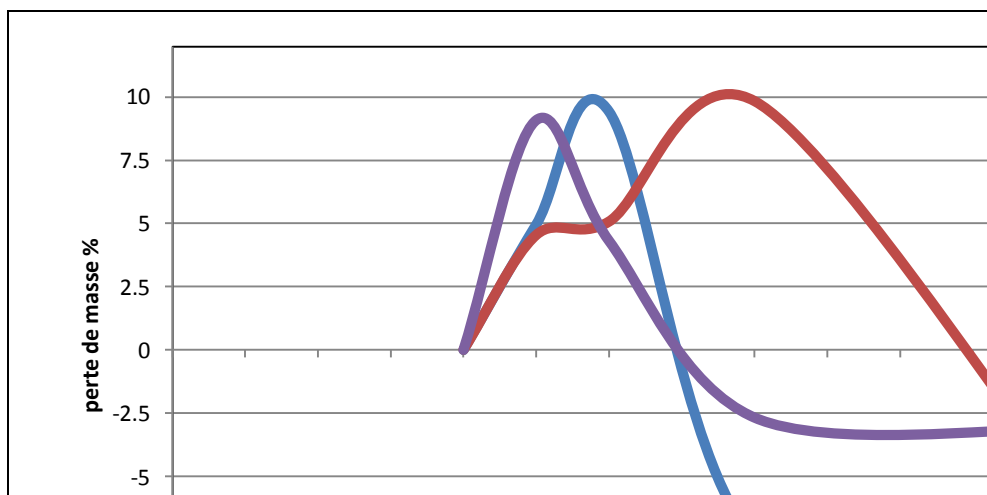
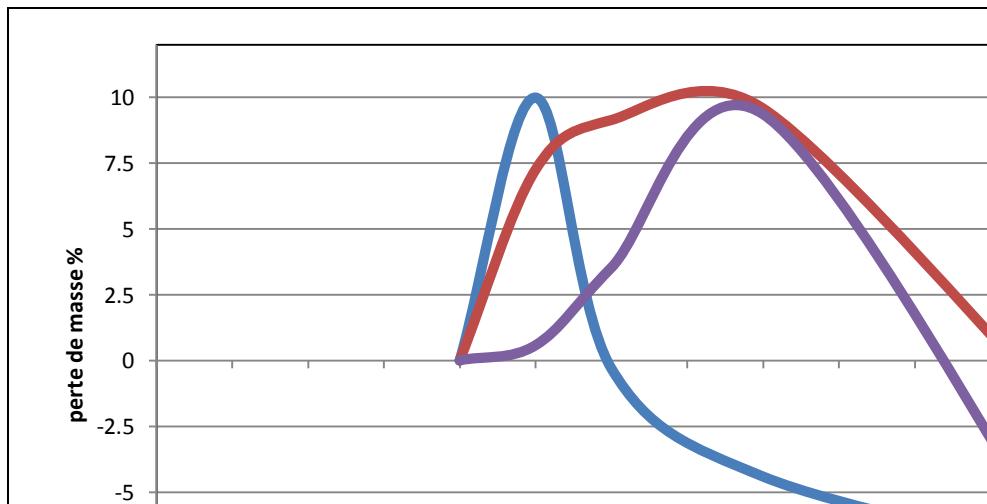


Figure 11. Perte de masse pour les bétons dans Hcl

3.2.2 Milieu Acide sulfurique H₂SO₄

Une augmentation plus importante de masse (9.35% sans fibres % et 9.5% polypropylènes), et cela à la quatrième semaine d'immersion (Figure 12). Une Chute de masse dès la première semaine (fibres métallique) ;

Figure 12. Perte de masse pour les bétons dans H₂SO₄

L'acide sulfurique réagit avec des composants de la matrice de ciment, principalement avec les hydrates d'aluminat de calcium, pour former des produits de réaction volumineux. Ce qui provoque la formation de gypse secondaire et d'ettringite selon les réactions suivantes :



Le gypse est formé par la réaction entre les sulfates et la portlandite (Eq. 2). Le gypse déposé est ensuite lessivé, ce qui explique la couleur blanche de la solution à partir de la deuxième semaine. La dégradation des matériaux cimentaires dans ces conditions environnementales se caractérise par le passage complet en solution du portlandite et par la décalcification progressive des HCS et dans d'autres proportions d'ettringite et de monosulfoaluminate (Eq. 3) [14]. Les BLP avaient plus de perte de masse que d'autres mortiers avec des fibres.

3.3 Résistance en compression

Les échantillons du béton sont soumis à une compression simple. Les résultats des essais sur des bétons légers sans fibres et des bétons légers renforcés de fibres sont donnés dans les figures suivantes.

3.3.1 Milieu acide chlorhydrique Hcl

On remarque une évolution de la résistance en compression pour les différents type des bétons jusqu'à l'âge de 60 jours, puis on constate une diminution moins importante pour les BLPP que les autres type de bétons, au-delà de 60 jours une nette diminution est observé pour les BLPM (Figure 13).

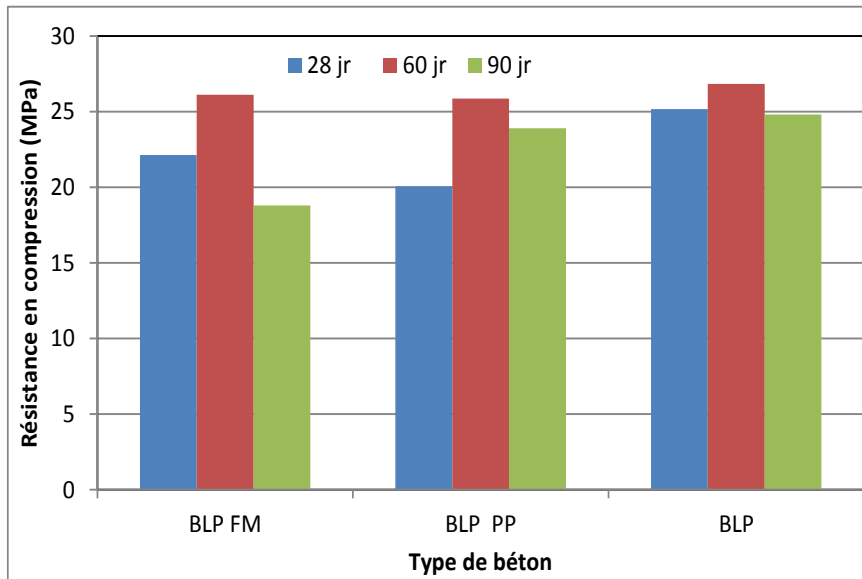


Figure 13. Résistance en compression des bétons en milieu acide chlorhydrique HCl

3.3.2 Milieu acide sulfurique H_2SO_4

Le même comportement des éprouvettes en bétons légers est observé dans le milieu sulfurique, on a une nette amélioration de la résistance en compression jusqu'à l'âge de 60 jour (Figure 14). Au-delà de cet âge, il y a une diminution de la résistance. Cela s'explique par l'utilisation des granulats pouzzolaniques.

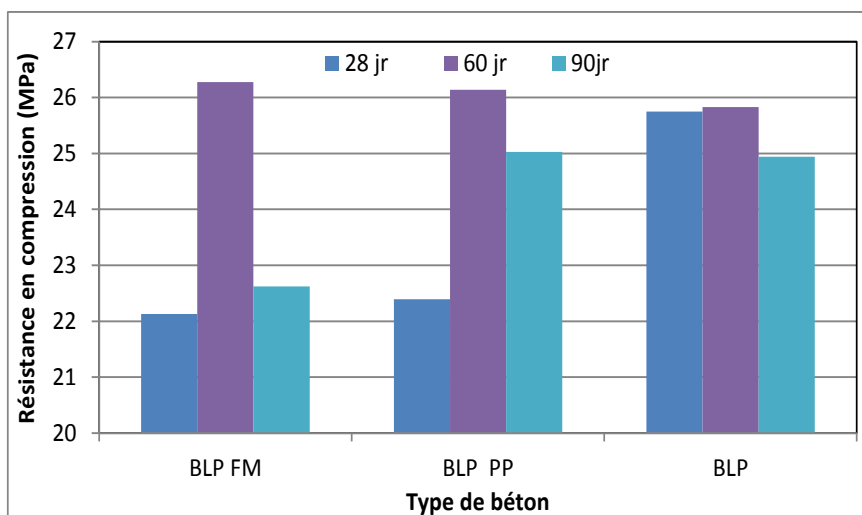


Figure 14. Résistance en compression des bétons en milieu acide sulfurique H_2SO_4

4 Conclusion

Dans cette étude, une analyse de l'influence des types des fibres sur le comportement des bétons légers à base des granulats pouzzolaniques dans les milieux agressifs est réalisée.

Le travail expérimental nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les bétons exposés à l'acide sulfurique H_2SO_4 ont une grande perte de masse par rapport à ceux conservés dans l'acide Hcl. Cela est dû à la formation de gypse et de l'ettringite, deux éléments hautement solubles.
- Les bétons avec des fibres ont un bon comportement vis-à-vis de l'acide chlorhydrique Hcl par rapport au béton sans fibres.
- Le béton léger à base des fibres polypropylènes a la meilleure résistance à la compression par rapport aux autres bétons et une bonne durabilité dans les deux milieux agressifs.
- La résistance des bétons légers pouzzolaniques aux attaques chimiques est supérieure à celle du béton ordinaire. Cela s'explique par l'utilisation des granulats pouzzolaniques.

En général, les matériaux pouzzolaniques permet de réduire l'effet des attaques chimiques par la réduction de la perméabilité du matériau, de la taille des pores et du pourcentage de $Ca(OH)_2$.

La pouzzolane naturelle fournit une possibilité économique de production dans l'industrie du béton léger et améliore les propriétés mécaniques et sa durabilité. Non seulement dans le domaine de la rénovation des vieux bâtis, par sa légèreté, mais aussi dans les nouvelles constructions, par sa résistance mécanique.

Références

- [1] T.T. Lie, V.K.R. Kodur, Mechanical properties of fibre-reinforced concrete at elevated temperatures, Internal Report No. 687, February 1995, Institute - Bev Creighton Analyse.
- [2] P. Kalifa, G. Chene, C.H. Galle, High-temperature behavior of HPC with polypropylene fibers from spalling to microstructure, *Cement and Concrete Research* (2001), Vol. 31, pp. 1487–1499.
- [3] A. Bhargava, N. Banthia, Permeability of concrete with fiber reinforcement and service life predictions, *Materials and Structures* (2008), Vol. 41, pp. 363–372.
- [4] O. Fedoui-Akmooussi, L. Molez, S. Kaci, R. Jauberthie, Etude du comportement mécanique et de durabilité des bétons fibrés dans un milieu agressif, *Rencontres Universitaires de Génie Civil*, Mai 2015, Bayonne, France.
- [5] D. Dupont, L. Vandewalle, Distribution of steel fibers in rectangular sections, *Cement and Concrete Composites* (2005), Vol. 27, pp. 391-398.
- [6] J.M. Tulliani, L. Montanaro, A. Negro, M. Collepardi, Sulfate attack of concrete building foundations induced by sewage waters, *Cement and Concrete Research* (2002), Vol. 32, No. 6, pp. 843-849.
- [7] M.C. Nataraja, N. Dhang, A.P. Gupta, Splitting tensile strength of SFRC, *Indian Concrete Journal* (2001), Vol. 75, pp. 287-290.
- [8] P.O. Awoyera, J.K. Ijalana, O.E. Babalola, Influence of Steel and Bamboo Fibres on Mechanical Properties of High Strength, *Concrete Journal Materials and Environmental Sciences* (2015), Vol. 6, No. 12, pp. 3634-3642, ISSN : 2028-2508.
- [9] S. Lee, *Handbook Composites Reinforcements*, Wiley-VCH, 1993.
- [10] S. Kherbache, N. Bouzidi, M.A. Bouzidi, K. Moussaceb, A.K. Tahakourt, The behavior of the concretes and mortars reinforced by metallic fibers wastes as substitution of cement, *Journal of Materials, Environment and Sciences* (2016), Vol. 7 No. 1, pp. 18-29, ISSN : 2028-2508.
- [11] S.H. Park, G.S. Ryu, K.T. Koh, D.J. Kim, Effect of shrinkage reducing agent on pullout resistance of high-strength steel fibers embedded in ultra-high-performance concrete, *Cement and Concrete Composites* (2014), Vol. 49, pp. 59-69.
- [12] A. Dubose, G. Escadeillas, P.J. Blanc, Characterization of biological stains on external concrete walls and influence of concrete as underlying material, *Cement and Concrete Research* (2001), Vol. 31 No. 11, pp. 1613-1617.
- [13] A. García-Santo, J.M. Rincón, M. Romero, R. Talero, Characterization of a polypropylene fibered cement composite using ESEM, FESEM and mechanical testing, *Construction and Building Materials* (2005), Vol. 19, No. 5, pp. 396-403.

[14] C. Perlot, J. Verdier, M. Carcassès, Influence of cement type on transport properties and chemical degradation: Application to nuclear waste storage, *Materials and structures* (2006), Vol. 39, No. 5, pp. 511-523.