

Journal of Materials and Engineering Structures

Research Paper

La Vase Calcinée des Barrages autant qu'addition substituable partiellement au ciment : comportement vis-à-vis de l'Attaque de l'Acide Chlorhydrique

The Dam's Calcined Mud as an addition partially substitutable for cement: the behavior towards Hydrochloric Acid attack

Abdelkadir Belghit ^{a*}, Nasr Eddine Bouhamou ^a, Miloud Hamadache ^b, Belkacem Ziregue ^a

^a Université Abd El Hamid Ibn Badis (UMAB), Laboratoire de Matériaux et des Procédés de Construction (LMPC), Route Belhacel 27000, Algérie

^b Centre Universitaire de Relizane, Département de Génie Civil, Relizane, Algérie

ARTICLE INFO

Historique de l'article :

Reçu : 23 Aout 2021

Révisé : 27 Février 2022

Accepté : 18 Juin 2022

Mots clés:

Mortier

Pouzzolane

Vase calcinée

Acide chlorhydrique

Keywords :

Mortar

Pouzzolana

Calcined mud

hydrochloric acid

RESUME

La vase calcinée des barrages en Algérie a été proposée par plusieurs chercheurs pour son utilisation autant qu'addition substituable partiellement au ciment, ce qui est bénéfique dans de multiples domaines (techniques, économique et environnemental), l'objectif de ce travail vise à évaluer le comportement des mortiers à base de cette vase vis-à-vis l'attaque de l'acide chlorhydrique, pour concrétiser cet objectif une formulation de mortier témoin et trois autres à base de ciment modifié avec des taux de substitution massique de ciment CEMI par la vase calcinée issue des sédiments de dragage du barrage Chorfa de 10%, 20% et 30%, des essais de résistance à la compression jusqu'à l'âge de 180 jours ont été élaborés en premier lieu, ensuite les quatre mortiers ont été immergés dans des solutions d'acide chlorhydrique avec deux concentrations différentes 2% et 5% durant 15 semaines (105 jours), les résultats ont montré que les mortiers à base de vase résistent mieux à l'acide chlorhydrique par rapport au mortier témoin avec un avantage pour la formulation contenant 10% de vase calcinée par rapport aux autres mortiers.

ABSTRACT

The dam's calcined mud in Algeria were proposed by several researchers for its use as an addition partially substitutable for cement, that is beneficial in various fields (technical, economical and environmental), the objective of this work is to evaluate the behavior of this mud towards hydrochloric acid attack, to concretize this objective one control mortar and three mortars mixtures containing modified cement by replacing cement CEMI by the calcined mud with different mass proportion of 10%, 20% and 30%, compressive strength test until the age of 180 days have been elaborated at first time, after that the four mortars were immersed in solutions of hydrochloric acid with two types of concentrations 2% and 5% during 15 weeks (105 days), the results show that the mortars based on mud resist better than the control mortar with an advantage for 10% replacement with the calcined mud than the other mortars.

* Corresponding author. Tel.: +213-670-270-270.

E-mail address: abdelkadir.belghit.etu@univ-mosta.dz

1 Introduction

Plusieurs exigences environnementales ont été soulignées visant à stopper le réchauffement climatique, principalement celles reliées à l'augmentation des dégagement gazeux dans la nature causé par l'être humain, notamment le dégagement de CO₂ [1], évalué à 33 Gt en 2021 [1], dont 2.2 Gt dû au secteur de la fabrication des ciments [2], spécialement lors de la production du clinker, car 50% à 60% de cette valeur est due à la décomposition du calcaire et 30 à 40% à la combustion du carburant par les Fours des cimenteries [3]. Pour améliorer cette situation plusieurs chercheurs ont proposé l'utilisation des additions minérales pour le remplacement du ciment par des proportions variables de pouzzolane, la fumée de silice, le laitier granulé de haut fourneau, les cendres volantes, le métakaolin..... etc [4-6]. En Algérie plusieurs types de vases des barrages ont été proposés pour leur utilisation autant qu'additions (Bouhnifia, Fergoug et Chorfa) [7-10], disponibles en Millions de Mètres cubes (32 millions mètres cubes en 2010) et présentant un vrai problème de dépôt après leurs dragages par les services concernés [11]. La vase du barrage Chorfa est un des matériaux proposés pour ce domaine d'utilisation, non encore exploité par les cimenteries, après son traitement thermique avec 750°C pendant 5 heures selon le procédé de Semcha [12], utilisée pour le remplacement du ciment avec des taux allant jusqu'à 30 % [12-15]. A l'état frais elle est caractérisée par la diminution de l'ouvrabilité en fonction du taux de remplacement [12-15], des résistances à la compression meilleures que celle de la pouzzolane naturelle à court et à long terme [14], sa teneur en dioxyde de silicium réactif (SiO₂) lui offre une capacité de réagir avec la chaux libre et la portlandite pour produire des C-S-H de second degré (réaction pouzzolanique) ce qui a été traduit par l'augmentation des résistances à la compression à long terme après l'âge de 120 jours [13]. Les mortiers à base de vase calcinée de barrage Chorfa (VCC) ont développé des résistances à la compression supérieure à celles du témoin pour les taux de 10% et 20% et un comportement similaire au témoin pour le taux de 30 %. Ces résultats ont été considérés meilleurs que ceux relatifs aux sédiments des autres barrages (Bouhnifia et Fergoug) [13-15]. Vu l'importante finesse à l'échelle nano et micro particules elle joue un rôle filler et participe à la densification de la structure des bétons et des mortiers ce qui est favorable pour la durabilité [15], l'utilisation de la VCC diminue la chaleur d'hydratation du ciment et surtout pour le taux de remplacement de 20% de ciment CEMI par la vase calcinée par rapport aux autres taux de remplacement [16] ce qui diminue les fissurations des bétons produits à base de cette vase. Plusieurs programmes expérimentaux ont été élaborés pour évaluer la VCC autant qu'addition au ciment et son effet dans les matériaux cimentaires subissant les attaques sulfatiques, attaques acides, carbonatation, attaque à l'eau de mer avec un avantage des bétons à base de la VCC par rapport au ciment seul [12-14, 17], l'étude de Safer [16] sur la résistance des bétons ordinaires contenant 10%, 20% et 30% de VCC envers l'attaque de l'acide chlorhydrique a montré un comportement similaire au béton témoin surtout pour les compositions à 10 et 20% de vase, l'exposition de la VCC à l'acide chlorhydrique n'a pas été bien évaluée vu que seul Belaribi [14] dans des formulations de bétons autoplaçants a suivi la résistance des formulations contenant un taux de remplacement de 20% par les sédiments calcinés de barrage Chorfa, et il a prouvé une résistance meilleure à celui du BAP témoin (à base d'un ciment CEMI). La résistance des matériaux cimentaires contenant la pouzzolane a été expliquée par les chercheurs par la consommation de la chaux libre et la portlandite sensibles à l'acide chlorhydrique [5], aussi Mohit [18] a expliqué la résistance de la pouzzolane mieux que le ciment à base de clinker dans une solution Acide par la consommation de la portlandite qui réagit dans le cas contraire avec le HCl en produisant les chlorures de calcium CaCl₂ qui est soluble ce qui est néfaste pour la matrice cimentaire et facilite la décomposition des C-S-H et C-A-H.

Le présent travail vise à évaluer les ciments à base de la vase calcinée de barrage Chorfa dans des formulations de mortiers vis-à-vis de l'acide chlorhydrique.

Tableau 1 - Caractéristiques physiques du ciment CEMI.

Propriétés	Masse Volumique Absolue (g/cm^3)	Finesse suivant la méthode Blaine (cm^2/g)
CIMENT CEMI	3.14	3285

2 Matériaux utilisés

2.1 Ciment

Le ciment utilisé dans le présent travail, est un CEMI 42.5 produit par GICA-Algérie, conforme à la norme Algérienne NA 442, 2003 [19], et la normalisation européenne NF EN 197-1 [20], dont les caractéristiques physiques (Tableau 1), la

composition chimique (Tableau 2), et la composition minéralogique du clinker selon les formules de Bogue (Tableau 3) sont présents ci-après.

Tableau 2 - Composition chimique du ciment CEMI.

Constituants (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	So ₃	Cl
Ciment CEMI	20.72	04.56	4.98	63.24	0.21	0.79	1.82	2.54	0.05

Tableau 3 - Composition minéralogique du clinker calculée selon les formules de Bogue.

Composants (%)	C ₃ S	C ₃ A	C ₂ S	C ₄ AF
Cement CEMI	62.22	3.66	12.26	15.15



Fig. 1 – Etapes de préparation de la vase calcinée de barrage Chorfa (a) Extraction, (b) La vase à l'état humide (c,d) Calibrage 25mm, (e) Etuve à 40°C, (f) Broyage, (g) Tamisage 63 µm, (h) Traitement thermique 750°C pendant 5 heures, (i) Vase calcinée prête à utiliser.

2.2 La vase calcinée du barrage Chorfa

Les sédiments du barrage Chorfa ont été extraits de la vanne de vidange (Figure1.a), transportés au laboratoire, séchés à l'air libre pendant quelques jours (Figure1.b), la vase a été calibrée à des dimensions de 25 mm (Figure1.c et 1.d), passée à l'étuve avec une faible température (40°C) jusqu'à l'élimination de l'eau (Figure1-e), broyée par un broyeur à boulettes (Figure1.f), tamisée dans des mailles de 63 µm (Figure1.j), traitée thermiquement dans un four de calcination (Figure 1.h) à

une température de 750°C pendant 5 heures avec une hausse de température de 5°C/min selon le procédé de Semcha [12], les Tableaux 4 et 5 montrent les caractéristiques techniques et la composition chimique de la vase calcinée de barrage Chorfa.

Tableau 4 – Caractéristiques techniques de la vase calcinée de barrage Chorfa.

Propriétés	Masse Volumique Absolue (g/cm^3)	Finesse suivant la méthode Blaine (cm^2/g)	Indice d'activité pouzzolanique « i % »	pH
La vase calcinée	2.58	7190	92	10.51

Tableau 5 – Composition chimique de la vase calcinée de barrage Chorfa.

Constituants (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	So ₃
La vase calcinée	49.22	12.11	07.23	23.99	0.44	3.22	2.45	0.13

2.3 Le Sable

Deux types de sables ont été utilisés à savoir un sable alluvionnaire de nature siliceuse de Oued el Kheir (Figure 2.a) et un sable concassé calcaire de Terga (Figure 2-b), lavés dans des tamis 63 μm jusqu'à l'élimination des fines avec conservation des fines de sable concassé, ensuite passés à l'étuve jusqu'à leurs séchage, les résultats de caractérisation technique et composition chimiques sont montrés dans les Tableaux 6 et 7, et les courbes granulométriques sont illustrées par la Figure 3. Pour avoir un sable remplissant les prescriptions techniques de la normalisation NF P 18-545 [21], et vu que le sable concassé a présenté de bonnes caractéristiques à part le module de finesse égale à 3.7, nous avons effectué un mélange des deux sables (40% de sable alluvionnaire 0/1 de Oued el Kheir et 60% de sable concassé 0/4 de Terga) pour avoir un module de finesse conforme à la norme [21], et le mélange obtenu a donné un module de finesse égal à 2.8. La Figure 3 montre que la granulométrie du sable corrigé (40% Sable naturel +60% sable concassé) s'insère parfaitement dans le fuseau préférentiel, qui correspond à la granularité normalisée des sables pour mortiers NF P 18-545 [21].



Fig. 2 – (a) Sable alluvionnaire de Oued el Kheir (b) Sable concassé de Terga.

Tableau 6 – Caractéristiques techniques des deux sables utilisés.

Propriétés	Masse Volumique Absolue (g/cm^3)	Module de Finesse	Equivalent de sable	Impuretés prohibés	Coefficient d'absorption	Matière Organique	pH
Sable alluvionnaire	2.70	1.48	84.26	Néant	1.53	0.59	9.53
Sable concassé	2.73	3.70	89.79	Néant	4.12	0.69	9.95

Tableau 7 – Composition chimique des deux sables utilisés.

Constituants	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	So ₃ (%)	Cl (%)	Na ₂ O (%)
Sable alluvionnaire	86.90	0.00	0.39	11.68	0.00	0.0213	0.00
Sable concassé	10.89	0.33	0.78	74.77	0.00	0.0284	0.00

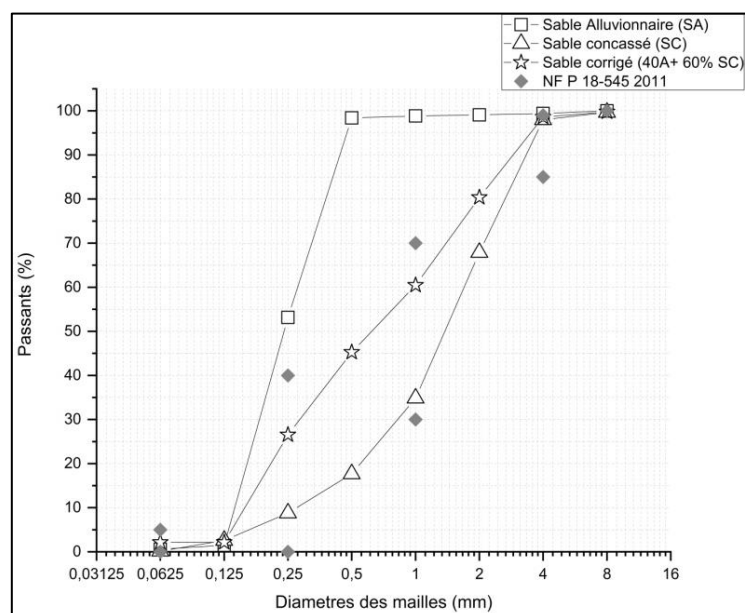


Fig.3 – Courbes granulométriques des deux sables utilisés.

3 Méthodes expérimentales

3.1 Préparation et production

Quatre mortiers ont été confectionnés, dont un témoin à base de ciment CEMI 42.5 et trois autres à base de ciments modifiés avec un remplacement du ciment CEMI par la vase calcinée de barrage Chorfa avec des taux massiques de 10%, 20% et 30% notés MT, MV10, MV20, MV30 respectivement. Les formulations des mortiers ont été développées avec des proportions massiques Sables : Ciment : Eau égales à 3 : 1 : 0.5 selon NF EN 196-1 [22] pour le MT, et pour les trois mortiers contenant la vase calcinée, un ajustement de la quantité d'eau à l'aide d'un maniabilimètre type B, selon les normes NF EN18-452 et NF EN 15-437 [23, 24], de façon à assurer une maniabilité équivalente de l'ensemble des mortiers, afin d'éviter un manque d'eau de gâchage.

Tableau 8 – Formulations des mortiers.

Type	Sable (g)	Ciment CEMI (g)	Vase calcinée (g)	Eau (g)	E/(C+V)
MT	1350	450	0	225	0,5
MV10	1350	405	45	229,5	0,51
MV20	1350	360	90	240,75	0,535
MV30	1350	315	135	247,5	0,55

avec :

- MT : Mortier témoin.
- MV10 : Mortier avec 10% de la vase calcinée pour le remplacement du ciment CEMI.
- MV20 : Mortier avec 20% de la vase calcinée pour le remplacement du ciment CEMI.
- MV30 : Mortier avec 30% de la vase calcinée pour le remplacement du ciment CEMI.

Les quatre mélanges (Voir le Tableau 8), ont été malaxés par un malaxeur « CONTROLAB » (Figure 4-a) conformément à la norme NF EN 196-1 [22], deux types d'éprouvettes ont été confectionnées à savoir des éprouvettes prismatiques 40x40x160 mm (Figure 4.b), pour les essais de résistance à la compression NF EN 196-1 [22], des éprouvettes cubiques de 50 mm (Figure 4.c) pour suivre la perte de masse, perte de volume et chute de densités des mortiers exposés à l'acide chlorhydrique HCl [25-27], elles sont compactées sur une table vibrante pendant 30 secondes pour l'élimination au maximum

des bulles d'air (Figure 4.b), il faut assurer un surfacage supérieur à l'aide d'une raclette, ensuite les moules ont été protégés par un film plastique pendant 24 heures (Figure 6.d), après cette échéance les éprouvettes ont été démoulées (Figures 5.a et 5.b) mises en cure dans l'eau saturée en chaux avec une température de 20°C afin d'éviter la dissolution de la portlandite jusqu'au jour de l'essai.

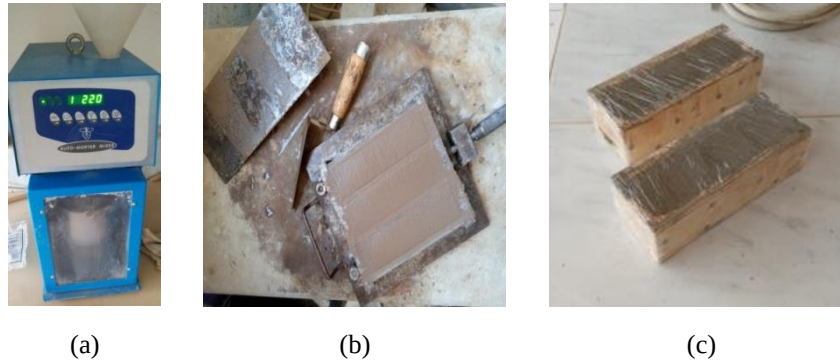


Fig. 4 - Etapes de confection des éprouvettes (a) Malaxeur de mortier CONTROLAB (b) Moule 40x40x160 mm sur une table vibrante (c) Moules cubiques 50 mm protégés par un film plastique.

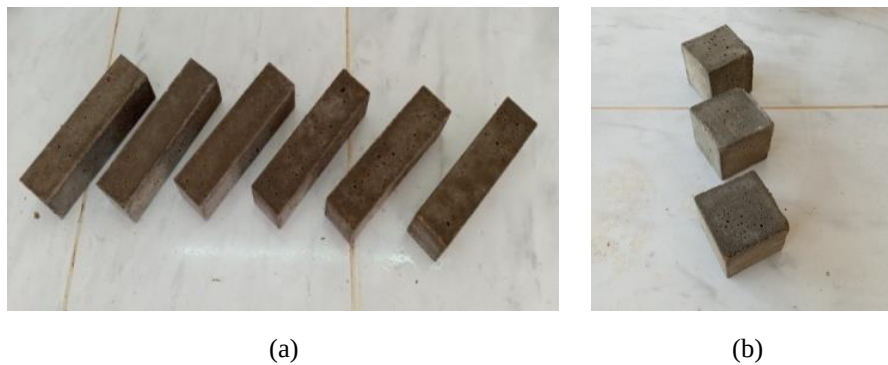


Fig. 5 – Démoulage des éprouvettes (a) Prismatique 4x4x16 mm (b) Cubiques 50mm.

3.2 Procédures et essais

Le jour de l'essai, les éprouvettes prismatiques 40x40x160 mm, ont été rompues en deux, par le dispositif de flexion de la presse hydraulique CONTROLAB, les deux parties de l'éprouvette ont été utilisées pour l'essai de la résistance à la compression (Figure 6) [22]; la valeur de la résistance à la compression à prendre en considération est la moyenne de trois valeurs d'essai de compression avec une tolérance de 10%, les échéanciers de suivi des essais mécaniques sont: 3, 7, 14, 28, 56, 90 et 180 jours.



Fig. 6 – Essai de résistance à la compression des mortiers.

Une des propriétés de transfert a été testée par l'essai d'absorption d'eau après immersion des mortiers (*Abs*), effectué sur des éprouvettes prismatiques $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$, à l'âge de 28 jours et 180 jours. (*M*) est la masse de l'échantillon à l'état saturé, ensuite les mêmes éprouvettes ont été mises à l'étuve 105°C afin de suivre la variation de la masse chaque 24 heures avec une erreur de 0.2% entre deux pesées successives (*Md*), et la valeur d'absorption d'eau après immersion à prendre en considération est déterminée par la Formule 1 [28, 29].

$$Abs = \left(\frac{M - Md}{Md} \right) \times 100 \quad (1)$$

Concernant l'essai de l'attaque acide, les éprouvettes cubiques 50 mm ont bénéficié d'une cure en eau saturée en chaux pendant une période de maturation de 90 jours, elles sont retirées des bassins 24 heures avant l'exposition à l'acide et laissées à l'air libre, ensuite les éprouvettes ont été immergées dans deux solutions d'acide chlorhydrique (Figure 7) avec des concentrations différentes 2% et 5% pendant 15 semaines (105 jours) [25-27], un suivi de perte de masse, perte de volume, variation de densité a été effectué chaque semaine, après chaque suivi hebdomadaire les solutions des acides ont été renouvelées.



Fig. 7 – Immersion des éprouvettes dans la solution acide.

Les densités apparentes (*D*) ont été calculées à l'aide de la formule 2, l'échéancier de mesure des densités apparentes est : 3, 7, 14, 28, 56, 90 et 180 jours [30, 31].

$$D = \frac{M}{V} \times \frac{1}{\rho_{Eau}} \quad (2)$$

La masse des éprouvettes à l'état saturé (*M*) a été déterminée après avoir été retirées de l'eau, essuyées par un morceau de tissu afin d'éliminer l'excès d'eau, et pesées à l'air libre pour obtenir la masse de l'échantillon à l'état saturée (*M*) selon NF EN 12390-7 [30].

La détermination du volume (*V*) des éprouvettes a été élaborée par la mesure des masses des échantillons sous l'eau (*Mw*) avec un étrier de mesure de masse sous l'eau de masse (*Met*) selon la normalisation NF EN 12390-7 [30] et la valeur de volume (*V*) à prendre en considération à l'aide de la formule 3.

$$V = \frac{M - [(Met - Mw) - Met]}{\rho_{Eau}} \quad (3)$$

Où l'unité de (*V*) est en cm^3 , (*M*, *Md*, *Mw* et *Met*) en gramme (g) et ρ_{Eau} en g/cm^3 .

La perte de masse (*P.M*) est calculée selon la Formule 4.

$$P.M = \left(\frac{M1 - M2}{M1} \right) \times 100 \quad (4)$$

avec : (M_1 et M_2) les masses du même échantillon avant et après immersion.

Mêmes les pertes de volumes et les chutes des densités sont calculées de la même façon que celle de la perte de masse (Formule 4).

4 Résultats Obtenus

Les résultats de résistance à la compression (R_c) des mortiers sont illustrés dans la Figure 8, un écart a été remarqué à jeune âge entre les mortiers contenant de la vase calcinée et le mortier témoin (surtout à 7 jours), après l'âge de 90 jours les résistances se rapprochent et avec le temps deviennent équivalentes avec moins de 5 MPA d'écart à l'âge de 180 jours ; Les R_c du mortier MV30 sont faibles par rapport aux autres mortiers et ces dernières s'arrêtent d'augmenter après 90 jours.

Les résultats obtenus peuvent être expliqués par la réaction pouzzolanique pour les mortiers à base de VCC par la production des C-S-H de second degré à long terme, qui se traduit par une augmentation dans la résistance à la compression après les 90 jours, les mortiers 10% et 20% présentant les meilleures proportions pour le remplacement du ciment CEMI en matière de résistance à la compression, le taux allant jusqu'à 20% est bénéfique pour la consommation de la chaux libre et la portlandite résultante de l'hydratation du ciment CEMI.

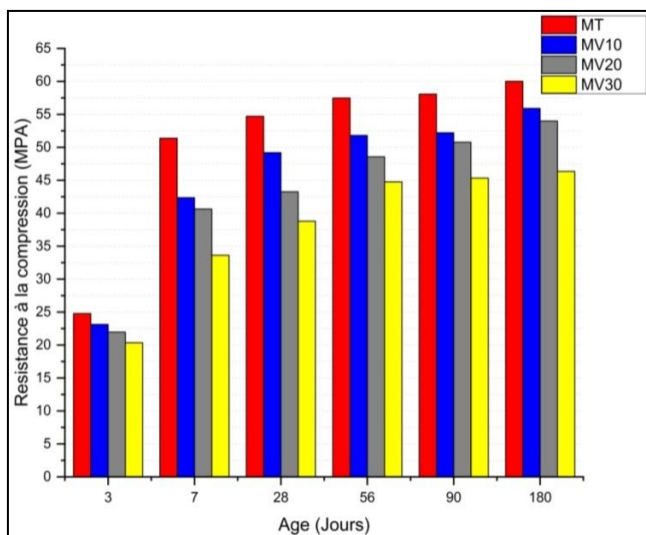


Fig. 8 – Résistances à la compression des mortiers.

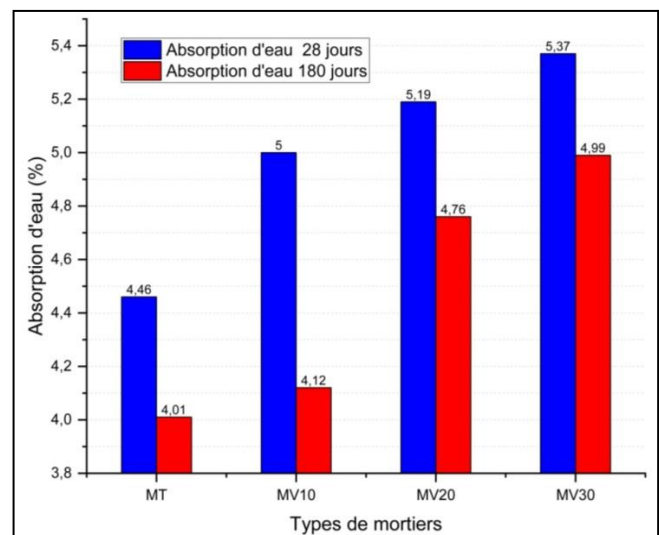


Fig. 9 - Absorption d'eau après immersion des mortiers.

La Figure 9 montre les résultats d'absorption d'eau après immersion des mortiers, on remarque un faible taux d'absorption d'eau du mortier témoin par rapport aux autres à l'âge de 28 jours, et les résultats pour les quatre mortiers MT, MV10, MV20 et MV30 sont égaux à 4.45%, 5.00%, 5.19% et 5.37% respectivement.

Les valeurs d'absorption d'eau après immersion à l'âge de 180 jours pour les mêmes mortiers sont égaux à 4.01%, 4.12%, 4.76% et 4.99% respectivement. On remarque qu'elles diminuent à cette échéance par rapport aux valeurs de 28 jours spécialement pour les mortiers contenant de la vase calcinée, une valeur d'absorption d'eau de MV10 similaire à celle du MT et un écart moins important pour les mortiers MV20 et MV30.

On peut expliquer les hautes valeurs d'absorption d'eau à l'âge de 28 jours par le rapport E/C élevé pour les mortiers contenant la vase calcinée ; Après 180 jours, ces valeurs diminuent surtout pour les mortiers à base de VCC, ces résultats sont dû à la réaction pouzzolanique qui résulte la production des C-S-H, occupation des vides, diminution de la taille des pores ce qui a compensé les hautes valeurs d'absorption d'eau constatées à l'âge de 28 jours.

Dans les conditions de cure normale, comme présenté dans la Figure 10, les quatre mortiers perdent entre 0.9% à 1.4% de masse, diminuent de volume de 0.25 à 4.5% et leurs densités augmentent de 1.5% à 6%; On remarque que MV10 et MV20 enregistrent les plus grandes valeurs d'augmentation de densité, ce qui est dépendant des réactions chimiques qui se passe au

cours du temps, permettant la consommation de la portlandite, la production des C-S-H, la diminution de la porosité et la densification des structures.

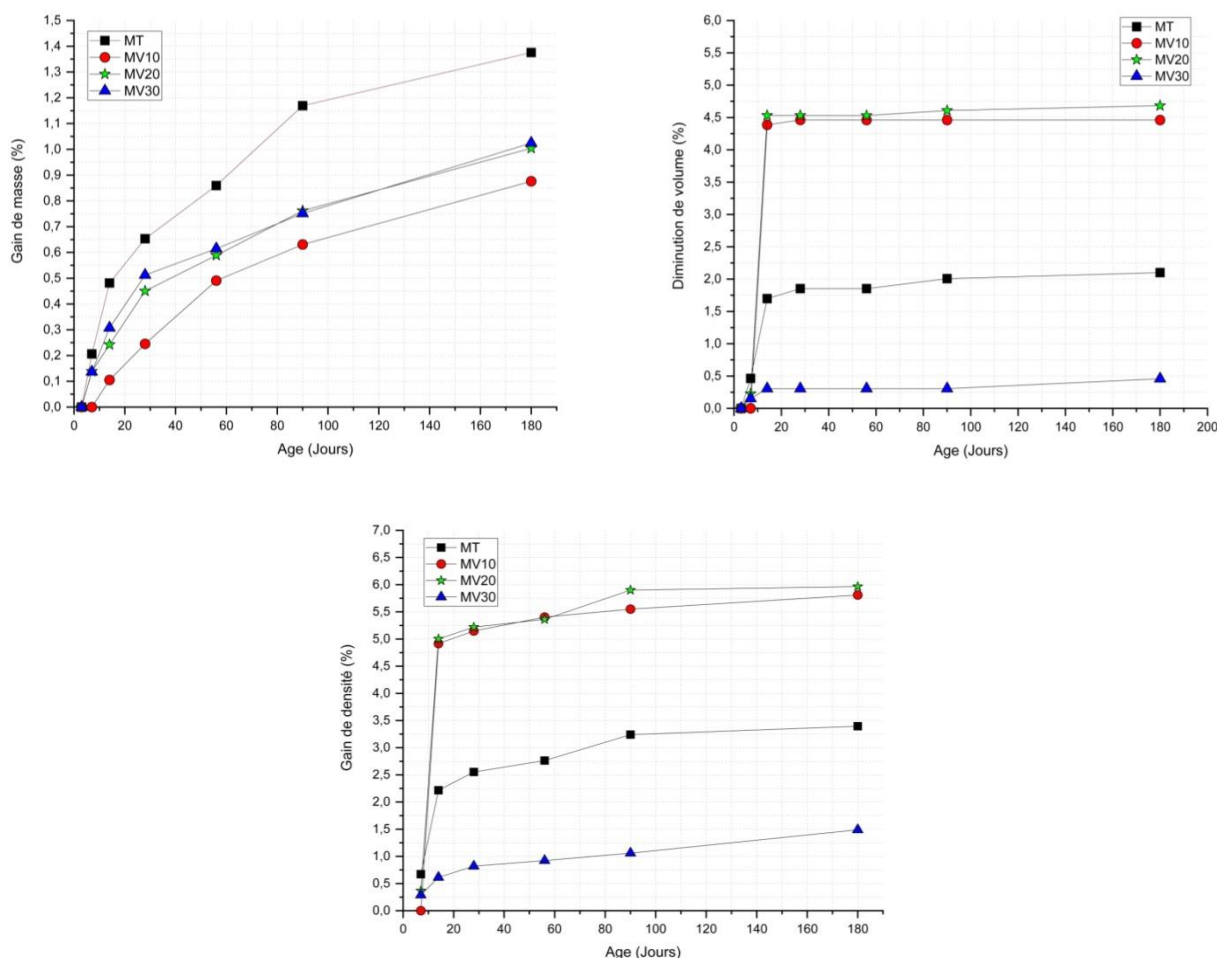


Fig. 10 – Résultats d’essais dans une cure normale.

La Figure 11 montre les résultats de perte de masse, perte de volume et chute de densités des quatre mortiers après immersion pendant 15 semaines dans une solution d’acide chlorhydrique avec une concentration de 2%, on remarque que les pertes de masse enregistrées pendant les 5 premières semaines sont faibles et identiques pour l’ensemble des mortiers, avoisinant les 4%, après 5 semaines d’immersion les pertes de masse augmentent avec une cadence plus importante. La perte de masse finale des mortiers MT, MV10, MV20 et MV30 est 21.01%, 17.96%, 20.61% et 19.07% respectivement (Figure 11), il est à noter une résistance plus importante du mortier MV10 par rapport aux trois autres mortiers, et un comportement similaire des mortiers MV30, MV20 par rapport au mortier témoin MT, ce qui est visiblement clair sur la Figure 12.

D’une part ces résultats sont expliqués par la bonne proportion entre le ciment CEMI utilisé avec 10 % de la vase calcinée, ce qui permet à la bonne consommation des produits d’hydratation du ciment (la chaux libre et la portlandite) sensibles en contact avec l’acide chlorhydrique ; D’autres part à la diminution de la porosité constaté pour le MV10 dans les essais qui précèdent ce qui est bénéfique contre les attaques acides.

Comme vu dans la figure 11, la perte de volume des mortiers a été équivalente à la variation de masse des mêmes mortiers, pour la chute de densité on remarque qu’après les 5 semaines l’ensemble des mortiers commence à perdre leurs densités avec un meilleur comportement pour le MV10 car il contient moins de chaux libre et de portlandite par rapport au MT, par contre le MV20 et le MV30 et MT développent le même comportement.

Comme montré dans la Figure 13, les résultats des paramètres de suivi étudiés à savoir la perte de masse, perte de volume et chute de densités des quatre mortiers après immersion pendant 15 semaines dans une solution d’acide chlorhydrique avec

une concentration à 5%, les pertes de masse enregistrés pendant les 5 premières semaines sont faibles pour l'ensemble des mortiers, après 5 semaines d'immersion les pertes de masse augmentent avec une cadence plus importante, et la perte de masse finale des mortiers MT, MV10, MV20 et MV30 est 58.01%, 38.10%, 48.81% et 56.30% respectivement. Le mortier MV10 développe une forte résistance par rapport à celle des autres mortiers, le second ordre de résistance est enregistré pour le mortier MV20 et un comportement similaire entre MV30 et MT, ce qui est visiblement clair au Figure 14.

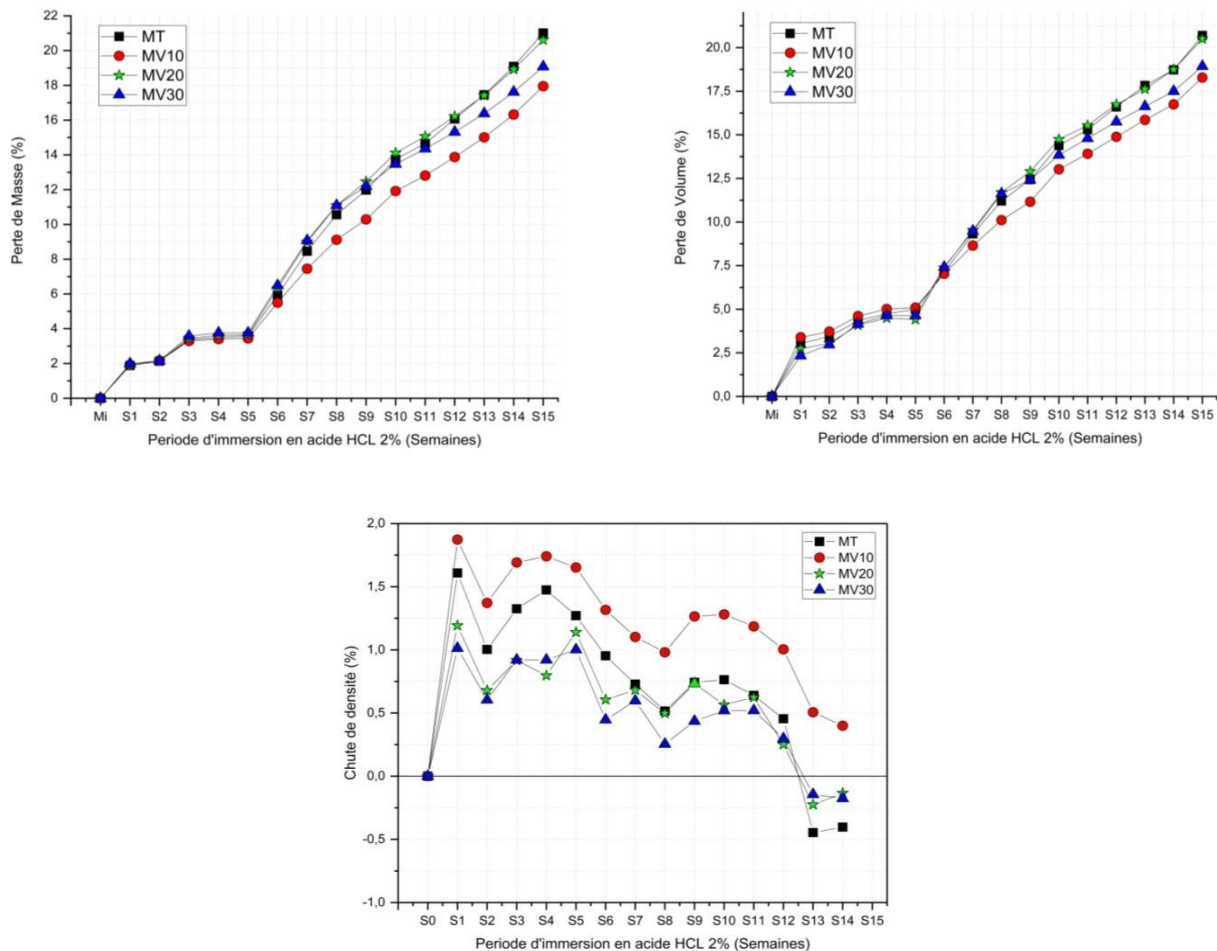


Fig. 11 – Résultats d'essais d'attaque de l'acide chlorhydrique 2%.



Fig. 12 – Mortiers MT, MV10, MV20 et MV30 après 15 semaines d'immersion en solution HCl 2%.

Ces résultats montrent clairement l'avantage de MV10 par rapport aux autres mortiers, et approuve l'explication de la meilleure proportion de 10% de vase calcinée pour le remplacement de ciment CEMI pour la résistance à une attaque acide par rapport aux autres mortiers, dû à la diminution du taux de la chaux libre et la portlandite sensibles aux acides; Le MV20

en second ordre de résistance, ceci est expliqué par le taux d'absorption élevé de MV20 par rapport au MV10 qui favorise l'infiltration des acides à l'intérieur du mortier et accélère l'attaque contre les composants sensibles.

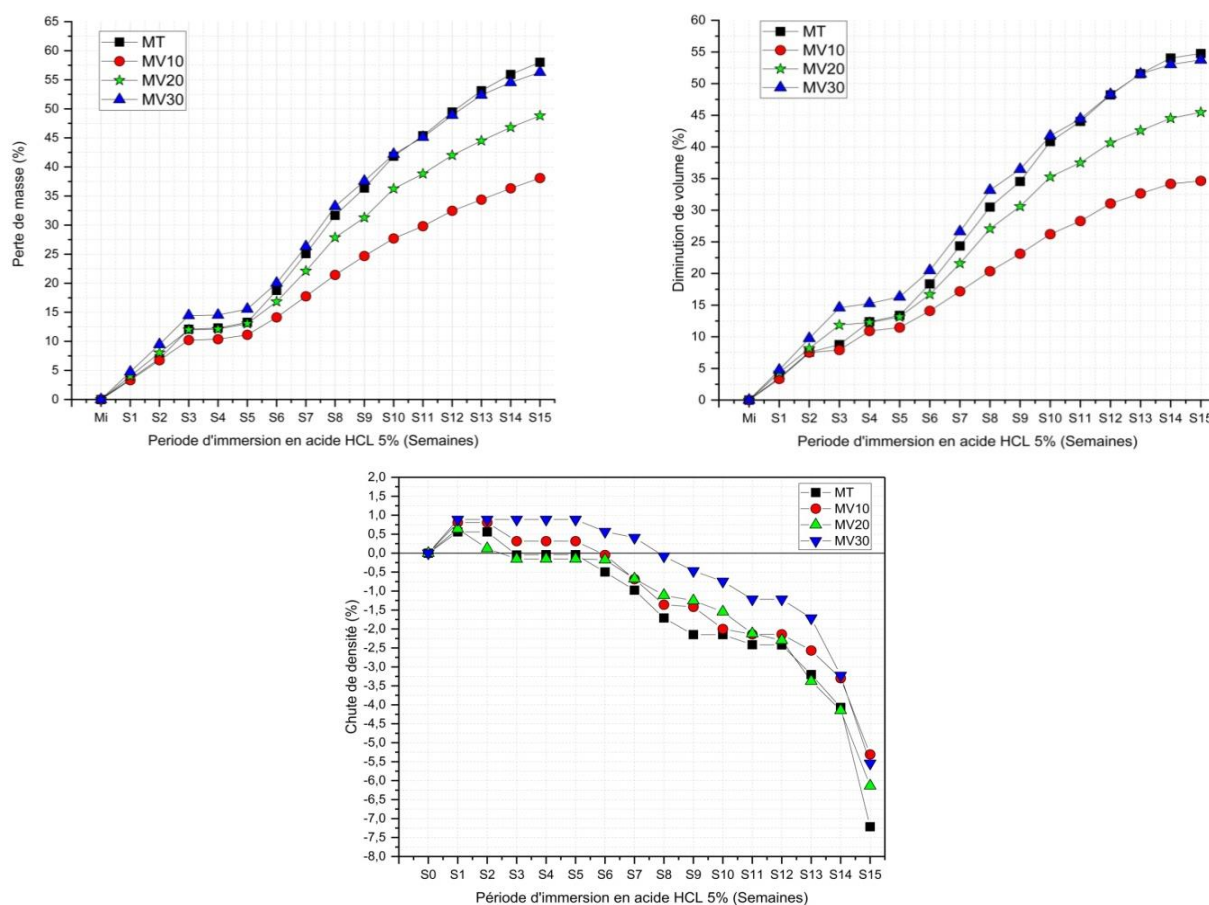


Fig. 13 – Résultats d'essais d'attaque de l'acide chlorhydrique 5%.



Fig. 14 – Mortiers MT, MV10, MV20 et MV30 après 15 semaines d'immersion en solution HCl 5%

La perte de volume des mortiers a été similaire à la variation de masse des mêmes mortiers, pour la chute de densité on remarque qu'après les 5 semaines l'ensemble des mortiers commencent à perdre leurs densités avec un meilleur comportement pour le MV10 par rapport aux autres mortiers.

5 Conclusion

Après l'élaboration du présent travail expérimental, on peut ressortir quelques conclusions. Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de la vase calcinée autant qu'addition substituable partiellement au ciment est caractérisé par des

résistances mécaniques similaires à celles du ciment témoin à long terme surtout pour les pourcentages 10% et 20% avec des écarts qui ne dépassent pas les 5 MPa, ceci peut être expliqué par la réaction pouzzolanique entre le dioxyde de silicium réactif de la vase calcinée et la chaux libre et la portlandite résultante de l'hydratation du ciment. L'absorption d'eau après immersion des mortiers contenant la vase calcinée de barrage Chorfa est élevée par rapport au mortier témoin à l'âge de 28 jours, et ces valeurs sont reliées au rapport E/C élevé ce qui augmente la porosité des mortier par rapport au mortier témoin, ces valeurs d'absorption des mortiers contenant la vase diminuent à l'âge de 180 jours, et cette diminution a été expliquée par l'occupation des vides avec le temps par les C-S-H formés à long terme par la consommation de la chaux libre et la portlandite (réaction pouzzolanique), ce qui a compensé l'absorption élevée constaté à jeune âge (28 jours). Le mortier MV10 a présenté la meilleure résistance vis-à-vis de l'attaque de l'acide chlorhydrique par rapport aux autres mortiers confectionnés dans le présent travail, ceci est lié à la bonne consommation de la chaux libre et la portlandite et qui favorise ce mortier par rapport au mortier témoin qui a présenté une sensibilité supérieure envers cette attaque. Le mortier MV20 aussi présente une résistance meilleure que celle du mortier témoin et son comportement vis-à-vis l'acide chlorhydrique est en second ordre après le MV10, cette résistance moyenne est liée à l'absorption d'eau supérieure à celle de MV10 ce qui favorise l'attaque acide de l'intérieur du mortier, et ce comportement peut être amélioré par l'utilisation des plastifiants ou super plastifiants permettant une meilleure distribution de particules et diminuant la porosité du mortier. En fin de ce travail on peut dire que le MV10 présente la meilleure proportion massique pour son utilisation autant qu'addition substituable partiellement au ciment, et présente des meilleures caractéristiques par rapport aux autres mortiers du présent travail sur les plans (mécanique, absorption capillaire et résistance à l'acide HCl), le MV20 en second ordre et sa formulation peut être développée par des plastifiants ou superplastifiants améliorant son ouvrabilité.

REFERENCES

- [1]- S. Bouckaert, A.F. Pales, C. McGlade, U. Remme, B. Wanner, L. Varro, D. D'Ambrosio, T. Spencer, Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, I.E. Agency, Editor Paris, France (2021).
- [2]- J. Pedraza, A. Zimmermann, J. Tobon, R. Schomäcker, N. Rojas, On the road to net zero-emission cement: Integrated assessment of mineral carbonation of cement kiln dust. *Chem. Eng. J.*, 408 (2021) 127346. doi:10.1016/j.cej.2020.127346.
- [3]- E. Benhelal, E. Shamsaei, M.I. Rashid, Challenges against CO₂ abatement strategies in cement industry: A review. *J. Environ. Sci.*, 104 (2021) 84-101. doi:10.1016/j.jes.2020.11.020.
- [4]- B. Lothenbach, K. Scrivener, R.D. Hooton, Supplementary cementitious materials. *Cem. Concr. Res.*, 41(12) (2011) 1244-1256. doi:10.1016/j.cemconres.2010.12.001.
- [5]- K. Scrivener, F. Martirena, S. Bishnoi, S. Maity, Calcined clay limestone cements (LC3). *Cem. Concr. Res.*, 114 (2018) 49-56. doi:10.1016/j.cemconres.2017.08.017.
- [6]- J. Newman, B.S. Choo, *Advanced concrete technology* set. Elsevier, 2003.
- [7]- L. Laoufi, Y. Senhadji, A. Benazzouk, Valorization of mud from Fergoug dam in manufacturing mortars. *Case Stud. Constr. Mater.*, 5 (2016) 26-38. doi:10.1016/j.cscm.2016.06.002.
- [8]- N. Belas, N. Besseghier, A. Mebrouki, N. Bouhamou, Vers une protection de l'environnement en valorisant la vase draguée du barrage comme composant du béton. *Mater. Tech.*, 97(4) (2009) 231-240. doi:10.1051/mattech/2009039.
- [9]- O. Safer, N. Belas, O. Belaribi, K. Belguesmia, A. Mebrouki, M. Hamadache, Study of the behavior in the fresh and hardened state of an eco-concrete based on dredged sediments. *J. Mater. Environ. stud.*, 8(6) (2017) 2026-2033.
- [10]- F.K. Aoual-Benslafa, M. Ameur, B. Mekerta, A. Semcha, Caractérisation des sédiments de dragage du barrage de Bouhanifia pour une réutilisation, in XIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier–Génie Civil, P. CFL, Editor Dunkerque. (2014). doi:10.5150/jngcgc.2014.110.
- [11]- B. Remini, La problématique de l'eau en Algérie du nord. *Larhyss Journal*, (08) (2010) 27-46.
- [12]- A. Semcha. Valorisation des sédiments de dragage: Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug. Thèse de doctorat. Reims, 2006.
- [13]- O. Safer, N. Belas, O. Belaribi, K. Belguesmia, N.-E. Bouhamou, A. Mebrouki, Valorization of Dredged Sediments as a Component of Vibrated Concrete: Durability of These Concretes Against Sulfuric Acid Attack. *Int. J. Conc. Str. Mat.*, 12(1) (2018) 44. doi:10.1186/s40069-018-0270-7.
- [14]- O. Belaribi. Durabilité des bétons autoplaçants à base de vase et de pouzzoloane. Thèse de doctorat en Génie civil. École doctorale Sciences et ingénierie, Cergy-Pontoise, Val d'Oise, 2015.
- [15]- K. Belguesmia, N.B. Belaribi, O. Amiri, N. Leklou, O. Belaribi, Influence of treated sediment substitution

- percentage on workability, strength and porosity of SCC. *J. Mat. Eng. Str. «JMES»*, 5(1) (2018) 47-55.
- [16]- T. Fatima. Contribution à l'Étude du Retrait des Mortiers de Béton Autoplaçant Équivalent à Base de Sédiments de Dragage. Thèse de doctorat. Université de Mostaganem, 2019.
- [17]- O. Safer, N.B. Belaribi, O. Belaribi, K. Belguesmia, F. Taieb, M. HAMADACHE, Resistance of concrete based on treated mud to sea water attack. *J. Mat. Eng. Str. «JMES»*, 8(1) (2021) 111-121.
- [18]- M. Mohit, A. Ranjbar, Y. Sharifi, Mechanical and microstructural properties of mortars incorporating ceramic waste powder exposed to the hydrochloric acid solution. *Constr. Build. Mater.*, 271 (2021) 121565. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121565.
- [19]- AS, NA 442, Algerian Standard, Cement: Composition, specifications and conformity criteria for common cements, IANOR Algiers. (2003).
- [20]- AFNOR, NF EN 197-1, Composition, specifications and conformity criteria of common cements, Paris, France. (2012).
- [21]- AFNOR, NF P 18-545, Aggregates - defining elements, conformity and coding, Norme française (2011).
- [22]- AFNOR, NF EN 196-1 : Method of Testing Cement, Paris, France. (2016).
- [23]- AFNOR, NF P15-437, Hydraulic binders - Testing technics - Characterization of cements by fluidity measurement under mortar vibration, Association Française de Normalisation France: Paris. (1987).
- [24]- AFNOR, NF P 18-452, Concretes - Measuring the flow time of concretes and mortars using a workability meter. AFNOR, Paris, (2017).
- [25]- Y. Senhadji, G. Escadeillas, M. Mouli, H. Khelafi, Benosman, Influence of natural pozzolan, silica fume and limestone fine on strength, acid resistance and microstructure of mortar. *Powder Technol.*, 254 (2014) 314-323. doi:10.1016/j.powtec.2014.01.046.
- [26]- ASTM, C 267, Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic, ASTM International West Conshohocken, USA. (2012).
- [27]- I. Laoufi, L. Laoufi, Y. Senhadji, A. Benazzouk, Study of Mortars Made with Natural and Artificial Pozzolans. *J. Mat. Eng. Str. «JMES»*, 6(3) (2019) 427-442.
- [28]- R. Aswin Maria Sebal, N. Sakthieswaran, O. Ganesh Babu, K.K. Gaayathri, Effect of micro silica and ground granulated blast furnace slag on performance of rubberized mortar. *Materials Today: Proceedings*, 37 (2021) 1014-1018. doi:10.1016/j.matpr.2020.06.278.
- [29]- ASTM, C642-06, Standard Method for Density, Absorption, and voids in Hardened Concrete, West Conshohocken, PA: Annual Book of ASTM Standards, ASTM International West Conshohocken, USA. (2008).
- [30]- AFNOR, NF EN 12390-7, Testing hardened concrete- Part 7: Density of hardened concrete, Paris, France. (2019).
- [31]- D. Taoukil, Y. El meski, M.I. Lahlaoui, R. Djedjig, A. El bouardi, Effect of the use of diatomite as partial replacement of sand on thermal and mechanical properties of mortars. *J. Build. Eng.*, 42 (2021) 103038. doi:10.1016/j.jobte.2021.103038.