

Matériaux

ÉTUDE DU COMPORTEMENT DES BÉTONS DE BALLES DE RIZ EN MILIEU AGRESSIF

STUDY OF RICE HUSK CONCRETE BEHAVIOR IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

AYITE Y. M. X. D.* , GUINHOUYA I., AJAVON A. S. A., BEDJA K.

Université de Lomé, BP 1515, Lomé (TOGO)

* Email : danyayite@gmail.com

1. INTRODUCTION

Les bétons de balles de riz sont obtenus en mélangeant les balles de riz, le ciment, l'eau et éventuellement le sable. Ces bétons sont envisagés dans les pays en voie de développement en vue de protéger l'environnement vu que la gestion des déchets agricoles est souvent difficile dans ces pays notamment le Togo. En effet il n'existe pas au Togo de réglementation en ce qui concerne la gestion des déchets agricoles. Chaque paysan gère ces déchets du mieux qu'il peut : la plupart du temps ces déchets sont jetés dans la nature ou brûlés sans précaution particulière. L'emploi des bétons de balles de riz dans la construction permettra non seulement une meilleure gestion de ces déchets agricoles mais également de réduire l'impact de l'exploitation des carrières de sable au Togo. En effet, depuis l'interdiction de l'exploitation du sable de mer le 31 Décembre 2011 au Togo (le sable de mer étant le seul utilisé dans la construction des immeubles et des infrastructures routières avec pour conséquence une accentuation de l'érosion côtière), des carrières de sable silteux se créent un peu partout, surtout dans les banlieues de la capitale togolaise, avec des conséquences considérables sur l'environnement. Ces carrières sont très peu respectueuses des pratiques de préservation de l'environnement : il y règne une atmosphère sèche et poussiéreuse. Sur des hectares entiers, le sol est complètement dégarni de son couvert végétal. Des ouvriers s'acharnent à débroussailler, à décapier le sol pour en extraire le sable silteux laissant ainsi derrière eux, une immensité de terres mortes, un paysage chaotique avec par endroits des buttes isolées et des crevasses plus ou moins profondes qui empêchent le ruissellement des eaux de pluies. Ainsi en saison pluvieuse, ces zones se transforment en de véritables marécages avec d'immenses flaques d'eau par endroits. Par ailleurs, aucun processus de remblaiement n'accompagne l'après exploitation (figure 1) ce qui signifie que ces terres désormais infertiles ne pourront plus être revalorisées en zone d'habitation.

Les études menées jusqu'à ce jour sur les bétons à base de déchets agricoles ont permis de caractériser les bétons à base de coque de noix de palme [1 – 4] et de balles de riz [5 – 10]. Sur la base des résultats obtenus, l'ensemble des chercheurs s'accordent sur le fait qu'il est possible d'obtenir des bétons légers en utilisant les coques de noix de



Figure 1 : État des carrières d'exploitation de sable au Togo.

palme et les balles de riz. Ces bétons ont pour principal inconvénient de nécessiter un dosage en ciment assez élevé pour une résistance à la compression faible. Pour un dosage en ciment de 500 kg par mètre cube, la résistance obtenue est de l'ordre de 2 MPa à 28 jours d'âge pour un béton ne contenant pas de sable [11]. L'ajout de sable permet d'améliorer cette résistance. Ces valeurs de résistance ont conduit à envisager l'emploi des bétons de balles de riz dans la fabrication des parpaings et entrevoûts utilisés dans le bâtiment [11]. L'un des avantages des bétons de balles de riz est leur légèreté. Ceci permet, lorsqu'ils servent à fabriquer les entrevoûts des planchers à corps creux, de réduire les quantités de matériaux devant servir pour la réalisation des éléments de structure (nervures, poutres, poteaux, semelles) des bâtiments [12]. Les bétons de balles de riz sont aussi un bon isolant thermique car ayant une conductivité thermique faible [12]. Un projet de construction d'un bâtiment expérimental en parpaings de bétons de balles de riz est en cours de réalisation à l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de l'Université de Lomé.

Les matériaux de remplissage sont utilisés à différents endroits dans le bâtiment : mur extérieur, cloison de séparation, puisards et fosses septiques, etc. Or les caractéristiques du béton ordinaire peuvent être affectées par le milieu dans lequel ce dernier est conservé : notamment les milieux acides et chlorés détériorent le béton [13 – 14]. Les différents milieux dans lesquels les parpaings de bétons de balles de riz sont utilisés peuvent-ils affecter les caractéristiques du béton ? Comment se comportent les bétons de balles de riz dans ces milieux ?

Dans cet article il sera question d'étudier ce comportement dans des milieux agressifs.

2. CARACTÉRISTIQUES DES CONSTITUANTS DU BÉTON

Les balles de riz sont des déchets issus de la décortication du riz Paddy. Ce sont des matériaux légers et hygroscopiques [9 – 12]. Le tableau I résume les caractéristiques des balles de riz qui proviennent de la riziculture de Kovié, village situé à 27 kilomètres au nord de Lomé, la capitale du Togo. Le périmètre irrigué de Kovié fait partie d'un ensemble de périmètres appelé périmètre rizicole de la vallée du Zio, situé dans la préfecture du Zio au Togo (figure 2). Le périmètre irrigué de la vallée de Zio comprend quatre villages : Mission-Tové, Kovié, Assomé et Ziovonou.

Les balles de riz sont pré-mouillées pendant 48 heures avant leur emploi dans le béton [9 – 12]. La figure 3 montre la courbe granulométrique des balles de riz.

Le ciment utilisé est du type CPJ 35 produit par CIMENTO TOGO, une des cimenteries du Togo. L'eau de gâchage du béton est l'eau potable fournie par la Société Togolaise des Eaux (TDE).

3. FORMULATION ET CONSERVATION DU BÉTON

Les meilleurs mélanges du point de vue résistance et économie pour une application des balles de riz dans le bâtiment sont le composite Ciment – Balles de riz dosés à 500 kg de ciment (rapport Ciment/Balles de riz égal à 1,28) [11 – 12]. Ainsi la composition retenue pour cette étude est la suivante :

Grandeur caractéristique	Grandeur numérique
Module de finesse	3,79
Taux d'absorption en masse	82
Densité apparente à l'état naturel non mouillé	0,101
Densité absolue à l'état naturel non mouillé	0,750
Densité apparente à l'état mouillé saturé et superficiellement sec	0,142
Densité absolue à l'état mouillé saturé et superficiellement sec	1,050

Tableau I : Caractéristiques des balles de riz étudiées.

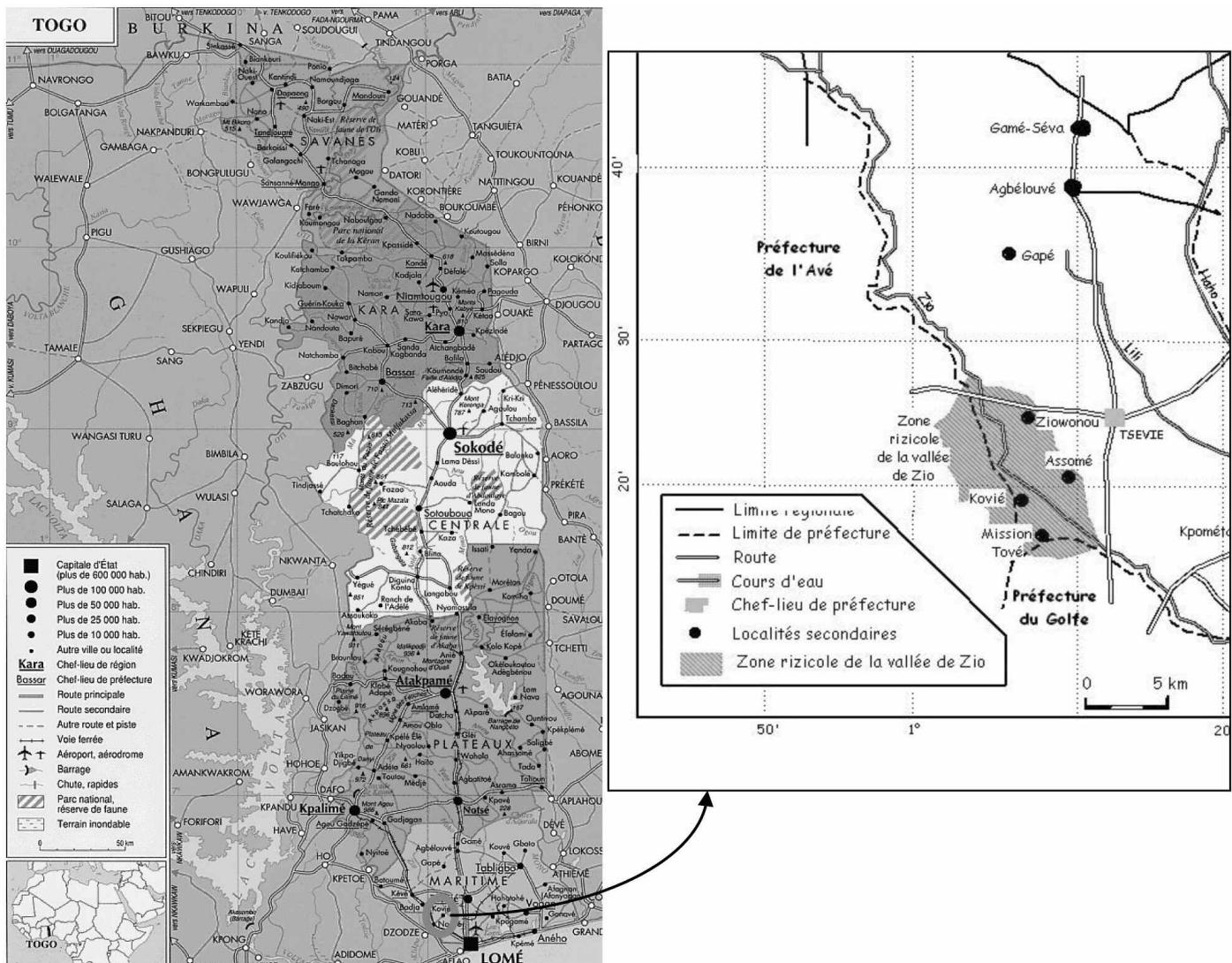


Figure 2 : Carte du Togo montrant la zone rizicole du Zio.

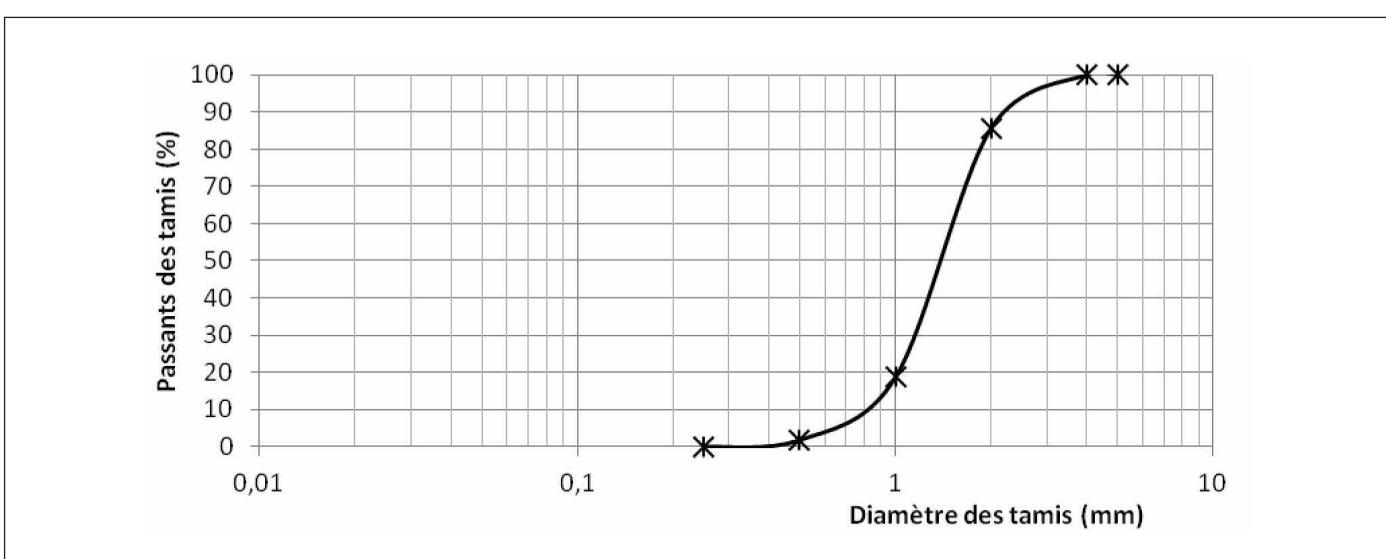


Figure 3 : Courbe granulométrique des balles de riz étudiés.

- un rapport Cement/Balles de riz égal à 1,28 ;
- un rapport Eau/Ciment égal à 0,42.

Pour la caractérisation, des éprouvettes 4 cm x 4 cm x 16 cm sont confectionnées selon la norme européenne EN 196-1 [15]. Démoulées après 24 heures, ces éprouvettes sont conservées dans différentes solutions agressives. Les solutions retenues sont l'eau distillée, l'eau de mer (dont la composition est donnée dans le tableau II), l'eau de forage dont la composition est révélée par les résultats de son analyse (Tableau III), et des solutions sulfatées [solution aqueuse de sulfate de cuivre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), et de sulfate de sodium (NaSO_4)] de concentrations 0,1N, 0,3N, 0,5N (Tableau IV).

Substance chimique	Concentration massique (g/l)
NaCl	27,2
MgCl ₂	3,8
MgSO ₄	1,7
CaSO ₄	1,2

Tableau II : Composition de l'eau de mer.

Paramètres physico-chimiques	Méthodes	Résultats
Couleur-mg Pt-Co/L	Platine/Cobalt	<5
Turbidité-NTU	Néphéломétrie	0,94
Odeur-Qualitatif	Qualitatif	Inodore
Saveur-Qualitatif	Qualitatif	Sans goût
Température- °C	Thermomètre	27,2
pH	pH-métrie	6,4
Cond. Elec 20°C-uS/cm	Conductimétrie	1048
Solides dissous - (mg/L)	Conductimétrie/Salinomètre	775,5
TA - °f	Acidimétrie	0
[CO ₃ ²⁻] - mg/L	Acidimétrie	0
TAC - °f	Acidimétrie	7
[HCO ₃ ⁻] en mg/L	Acidimétrie	85,4
TH (Dureté totale) - °f	Complexométrie	23,4
TH calcique (Ca ²⁺) - mg/L	Complexométrie	44,4
TH magnésien (Mg ²⁺) - mg/L	Complexométrie	29,5
Fer total (Fe ²⁺ et Fe ³⁺) - mg/L	Spectrophotométrie	<0,05
Manganèse (Mn ²⁺) - mg/L	Spectrophotométrie	<0,05
Ammonium [NH ₄ ⁺] - mg/L	Spectrophotométrie	<0,05
Nitrates [NO ₃ ⁻] - mg/L	Spectrophotométrie	13,2
Nitrites [NO ₂ ⁻]	Spectrophotométrie	<0,025
Orthophosphates [PO ₄ ³⁻] - mg/L	Spectrophotométrie	<0,2
Chlorures (Cl ⁻) - mg/L	Argentimétrie	300,3
Sulfates [SO ₄ ²⁻] - mg/L	Néphéломétrie	11,15
Oxygène dissous - mgO ₂ /L	Iodométrie/Oxymètre	8,4
Oxydabilité au KMnO ₄ - mgO ₂ /L	Acide/Chaud	0,9

Tableau III : Composition de l'eau de forage.

Solution aqueuse de sulfate de cuivre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)		Solution de sulfate de sodium (Na_2SO_4)	
Normalité	Masse de substance correspondante [g/l]	Normalité	Masse de substance correspondante [g/l]
0,1N	13,0	0,1N	7,1
0,3N	39,0	0,3N	21,3
0,5N	65,0	0,5N	35,5

Tableau IV : Composition des solutions sulfatées.

Milieu de conservation	Résistance à la compression à 28 jours (MPa)		Taux de diminution relative (%)
	Résistance moyenne	Résistance nominale	
Eau distillée (Solution témoin)	2,036	1,843	-
Eau de mer	1,950	1,808	1,8
Eau de forage	1,612	1,447	21,4
Solution de sulfate de Cuivre à 0,1N	1,857	1,642	10,8
Solution de sulfate de Cuivre à 0,3N	1,483	1,311	28,8
Solution de sulfate de Cuivre à 0,5N	1,450	1,276	30,7
Solution de sulfate de Sodium à 0,1N	1,912	1,704	7,5
Solution de sulfate de Sodium à 0,3N	1,547	1,366	25,8
Solution de sulfate de Sodium à 0,5N	1,400	1,257	31,7

Tableau V : Résistance à la compression des éprouvettes selon le milieu de conservation.

Les facteurs étudiés sur les éprouvettes sont la corrosion et la résistance à la compression. La corrosion qui traduit le degré d'attaque des échantillons est obtenue par mesure de l'évolution de la masse des éprouvettes pendant 28 jours et à intervalle de douze (12) heures. La résistance à la compression est déterminée au 28^e jour d'âge conformément à la norme européenne EN 12390 [16]. Chaque résultat d'essais est la moyenne de six valeurs.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résistances à la compression après 28 jours de conservation des éprouvettes dans les diverses solutions sont montrées dans le tableau V. Dans ce tableau figurent les valeurs de la résistance moyenne et de la résistance nominale. En prenant comme référence la résistance obtenue dans l'eau distillée, la variation relative des résistances des échantillons conservés dans les autres solutions est calculée et présentée dans le tableau V.

Ce tableau V montre que la résistance à la compression diminue dans l'eau de mer et dans l'eau de forage ainsi que dans les solutions de sulfates et d'autant plus que la concentration des ions sulfates est élevée. Pour une même normalité, la diminution de la résistance pour les échan-

tillons conservés dans les solutions de sulfate de cuivre et de sulfate de sodium est presque identique. On peut conclure que ce sont les ions sulfates qui sont responsables de la diminution de la résistance.

La figure 4 montre la variation de la masse des échantillons conservés dans l'eau distillée. On remarque qu'il y a absorption d'eau par les échantillons due à leur porosité interne. A partir du vingtième jour la masse moyenne du béton est sensiblement stable. Les échantillons sont à ce moment saturés.

La figure 5 illustre la variation de la masse des échantillons dans l'eau de mer.

Lorsque les échantillons sont soumis à l'action de l'eau de mer :

- de 0 à 0,5 jour, on assiste à l'absorption d'eau et à l'augmentation de la masse de béton due à la porosité de l'échantillon ;
- de 0,5 à 1 jour, on a une diminution légère de la masse de l'échantillon ;
- à partir du deuxième jour, on observe la variation de la masse de l'éprouvette du fait des phénomènes conjugués de la dissolution et de la formation des produits expansifs.

On constate la présence de deux phénomènes :

* la dissolution du béton se produit selon les réactions

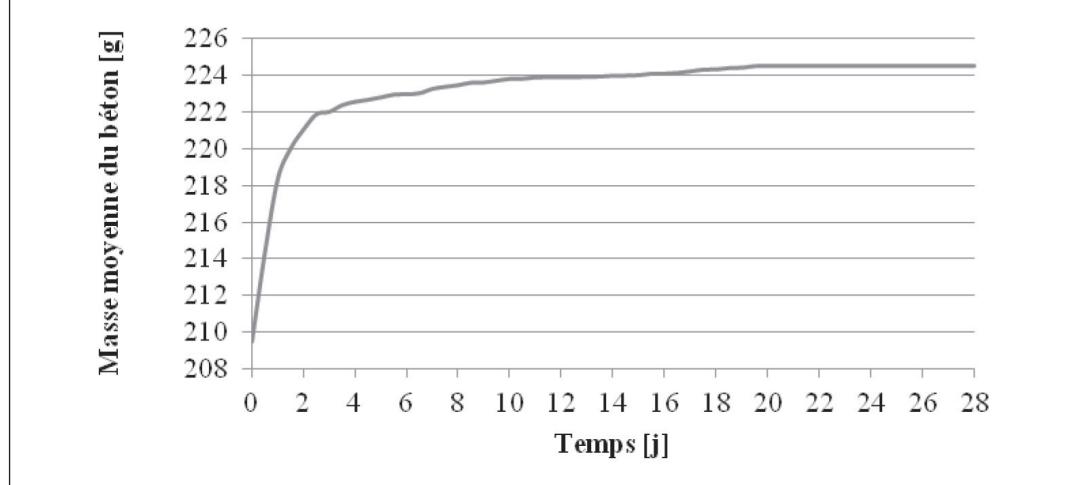


Figure 4 : Variation en fonction du temps, de la masse moyenne des éprouvettes de béton de balles de riz conservées dans de l'eau distillée.

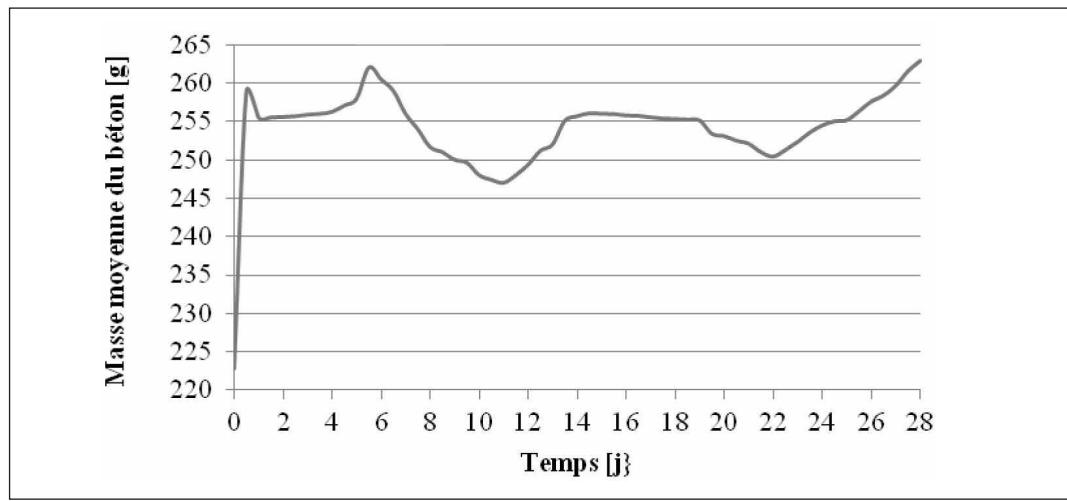


Figure 5 : Variation en fonction du temps, de la masse moyenne des éprouvettes de béton de balles de riz conservées dans de l'eau de mer.

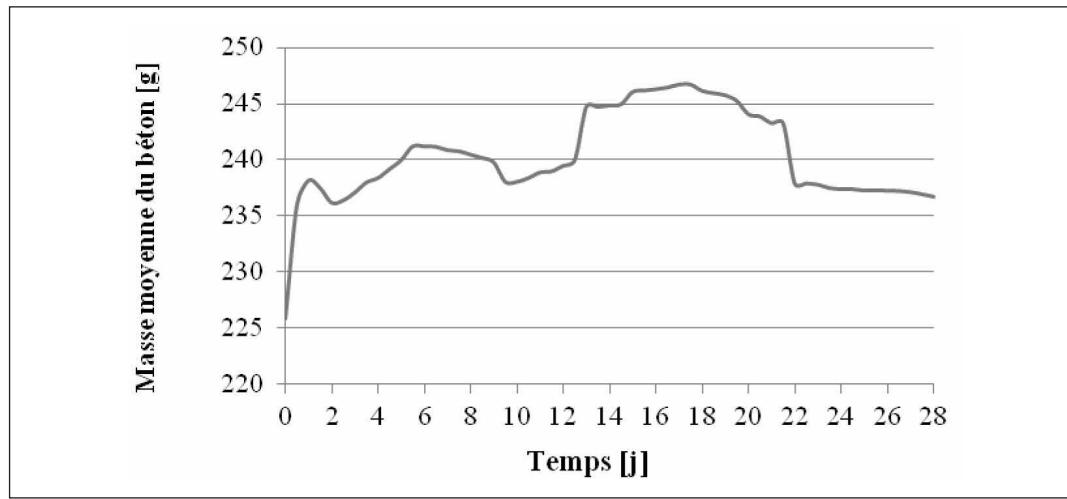
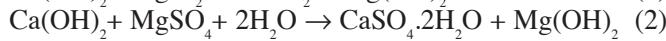
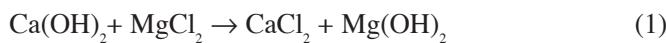


Figure 6 : Variation en fonction du temps, de la masse moyenne des éprouvettes de béton de balles de riz conservées dans de l'eau de forage.



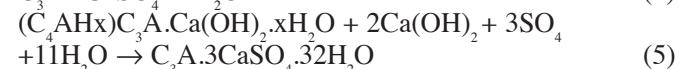
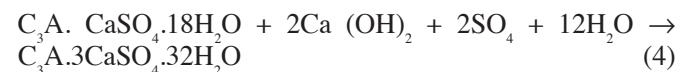
Lors de ces réactions sur l'oxyde de calcium du ciment, se forment des sels solubles CaCl_2 et $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ce qui est à l'origine de la dissolution.

* la formation des produits expansifs résultant de la formation d'ettringite secondaire :

- α - ettringite à partir du C_3A anhydre résiduel selon la réaction :



- β - ettringite à partir des alumates hydratés : (monosulfoaluminates) selon les réactions :



Par ailleurs, on remarque que la masse moyenne des éprouvettes a augmenté de 4,20g passant de 258,72 à 262,92g, ce qui signifie que le phénomène de formation de produits expansifs est plus important que celui de la dissolution.

En ce qui concerne l'eau de forage, la figure 6 nous donne l'allure de la courbe. L'observation de la courbe montre que :





- de 0 à 1 jour, il se produit une absorption d'eau ;
- au-delà, on assiste à la variation de la masse de l'échantillon due :
 - à la dissolution du Ca(OH)₂ par les sels de magnésium conduisant au lessivage de la calcite ;
 - à la formation dans les pores de produits expansifs ;
- au vingt-huitième jour, la diminution de la masse de l'échantillon est faible, ce qui signifie que les deux processus se stabilisent.

Ces différentes réactions, qui se produisent à l'intérieur du béton tant dans l'eau de mer que dans l'eau de forage, provoquent des phénomènes très complexes, ce qui justifie l'allure des courbes obtenues.

Les figures 7 à 12 illustrent le comportement des échantillons dans les solutions de sulfate de cuivre et de sodium. Lors de l'action des ions sulfate, on observe deux phénomènes essentiels :

- interaction entre l'aluminate, la portlandite et les ions sulfates ;

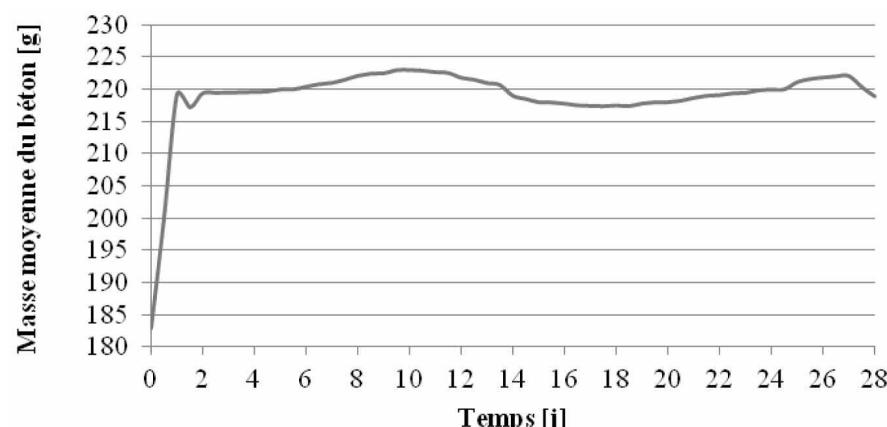


Figure 7 : Variation en fonction du temps, de la masse moyenne des éprouvettes de béton de balles de riz conservées dans de la solution aqueuse de sulfate de cuivre à 0,1N.

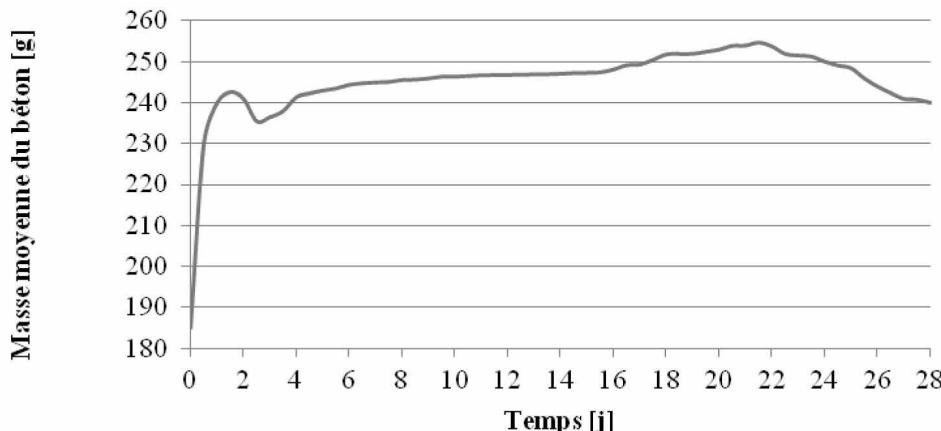


Figure 8 : Variation en fonction du temps, de la masse moyenne des éprouvettes de béton de balles de riz conservées dans de la solution aqueuse de sulfate de cuivre à 0,3N.

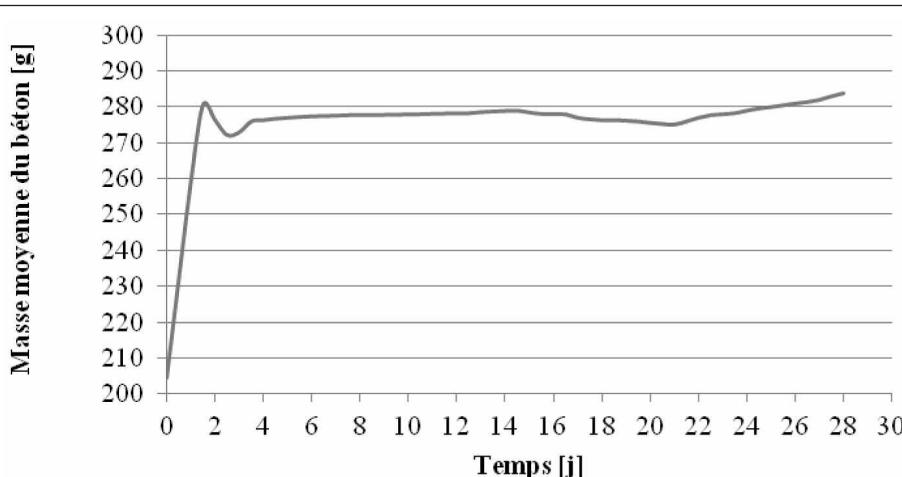


Figure 9 : Variation en fonction du temps, de la masse moyenne des éprouvettes de béton de balles de riz conservées dans de la solution aqueuse de sulfate de cuivre à 0,5N.

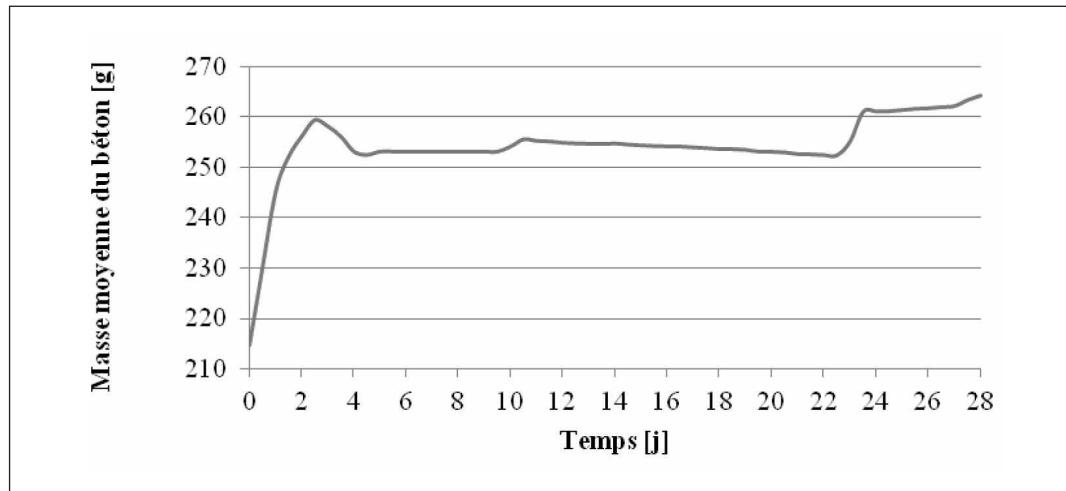


Figure 10 : Variation en fonction du temps, de la masse moyenne des éprouvettes de béton de balles de riz conservées dans de la solution de sulfate de sodium à 0,1N.

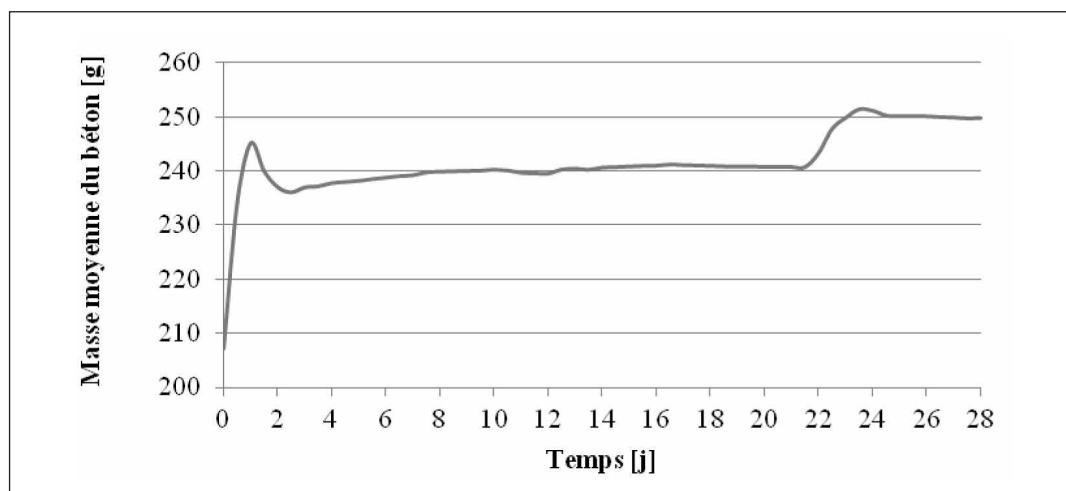


Figure 11 : Variation en fonction du temps, de la masse moyenne des éprouvettes de béton de balles de riz conservées dans de la solution de sulfate de sodium à 0,3N.

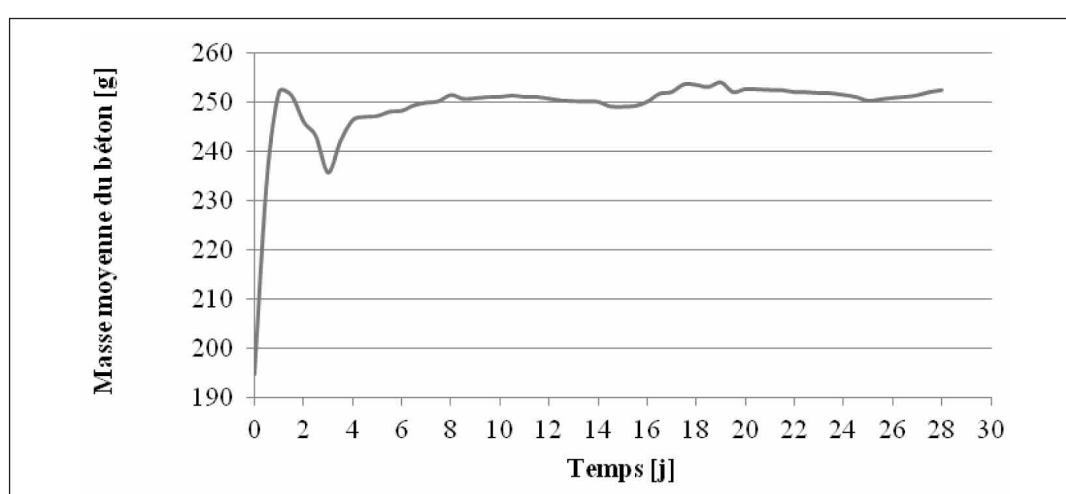


Figure 12 : Variation en fonction du temps, de la masse moyenne des éprouvettes de béton de balles de riz conservées dans de la solution de sulfate de sodium à 0,5N.

- formation de produits expansifs à savoir gypse secondaire et ettringite secondaire.

Dans les solutions sulfatées, on note dans les premiers jours l'absorption, ensuite une légère variation de la masse de béton ; ce qui montre bien que les concentrations des solutions ne sont pas assez élevées pour produire les phénomènes auxquels on assiste dans les eaux de forage et de mer. Des images d'échantillons sortis des solutions de sulfate de cuivre et de sulfate de sodium en fin d'expérience sont montrées à la figure 13.

En définitive, on retient que dans un premier temps, le béton absorbe toujours du liquide de la solution dans laquelle il est conservé du fait de sa grande porosité. Ensuite, on assiste dans l'eau de mer comme dans l'eau de forage à une légère corrosion qui n'affecte pas toutefois de manière sensible la masse de l'éprouvette après 28 jours d'immersion. Quant aux solutions sulfatées, dont les concentrations avoisinent celles que l'on peut rencontrer dans les milieux naturels, elles n'y ont pratiquement aucun effet de corrosion.

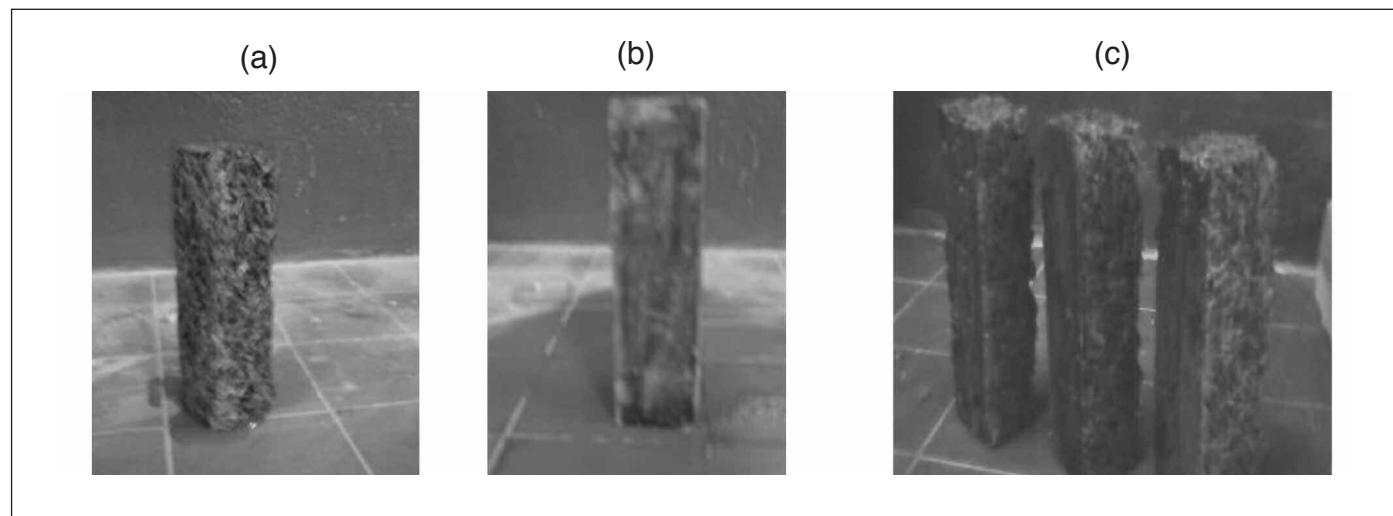


Figure 13 : Éprouvette attaquée par la solution de sulfate de cuivre (a) ; la solution de sulfate de sodium (b) et l'eau distillée (c).

5. CONCLUSION

Le présent travail a consisté à étudier le comportement des bétons de balles de riz en vue d'explorer leurs possibilités d'utilisation dans des environnements agressifs.

L'étude de la corrosion qui a consisté en la pesée des échantillons par intervalle de (12) douze heures durant vingt-huit jours, a révélé qu'on assiste dans l'eau de mer comme dans l'eau de forage à une légère corrosion qui n'affecte pas toutefois de manière sensible la masse du béton ; de plus, les concentrations de 0,1N ; 0,3N et 0,5N des solutions de sulfate de sodium et de sulfate de cuivre sont insuffisantes pour provoquer la corrosion du béton de balle de riz. Nous pouvons donc attester que le couple de rapport ($C/R = 1,28$; $E/C = 0,42$) employé pour confectionner le béton de balles de riz utilisable en maçonnerie de remplissage, ou pour réaliser des puisards, convient valablement. Ces résultats permettent d'envisager la construction d'un puisard en parpaings de bétons de balles de riz dans le but d'apprecier le comportement de ces bétons en situation réelle à l'instar du bâtiment en parpaings de bétons de balles de riz en réalisation à l'Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs de l'Université de Lomé.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] MANNAN M. A., GANAPATHY C., "Engineering properties of concrete with OPS as aggregate", International Journal of Construction and Building Materials, n° 16, 2000.
- [2] MANNAN M. A., GANAPATHY C., "Mix design for oil palm shell concrete", International Journal of Cement and Concrete Research, n° 31, 2001.
- [3] MANNAN M. A., GANAPATHY C., "Long-term strengths of concrete with oil palm shell as coarse aggregate", International Journal of Cement and Concrete Research", n° 16, 2001.
- [4] MANNAN M. A., GANAPATHY C., "Concrete from an agricultural waste-oil palm shell (OPS)", Building and Environment, n°39, 2004.
- [5] JAUBERTHIE Raoul, RENDELL Frank, TAMBA Séni, CISSE Ibrahima Khalil, "Rice husk in lightweight mortars", June 2000.
- [6] JAUBERTHIE Raoul, RENDELL Frank, TAMBA Séni, CISSE Ibrahima Khalil, "Origin of the pouzzolanic effect of rice husk", International Journal of Construction and Building Materials, n° 14, 2000.
- [7] JAUBERTHIE Raoul, RENDELL Frank, TAMBA Séni, CISSE Ibrahima Khalil, "Properties of cement - Rice husk mixture", International Journal of Construction and Building Materials, n° 17, 2003.
- [8] JAUBERTHIE Raoul, RENDELL Frank, TAMBA Séni, CISSE Ibrahima Khalil, LANOS Ch., "The use of cellulose waste in lightweight concrete: Improvement or properties by admixtures", Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, United Kingdom, 9-11 September 2002.
- [9] AYITE D., NEGLO K., BIGAH Y., BEDJA K., "Influence d'un dosage en sable sur les résistances des bétons à base de balles de riz du Togo", Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé, Lomé, Togo, Série E, Volume 9, N°2, 2007, pp 57 – 64.
- [10] AYITE Y. M. X. D., NEGLO K., ZIDOL A., BEDJA K., "Influence du rapport Eau/Ciment (E/C) sur la résistance des bétons de balles de riz du Togo", Journal des Sciences Pour l'Ingénieur, JSPI, Dakar, Sénégal, N°13, 2011, pp : 23 – 28.
- [11] AYITE Y. M. X. D., KODJO K. M., BEDJA K., "Détermination d'une application des bétons de balles de riz dans le bâtiment au Togo", Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé, Lomé, Togo, Série E, Volume 13, N°2, 2011, pp 1 – 8.
- [12] AYITE Y. M. X. D., "Utilisations des bétons de balles de riz pour la préfabrication des entrevoûts des planchers de bâtiments", Thèse de doctorat unique en Sciences de l'Ingénieur option Génie Civil, Faculté Des Sciences, Université de Lomé, Juin 2011, Lomé, Togo.

- [13] MOULI M., SENHADJI Y., BENOSMAN A. S., KHE-LAFI H., "Résistance aux acides et à la pénétration des ions chlorures des mortiers avec pouzzolane et fine calcaire", Communication Science et Technologie, COST N° 8, Janvier 2010.
- [14] BOUALLEG S., BENCHEIKH M., "Effets des milieux agressifs sur les propriétés des matrices cimentaires", Séminaire International, Innovation et Valorisation en Génie Civil et Matériaux de Construction, N° : 4P-079, 23 – 25 Novembre 2011, Rabat, Maroc.
- [15] Normes Européennes EN 196-1 : Méthodes d'essais des ciments – Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques, Avril 2006
- [16] Normes Européennes EN 12 390 : Essai pour béton durci, 2001.