



Revue des Matériaux & Energies Renouvelable

Journal home : <https://www.univ-relizane.dz>

ISSN : 2507-7554

E- ISSN : 2661-7595



Open
Access

Incorporation des métaux lourds dans les mortiers à long terme

Bennacer Lyacine^{1*}, Balegh Benamar¹, Sellaf Hamid¹

¹ Department of technology science, University of Adrar, 01000, Algeria

² Civil Engineering and Environmental Laboratory, Department of technology science, University of Adrar, 01000, Algeria

³ Civil Engineering and Environmental Laboratory, Department of civil engineering and hydraulic, University of Saida, 20000, Algeria

RESUME

Les déchets industriels liquides, renferment des métaux lourds toxiques pouvant causer des dégâts environnementaux qui mettent en danger la santé humaine s'ils sont déversés directement dans les réseaux d'assainissement. L'utilisation de ces déchets comme eau de gâchage des liants hydrauliques constitue la méthode la plus utilisée pour réduire l'impact catastrophique de ces déchets. Ce procédé est appelé Stabilisation/Solidification par liants hydrauliques, son faible coût et la résistance mécanique relativement élevée du matériau durci justifient son utilisation parmi les différents procédés de stabilisation existants (chaulage, fixation physique, fixation chimique et vitrification) dans le monde pour le confinement des métaux lourds. L'objectif de ce travail est l'étude de l'immobilisation des métaux lourds par le procédé de Stabilisation/Solidification à base de liants hydrauliques afin de prédire la pérennité du confinement de ces déchets. Pour ce faire, une eau polluée chargée d'un métal lourd (Cu+2, Pb+2, Zn+2) a été utilisée comme eau de gâchage. Des pâtes cimentaires ont été utilisées avec des rapports Eau/ciment égal à 0,5. Les résistances en flexion et en compression des formulations étudiées ont été évaluées à 28 jours de cure. A travers les résultats des essais mécaniques, un bon piégeage des métaux lourds dans le mortier a été remarqué à 28 jours pour le plomb et le zinc. Le type de métal utilisé a une influence significative sur les propriétés mécaniques des mortiers testés. De ce fait, la formulation adoptée permet de fixer les métaux lourds dans la matrice cimentaire des mortiers tout en assurant de bonnes résistances mécaniques.

Article history:

Received 06 July 2021

Received in revised form 07 July 2021

Accepted 28 July 2021

Keys word: Mortier, Métaux lourds, Stabilisation, Solidification, Mécanique

Copyright © 2022 - All rights reserved

1. Introduction

Les unités de fabrication métallurgique et de BCR engendrent une pollution minérale toxique aux cours des opérations de dégraissage et de décharge des pièces métalliques avant le traitement chimique et l'usinage et [1-3]. Le potentiel de toxicité de ces déchets liquides composés de l'eau de lixiviat et les métaux lourds dépend en grande partie de la façon dont ils seront éliminés et traités [4]. Depuis le début des années 1990, la protection de l'environnement par un traitement et recyclage devenue une préoccupation collective pour [5,6]. Différentes lois, notamment celles du 15 juillet 1975 et 3 juillet 1992, regroupées et inscrites dans le code de l'environnement, fixent les objectifs à respecter pour gérer correctement les déchets : (i) Limiter le stockage définitif aux seuls déchets résiduels ultime ; (ii) Valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute action visant à obtenir des matériaux réutilisables. C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la recherche de nouveau matériau cimentaire capable de résoudre les problèmes techniques et écologiques (protection de l'environnement), rencontrés dans le domaine de la construction. Parmi ces matériaux, on trouve le béton. La loi Algérienne sur l'élimination et le traitement des déchets ne prévoit aucun procédé de stockage des déchets liquides de manière définitive [7]. La sévérité des nombreuses normes d'acceptation des déchets liquides en centre de stockage ou en décharge a

* Corresponding author. balegh.benamar@yahoo.com

permis l'essor des procédés physico-chimiques, notamment par l'utilisation de la technique de Stabilisation/Solidification par les liants hydrauliques (notamment le ciment) [8,9]. La facilité de mise en œuvre du procédé de Stabilisation/Solidification (mortier ou béton) par liants hydrauliques [10], son faible coût et la résistance mécanique relativement élevée du matériau durci justifient le fait qu'il soit actuellement le plus utilisé parmi les différents procédés de stabilisation existants (chaulage, fixation physique, fixation chimique et vitrification) dans le monde pour le confinement des métaux lourds dans différentes matrices de ciment [11]. Dans le présent travail, nous étudions la possibilité de confinement par le procédé de stabilisation/solidification par les liants hydrauliques (ciment Portland) de quatre types de métaux lourds (Pb, Cu, Zn, Fe). Le liant le plus communément utilisé pour contenir ces métaux lourds est le ciment Portland [12]. La contenance de ces métaux lourds varie entre la fixation chimique et le piégeage physique pour produire une matrice ciment/déchet stable. Les objectifs visés dans cette recherche est l'étude de l'immobilisation et de piégeage des métaux lourds par le procédé de Stabilisation/Solidification à base de liants hydrauliques afin de prédire la pérennité du confinement de ces déchets à long terme.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériaux utilisés

Les formulations étudiées dans cette étude sont à base de ciment CEM I 42,5 N (tableau 1) et de l'eau polluée chargée de métaux lourds. Le piégeage des métaux lourds a été effectué par le ciment avec un rapport eau/ciment égal à 0.5 [13]. Les déchets liquides utilisés sont des métaux lourds. Les solutions de cuivre, de plomb, de fer et de Zinc ont été obtenues à partir de réactifs analytiquement purs, ajoutés dans l'eau de gâchage pour avoir de différentes concentrations en métaux lourds allant de 0 à 3 mg/l. Le sable utilisé est un sable de dune quartzueux, lavé, criblé et traité dont le diamètre des grains varie entre 0 microns à 2 mm. Les deux types d'eau de gâchage sont : l'eau potable du robinet du réseau AEP de la ville d'Adrar en sud d'Algerie.

Tableau 1. Composition du ciment de base.

composant	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Perte au feu
Poids (%)	66	23	4.7	2.4	1.2	1.2	0.1

2.2. Matériels utilisés

Les mélanges à base de ciment ont été moulés pour préparer des éprouvettes avec des dimensions normalisées de 4×4×16 cm³ pour les essais mécaniques à 28 jours. Les valeurs de résistances mécanique à la compression ont été prises sur une presse de type 65-L11M2 selon la norme EN196-1 [14].



Figure 1- Dispositif de l'essai de flexion

On calcule la résistance à la flexion R_f en N/mm² au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{1,5 \cdot P_r \cdot L}{B^3} \quad (1)$$

Où :

R_f : la résistance à la flexion, en newtons par mm^2 .

B : le coté de la section carrée du prisme, en mm.

P_r : la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en N.

L : la distance entre les appuis, en mm.



Figure 2- Dispositif de l'essai de compression

les demi-prismes humides conservés sont soumis à la compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 40 mm x 40 mm. Cette essai consiste à Augmenter la charge sans à coups a la vitesse de 2400 N/s \pm 200 N/s durant toute la durée d'application de la charge jusqu'à la rupture.

Calculer la résistance à la compression R_C en N/mm² au moyen de la formule :

$$R_C = \frac{P_c}{1600} \quad (2)$$

Où :

R_C : la résistance à la compression, en newtons par millimètre carré.

P_c : la charge maximale à la rupture, en newtons.

1600 = 40 mm x 40 mm est l'aire des plateaux ou des plaques auxiliaires, en millimètres carrés.

3. Résultats et discussions

3.1. Résistance à la compression

La résistance à la compression, des formulations confectionnées, a été suivie à 28 jours de cure. La figure 3 représente l'évolution des résistances à la compression des formulations confectionnées en fonction de la concentration en métaux lourds. Il a été observé que les matériaux témoins présentent des résistances plus au moins élevées à 28 jours de cure; elles sont de l'ordre de 56 MPa. Nous constatons qu'à partir de la concentration 2,5 mg/l en ions de cuivre et de fer, la résistance à la compression diminue pour prendre respectivement la valeur de 42,5 MPa pour le cuivre et 50 MPa pour le fer lorsque l'ajout en polluant est de 5 mg/l. Cette tendance est similaire pour les deux métaux.

Aussi, nous remarquons que l'ajout du plomb augmente la résistance à long terme (28 jours). En effet lorsque nous augmentons la concentration des ions du plomb, la résistance devient très élevée pour atteindre 65 MPa dépassant ainsi celle

de l'échantillon témoin. cependant, la résistance à la compression augmente lorsque nous introduisons le Zinc dans l'eau d'hydratation. Cette résistance connaît une baisse, lorsque la concentration est faible; 2.5 mg/l.

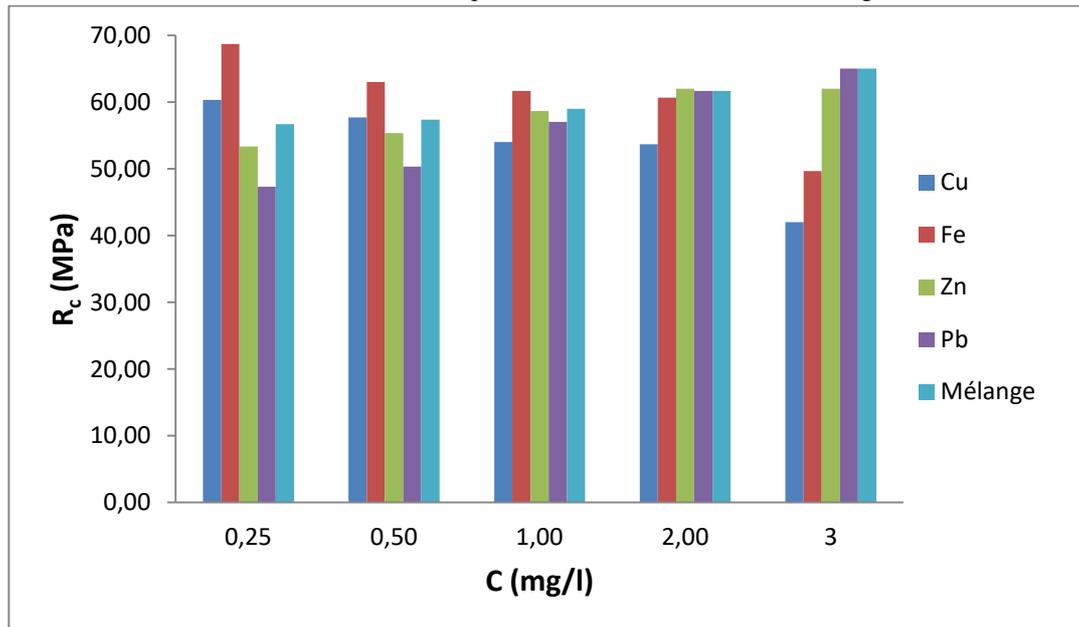


Figure 3 - Influence du taux des métaux lourds sur la résistance à la compression du mortier à 28 jours

Les résultats obtenus montrent que le mélange des métaux lourds dans l'eau de gâchage donne des résistances meilleures que celles présentées pour chaque métal seul. Aussi le mortier contenant tous les métaux lourds, présente une remarquable augmentation de la résistance par rapport à la formulation contenant un métal seul (figure 4). Ce résultat est expliqué par la compétition entre les métaux lourds pour se fixer dans la matrice cimentaire du matériau.

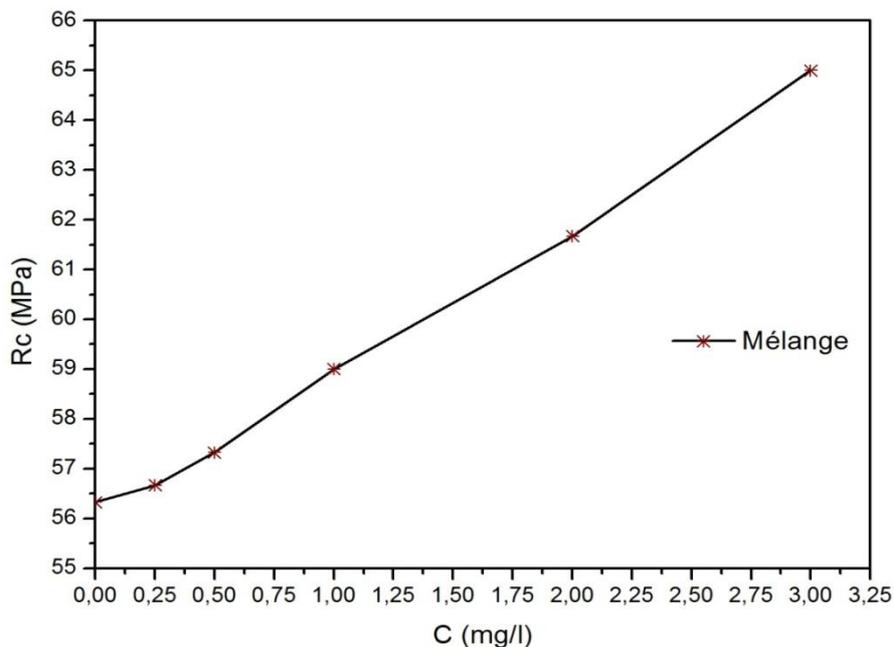


Figure 4 - Influence du taux du mélange des métaux lourds (Pb^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Fe^{+2}) sur la résistance à la compression du mortier à 28 jours

3.2. Résistance à la flexion

La résistance à la flexion, des formulations confectionnées, a été suivie à 28 jours de cure. La figure 5 représente l'évolution des résistances mécaniques des formulations confectionnées. En fonction du taux des métaux lourds incorporés dans la matrice cimentaire.

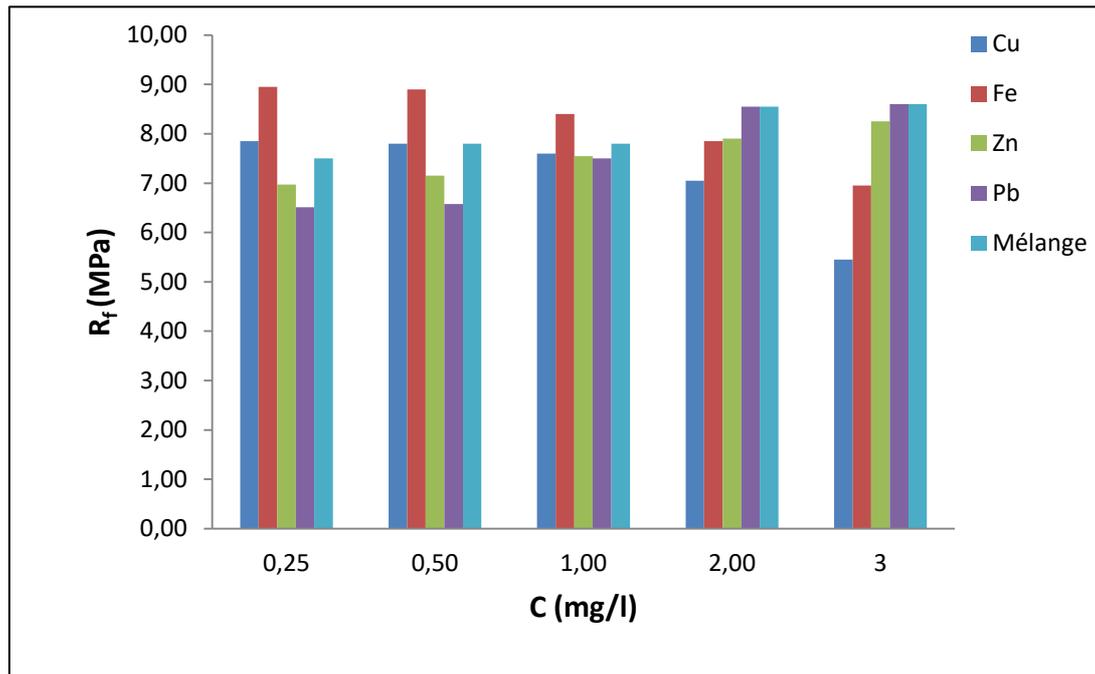


Figure 5- Influence du taux des métaux lourds sur la résistance à la flexion du mortier à 28 jours

L'histogramme démontre que la résistance à la flexion à long terme (28 jours de cure) augmente lorsque nous hydratons avec de l'eau polluée chargée de métaux lourds. Cette résistance est très élevée pour des concentrations du plomb élevées. Pour une faible concentration du plomb, la résistance à la flexion reste constante autour d'une valeur de 6,625 MPa, mais à partir de la concentration 0,5 mg/l la résistance à la flexion augmente pour se stabiliser autour de 8,5 MPa au-delà de 2 mg/l d'ajout.

La résistance à la flexion évolue de manière différente que la résistance à la compression. Nous constatons à partir de cette courbe que la résistance à la flexion augmente lorsque nous introduisons le Zinc dans l'eau d'hydratation. Cette résistance connaît une augmentation, lorsque nous augmentons la concentration du Zinc. De ce résultat, nous constatons que l'ajout de polluant dans l'eau d'hydratation a une forte influence à 28 jours de cure (figure 6).

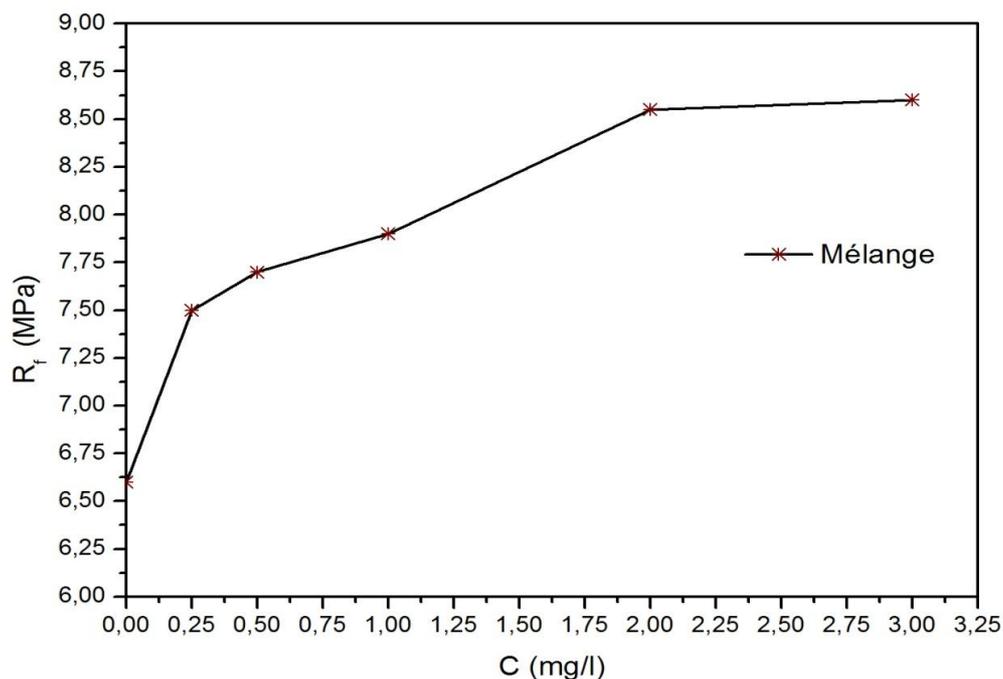


Figure 6- Influence du taux du mélange des métaux lourds (Pb^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Fe^{+2}) sur la résistance à la flexion du mortier à 28 jours

3.3. Comportement mécanique global du matériau

Nous constatons qu'à faible teneur (<0.5 mg/l) le plomb et le zinc apportent une légère augmentation de résistance. Le fer et le cuivre entraînent plutôt une baisse de la résistance à partir de la concentration 2,5 mg/l d'ajout. Cette diminution est attribuée soit, au fait que le fer et le cuivre perturbent l'hydratation de C₂S et C₃S en empêchant la formation des CSH ou bien ces deux métaux lourds perturbent la structure de CSH juste après sa formation.

L'incorporation des métaux lourds à forte concentration (>0.5 mg/l) augmente de façon considérable la résistance. Cette augmentation est le résultat du renforcement au niveau de la structure des CSH. La présence du plomb et du zinc permet ainsi au béton de travailler d'avantage en traction. La capacité portante croît avec l'augmentation de la concentration.

Les résistances mécaniques obtenues par l'essai de flexion pour le mortier confectionné avec de l'eau polluée est nettement supérieure à celle du mortier témoin. Cela est dû probablement à l'ajout du sable normalisé qui participe pleinement à la réduction de la porosité, augmentant ainsi la résistance des mortiers.

4. Conclusion

L'ensemble des expériences réalisées sur les matériaux témoin et sur d'autres matériaux obtenus par stabilisation/solidification contenant différentes quantités de métaux lourds a été présenté dans ce chapitre. Ces tests visent à démontrer l'impact de l'ajout de déchets industriels toxiques (métaux lourds) sur les propriétés physiques et mécaniques. L'exploitation des résultats des tests appliqués sur les matériaux obtenus par le procédé de stabilisation/solidification, nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les métaux lourds ont été stabilisés/solidifiés par un liant hydraulique. Il a été constaté que l'ajout des métaux lourds dans les matrices cimentaires améliore dans certains cas le comportement mécanique des mortiers, ceci est considéré comme un avantage.
- Les matériaux témoins (sans ajout de métaux lourds) ont présenté des résistances mécaniques supérieures à celles des matériaux contenant du cuivre et du fer à 28 jours de cure. Cependant, les résistances des matériaux S/S restent supérieures à celle recommandée par la norme XP X 31-212 ;
- La structure CSH capable de piéger les ions métalliques.
- Le CSH participe le plus au développement de la résistance du matériau et assure l'essentiel de la cohésion de ce dernier.

Références

- [1]- Koller, E, 2009, "Traitement des pollutions industrielles Eau", *Air. Déchets. Sols. Boues*, 2ème édition, Dunod.
- [2]- Hartley, W., Edwards, R., Lepp, N.W, 2004, "Arsenic and heavy metal mobility in iron oxide-amended contaminated soils as evaluated by short- and long-term leaching tests", *Environmental pollution*; Vol 131, p 495-504. DOI : [10.1016/j.envpol.2004.02.017](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.02.017)
- [3]- Thomas, D, Mostafa, B, Bruno, B, Tikou, B., Mamert, M, 2006, "Mécanismes de rétention des métaux lourds en phase solide : cas de la stabilisation des sols contaminés et des déchets industriels", *La revue électronique en sciences de l'environnement*; Vol 7 (2) , <https://doi.org/10.4000/vertigo.2171>
- [4]- Duffus, J.H, 2002, "Heavy metals -A meaningless term? ", *Pure and applied chemistry*; Vol 74, p 793-807.
- [5]- Serpaud, B., Al-Shukry, M., Casteigneau, M., Matejka, G, 1994, " Adsorption des métaux lourds (Cu, Zn, Cd et Pb) par les sédiments superficiels d'un cours d'eau: rôle du pH, de la température et de la composition du sédiment", *Revue des sciences de l'eau*; Vol 7, p 343-365. DOI : [10.7202/705205ar](https://doi.org/10.7202/705205ar)
- [6]- Morel, J.L., Guckert A., Claude , A.M., Jeanbille, A, 1984, " Evolution en plein champ de la solubilité dans DTPA des métaux lourds du sol introduits par des épandages de boues urbaines chaulées", *Agronomie, EDP Sciences*; Vol 4 (4), p 377-386. hal-00884648
- [7]- Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement-Algérie, 2014, " Principaux textes législatifs et réglementaires".

- [8]- Barna, R. and Blanc, D, 2011, “ Stabilisation-solidification des déchets”, *Les techniques de l'ingénieur, Doc. G 2 080*.
- [9]- Cocke, D.L., Mollah, M.Y.A, 1993, “ The chemistry and leaching mechanisms of hazardous substances in cementious solidification/stabilization systems”, *In: R.D. Spence (Ed.), Chemistry and microstructure of solidified waste forms (Ed. by R.D. Spence)*, p 187-242. Lewis.
- [10]- Trezza, M.A. and Scian ,A.N, 2007, “ Waste with chrome in the Portland cement clinker production”, *Journal of Hazardous Materials*; Vol 147, p 188-96.
- [11]- Heimann, R.B., Conrad, D., Florence, L.Z., Neuwirth, M., Ivey, D.G., Mikula, R.J and. Lam, W.W, 1992, “ Leaching of simulated heavy metal waste stabilized/solidified in different cement matrices”, *Journal of hazardous materials*; Vol 31, p 39-57.
- [12]- Alexander, M., Bertron, A., and De-Belie, N, 2013, “ Performance of cement-based materials in aggressive aqueous environments”, *RILEM TC 211-PAE Springer*.
- [13]- Malviya, R., Chaudhary, R, 2006, “Factors affecting hazardous waste solidification/stabilization: a review”, *Journal of Hazardous Materials*; Vol 137, p 267-76.
- [14]- NF EN196-1, 2006, “ Méthodes d'essais des ciments: Partie 1: détermination des résistances mécaniques”, AFNOR.
- [15]- NEN 7375:2004, Leaching characteristics of moulded or monolithic building and waste materials: determination of leaching of inorganic components with the diffusion test 'the tank test' based on a translation of the Netherlands Normalisation Institute Standard, Environment Agency, 2005.