

« VALORISATION DES CENDRES DE BALLE DE RIZ (OU RHA) DANS LES CIMENTS DE MADAGASCAR »

Veroniaina Razafitrimo¹, Gilles Escadeillas², Roger Randrianja³, Étienne Rakotomaria³

¹ : Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo (IST-T), Madagascar,
razafitrimo.veroniaina@gmail.com

² : Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC), INSA Génie Civil, Université Paul Sabatier de Toulouse III - France, Gilles.Escadeillas@insa-toulouse.fr

³ : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA), Madagascar,
eratechn@wanaadoo.mg

RESUME

Le logement est un élément primordial pour l'homme afin qu'il puisse vivre dignement. Il contribue au bien vivre des habitants. De plus, la construction est le point essentiel au développement industriel et touristique d'un pays. Ce développement passe par la mise au point de nouveaux concepts comme les éco-matériaux, en l'occurrence, dans cet article, le ciment avec additions minérales. Notre but est de permettre à tout malgache de pouvoir acheter un ciment de qualité et à un coût raisonnable pour une construction durable.

A Madagascar, les balles de riz sont généralement disponibles en petites quantités et réparties dans des dizaines de milliers de petites rizeries. Leur transport étant coûteux, elles sont souvent réutilisées sur place pour être essentiellement destinées à la cuisson des briques de construction à condition que l'argile appropriée se trouve dans l'endroit concerné. Une fois la cuisson terminée, une infime quantité de ces cendres de balle de riz RHA est récupérée par les malgaches pour faire briller marmites et casseroles, mais la majorité est jetée dans la nature, contribuant à dégrader l'environnement. La valorisation de ces résidus de combustion est donc nécessaire et souhaitable. Les données statistiques en 2018 donnent, à titre indicatif, que Madagascar produit environ 4 000 000 de tonnes de paddy ou riz non encore décortiqué. On peut ainsi obtenir 160.000 tonnes de balle de riz, soit 4% de cendres.

Pour ce faire, nous proposons d'introduire dans des ciments de qualité avérée des additions pouzzolaniques à forte valeur ajoutée. L'état de l'art a démontré que les cendres de balles de riz ont un potentiel pouzzolanique, c'est pourquoi nous allons les utiliser dans notre recherche. Nous allons alors démontrer d'une part la possibilité de réaliser à Madagascar des liants équivalents performants à partir de produits locaux en remplacement d'une partie plus ou moins importante de ciment et, d'autre part, la potentialité de valorisation de cendres de balles de riz, résidu de combustion de balles de riz servant actuellement essentiellement à la cuisson des briques. Cette nouvelle approche permet d'optimiser le dosage en ciment, produit cher et difficile à produire, et de valoriser des ressources locales.

Mots-clés : ciment, pouzzolane, addition, cendre de balle de riz

1. INTRODUCTION

Madagascar est classée parmi les plus gros consommateurs de riz au monde. La consommation annuelle de riz par habitant en milieu rural malgache est chiffrée à 138 kilos, et en milieu urbain à 118 kilos. Les ménages urbains prennent 85% de leur repas avec du riz [1].

La culture du riz ou riziculture est pratiquée dans toute l'île, à l'exception de l'extrême-sud où le climat aride ne le permet pas. Sur les hautes terres, les rizicultures occupent près de 45% des surfaces cultivées, apportant deux à trois récoltes par an, selon les différentes variétés de riz, fort nombreuses à Madagascar. Les saisons rizicoles sont déterminées par la période de récolte. En général, 70% de la moisson de riz de l'ensemble du territoire malgache se font entre les mois d'Avril et de Juin. Il y a 2 millions de petits producteurs de riz à Madagascar mais le niveau d'équipement des riziculteurs malgaches est très limité. La production annuelle globale du riz est évaluée à 4 680 630 tonnes cette année 2020 [2]. A chaque tonne de paddy usiné, on obtient 200 kilogrammes de balles de riz (enveloppe externe du riz) issus du décorticage, qui ont un contenu énergétique équivalent à 60 litres de fuel [1]. Cependant à Madagascar, les balles de riz sont généralement disponibles en petites quantités et réparties dans des dizaines de milliers de petites rizeries. Leur transport étant coûteux, elles sont souvent réutilisées sur place pour être essentiellement destinées à la cuisson des briques de construction. Une fois la cuisson terminée, une infime quantité de ces cendres de balle de riz, ou Rice Husk Ash (R.H.A.), est récupérée par les malgaches pour faire briller marmites et casseroles, mais la majorité est jetée dans la nature, contribuant à dégrader l'environnement. La valorisation de ces résidus de combustion est donc nécessaire et souhaitable.

L'étude de l'incorporation des cendres de balles de riz ou RHA dans le ciment a été déjà effectuée au Nigéria [3], au Portugal [4] et dans bien d'autres pays du monde [5, 6, 7, 8] comme l'Inde, la Chine... Cette idée pourrait être bénéfique à Madagascar du fait qu'il n'y existe actuellement qu'une seule cimenterie qui n'arrive pas à satisfaire le besoin de la Grande Ile, pourtant faible : la production nationale, qui ne concerne que le CEM II/B 22,5 (CPJ 35) et le CEM II/A 32,5, est d'environ 160 000 tonnes par an alors que les besoins (tout type de ciment confondu) sont de 500 000 tonnes par an (soit 26 kg de ciment par habitant et par an). Par ailleurs la qualité du ciment produit et/ou importé est souvent insuffisante et son coût ne cesse d'augmenter.

Pour ces raisons, il nous semble indispensable de mettre en place rapidement des solutions alternatives qui permettent à tout citoyen malgache de pouvoir acheter un ciment de qualité à un coût raisonnable. De plus, pour créer de la richesse dans le pays, il est souhaitable que ces solutions utilisent des ressources locales, aussi bien en matériau

qu'en hommes. Enfin, compte tenu de la richesse de l'écosystème de Madagascar, il est aussi indispensable que ces solutions s'inscrivent dans une logique de développement durable, respectueuse de l'environnement.

Dans cet article, nous allons donc démontrer la pertinence de l'utilisation des RHA dans l'amélioration de la performance du ciment importé malgache qui est le CEM I 32,5 - CPA 45.

2. MATERIAUX, METHODES ET FORMULATIONS

2.1. Matériaux

Les matériaux utilisés sont les ciments et les RHA.

2.1.1 Ciments

Deux types de ciment ont fait l'objet de notre étude : un de France, que nous allons dénommer C1 et un de Madagascar que nous désignerons par C2.

C1 est choisi comme ciment témoin. Il est produit à l'usine Lafarge du Teil. C'est un ciment dont les caractéristiques sont conformes aux normes requises. Sa dénomination est CEM I 52,5 HTS-PM.

Le ciment C2 est de type CEM I 32,5 - CPA 45, produit d'importation vendu à Madagascar. Il est à noter que la seule usine qui fonctionne à Madagascar ne produit pas ce type de ciment qui est pourtant très utilisé pour le gros œuvre.

2.1.2 Cendres de balles de riz (RHA)

Prélèvement

Les RHA ont été recueillies auprès d'un briquetier (voir Photo 1), choisi au hasard. Les balles de riz ont servi à la fabrication des briques à la température de cuisson normale, soit vers 800-900°C. Les RHA représentent une ressource naturelle conséquente. Ne servant plus à rien pour les briquetiers, ces RHA sont ensuite jetées dans la nature. Seule une infime partie est récupérée pour faire briller les marmites et les casseroles ou en encore à servir à fabriquer des savons artisanaux dénommés « savony gasy ».

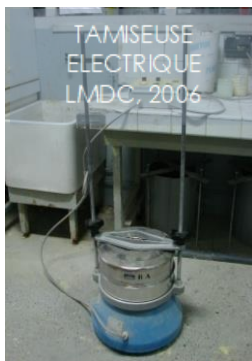
Les RHA bruts prélevés chez les briquetiers ont été tamisés. Seules sont retenues les 98% passant à 0,315 µm. Les 2% restant contiennent quelques petits morceaux de briques.



Photo 1 : Récupération des RHA chez un briquetier

Préparation

Les cendres obtenues sont tamisées à 0,315 mm (Photo 2) puis broyées dans un broyeur RETSCH dont la garniture est en carbure de tungstène (Photo 3). A chaque séquence, environ 100 g de poudre sont placés dans le bol de broyage à la vitesse de rotation 1400 tours par minutes pendant 30 secondes.



Tamiseuse électrique, LMDC 2006



Série de Tamis, Colas Madagascar, 2006

Photo 2 : Tamiseuse électrique et série de tamis (LMDC et Colas Madagascar) - 2006



Photo 3 : Broyeur RS100, Marque RETSCH (LMDC), 2007

2.2. Méthodes

2.2.1 Analyses chimique, minéralogique et microscopique

La détermination de la composition chimique de nos matériaux a été effectuée par spectrométrie de flamme. La teneur en SO_3 est déterminée par gravimétrie (photo 4).



1- Détermination des éléments mineurs



2- Dosage en sulfate

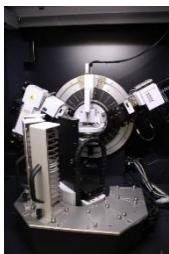


3- Four pour la détermination de la perte au feu

Photo 4 : Appareils ayant servis à l'analyse chimique des matériaux

L'observation de la microstructure a été réalisée à l'aide de deux appareils (Photo 5) :

- la Diffraction de Rayons X (ou DRX) : le matériel utilisé est l'appareil SIEMENS Röntgengenerator KRISTALLOFLEX 710D avec anticathode au cobalt. Il permet de faire l'analyse minéralogique des matériaux. Les échantillons analysés sont des poudres ;
- la Microscopie Electronique à Balayage (ou MEB) avec analyse à l'EDS. L'appareil utilisé est un JEOL JSM-6380 LV, couplé à un analyseur EDS RONTEC Signal Processing Unit (LMDC). L'observation au Microscope Electronique à Balayage (MEB) sert à déterminer l'état de surface des matériaux. Les échantillons (en poudre) ont été métallisés au carbone puis observés au MEB en mode électrons secondaires. La tension d'accélération est de 15 kV. Les observations ont été complétées ponctuellement par des analyses EDS.



1- Diffractomètre à rayons X / SIEMENS Röntgengenerator KRISTALLOFLEX 710D avec passeur d'échantillon



2- Microscope à Balayage Electronique JEOL JSM-6380LV + EDS RONTEC (LMDC)

Photo 5 : Appareils pour l'analyse microstructurale des matériaux (LMDC)

2.2.2 Analyses physiques

Elles consistent à procéder à la connaissance de la maniabilité des ciments avec ou sans addition ainsi qu'à l'analyse de la finesse par granulométrie laser et à la détermination de la masse volumique réelle des matériaux.

La connaissance de la maniabilité des mortiers consiste à mesurer sa consistance qui est mesurée sous vibration avec la détermination du temps d'écoulement (en s) au maniabilimètre LCL selon la norme NF EN 1097-6 Janvier 2014 (AFNOR 2014). Elle est aussi mesurée en statique par la mesure de l'affaissement au mini-cône (en mm). Le mortier est malaxé avec un malaxeur normalisé (norme NF EN 196-1). Les photos suivantes montrent le malaxeur et la maniabilimètre utilisés.



Malaxeur



Maniabilimètre

Photo 6 : Malaxeur et maniabilimètre, LMDC

La granulométrie a pour objet la détermination de la taille des particules élémentaires qui constituent les ensembles de grains et la fréquence statistique des différentes tailles de grains dans l'ensemble étudié. A cet effet, nous avons utilisé le granulomètre laser CILAS 1090 Liquide selon la norme ISO 13320 : 2009 (Comité Européen de Normalisation 2009). La Photo 7 suivante montre le granulomètre utilisé au sein du LMDC.

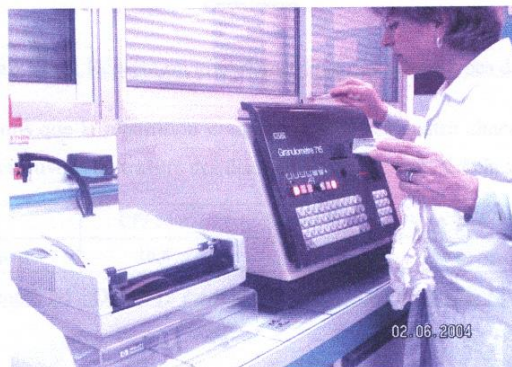


Photo 7 : Granulomètre CILAS (LMDC) - 2006

Cet appareil mesure la granulométrie d'un produit pulvérulent à partir de la diffraction d'un faisceau de lumière monochromatique émis par un laser. La lumière cohérente

issue d'un laser hélium-néon de faible puissance traverse l'échantillon du produit à analyser mis en suspension dans un liquide : il en résulte une diffraction du faisceau lumineux. La connaissance de la lumière diffractée permet de déterminer la courbe granulométrique. L'hypothèse de la diffraction laser est que les particules sont sphériques.

La détermination de la masse volumique réelle a été faite par pesée hydrostatique selon les normes ISO 5017 (novembre 1998) et ISO 1920-5 : 2004. Le principe de l'essai consiste à déterminer la masse volumique réelle de la poudre par la pesée hydrostatique dans un liquide de masse volumique connue. La poudre ou l'échantillon de matériau finement broyé doit être non soluble et non réactif avec le liquide d'immersion (Garosolve D70) dont la masse volumique est connue. Le ciment ou les poudres minérales, dont on cherche à mesurer la masse volumique, ne doivent, en aucun cas, réagir en présence de ce liquide, ni surnager sur ce liquide.

2.2.3 Formulations

Afin d'évaluer les avantages du remplacement partiel du ciment par le RHA, il a été choisi de travailler sur mortier. Les propriétés des mortiers ont été étudiées à l'état frais et à l'état durci, à savoir la demande en eau, le temps de prise, la masse volumique apparente et la porosité accessible à l'eau, la résistance à la compression à 2, 7, 28, 90 et 150 jours et le retrait.

Les formulations des mortiers sont les suivantes :

- le mortier témoin C1;
- 87,5% C1 + 12,5% RHA ;
- 75% C1 + 25% de RHA ;
- 65% C1 + 35% RHA ;
- C2 ;
- 75% C2 + 25% RHA.

A l'état frais, la maniabilité a été testée selon les normes (NF P 18-452 et NF P 15-437) avec le maniabilimètre du LMDC.

A l'état durci, les essais suivants ont été réalisés :

- les mesures de porosité accessible à l'eau et de masse volumique apparente selon les normes ISO 5018 de novembre 1998 et ISO 1920-5 : 2004 : saturation en eau sous vide, pesée hydrostatique et séchage à $T = 105 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à « masse constante » (i.e. écart entre deux pesées consécutives, à 24 heures d'intervalles, inférieur à 0,05%).

- la détermination de la résistance à la compression : des éprouvettes normalisées 4 x 4 x 16 cm³ ont été confectionnées selon les compositions prévues et la résistance à la compression des mortiers durcis provenant de ces compositions a été mesurée (NF EN 196-1) à plusieurs échéances : 2 jours, 7 jours, 28 jours, 90 jours et 150 jours
- la mesure du retrait selon la norme NF P 15-433.

La photo 8 montre quelques appareils utilisés.



Masse volumique réelle :
appareillage à vide



Appareil de mesure de
résistance à la flexion et à la
compression



Appareil de mesure du retrait

Photo 8 : Analyses des échantillons à l'état durci (LMDC)

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Matériaux

Les résultats de l'analyse chimique sont donnés Tableau 1.

Tableau 1 : Teneurs en éléments principaux des matériaux [%]

Produit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	MnO	Teneur en SO ₃	Perte au feu	TOTAL
C1	20,07	4,86	3,07	1,00	64,25	0,95	0,18	0,85	3,55	2,39	98,78
C2	22,05	4,55	2,85	0,90	55,75	0,75	1,02	4,46	1,99	4,55	98,87
RHA	92,15	2,05	0,80	2,08	0,70	0,45	0,10	0,13	0,11	1,34	100

Les résultats des analyses minéralogiques sont présentés sur la figure 1.

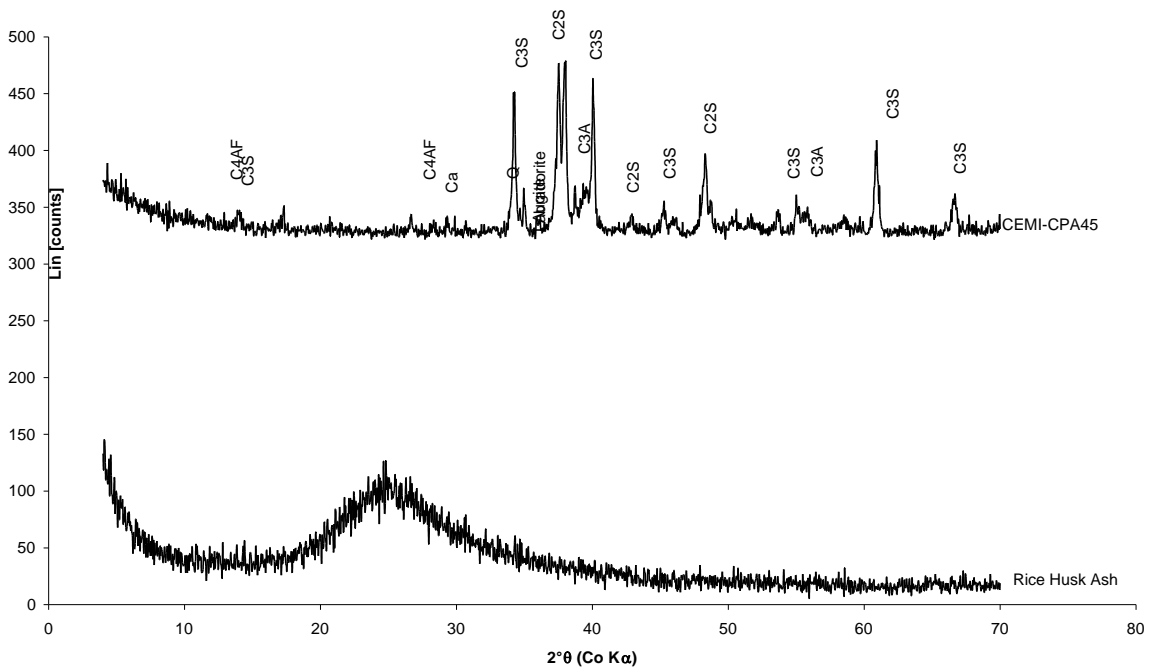
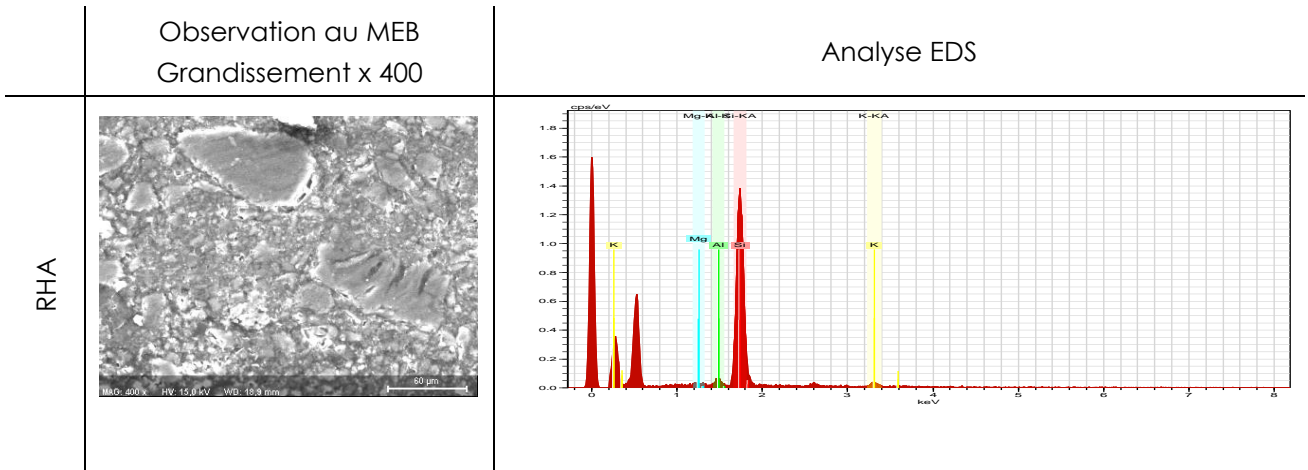


Figure 1 : Diffractogrammes de rayons X des matériaux

Le Tableau 2 présente les résultats des observations au MEB avec analyse EDS.

Tableau 2 : Observation au MEB avec analyses EDS.

	Observation au MEB Grandissement x 400	Analyse EDS
C1		
C2		



Les résultats de l'analyse granulométrique par granulométrie laser des trois matériaux sont présentés Figure 2.

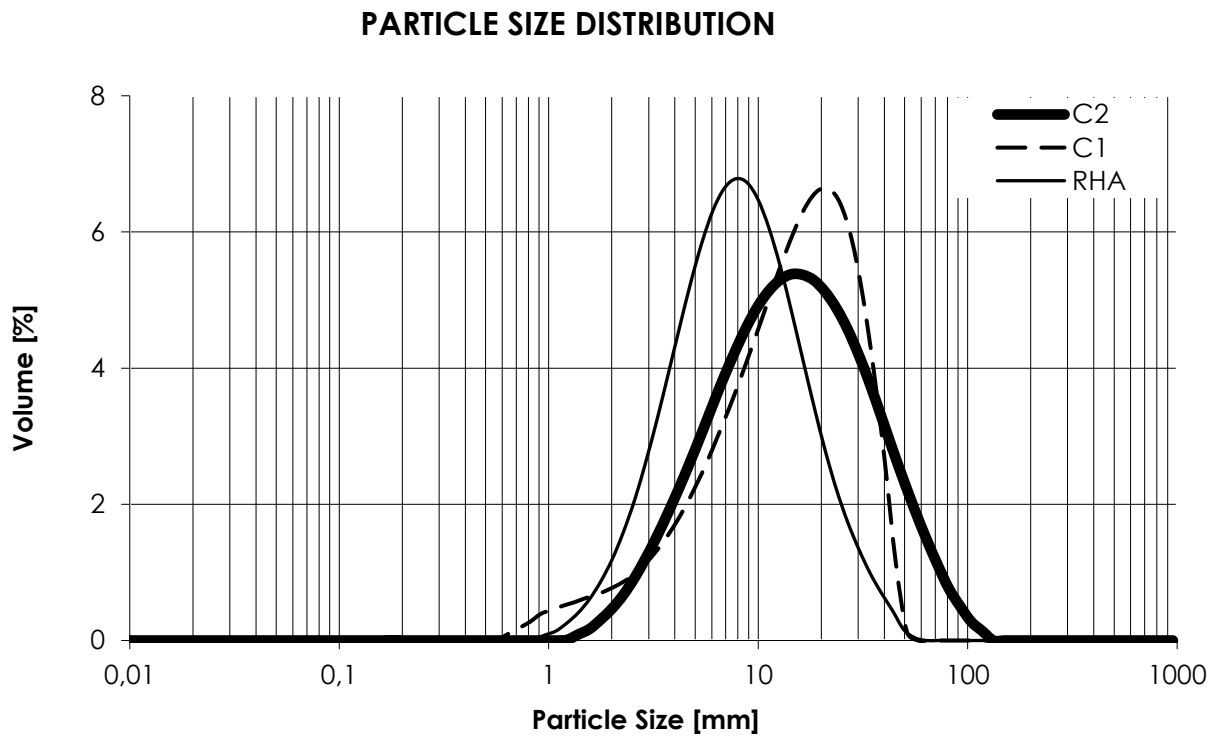


Figure 2 : Distribution granulométrique des matériaux

Les masses volumiques réelles des matériaux sont données tableau 3.

Tableau 3 : Masse volumique réelle des matériaux [g/cm³]

MATERIAU	C1	C2	RHA
MASSE VOLUMIQUE REELLE	3,122	2,785	2,117

3.2. Mortiers

Les résultats des tests sur la maniabilité des mortiers sont donnés

Tableau 4.

Tableau 4 : Maniabilité des mortiers avec addition

	C1	C2	C1+RHA
Ecoulement [secondes]	3	6	8
Affaissement [mm]	24	18	4

La masse volumique apparente et la porosité accessible à l'eau sont données dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Masse volumique apparente et porosité accessible à l'eau

	C1	C2	C1 + 12,5%RHA	C1+25%RHA
MASSE VOLUMIQUE APPARENTE [g.cm ⁻³]	2,166	2,066	2,093	1,852
POROSITE ACCESSIBLE A L'EAU [%]	17,1	20,3	19,3	27,6

L'évolution de la résistance à la compression est visualisée Figure 3.

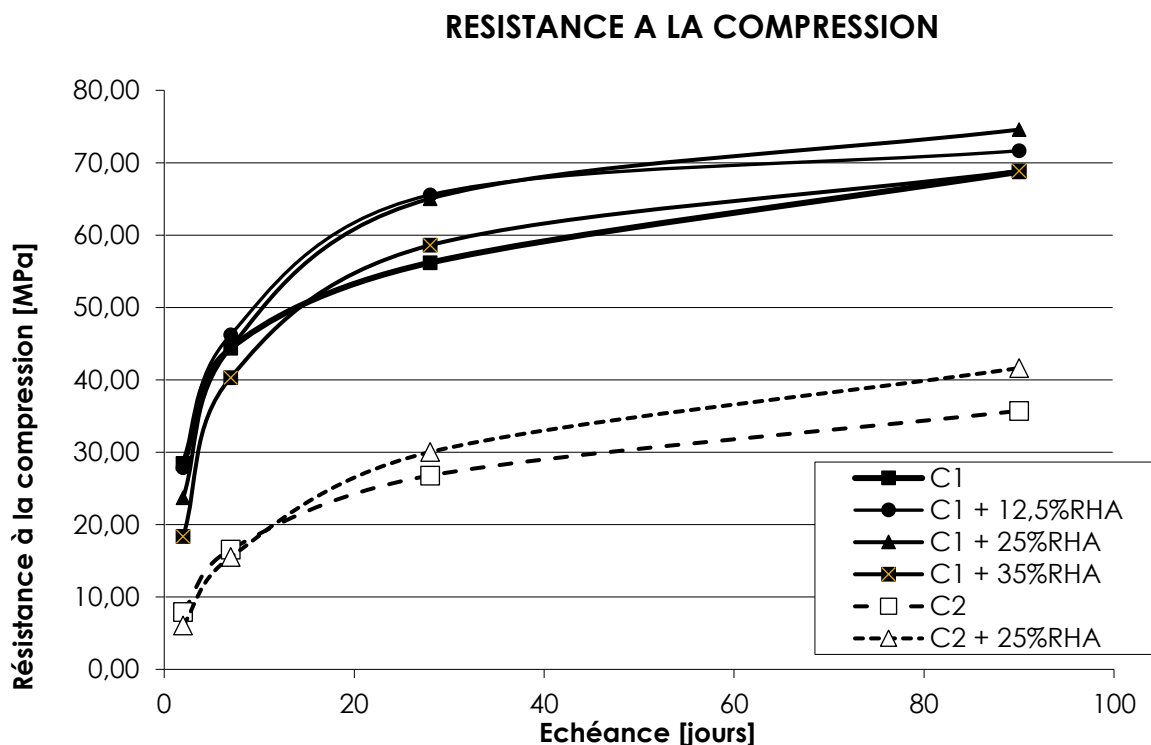


Figure 3 : Evolution de la résistance à la compression des compositions étudiées

En ce qui concerne le retrait, les courbes sont tracées Figure 4, aussi bien pour le retrait endogène que pour le retrait en dessiccation (retrait total).

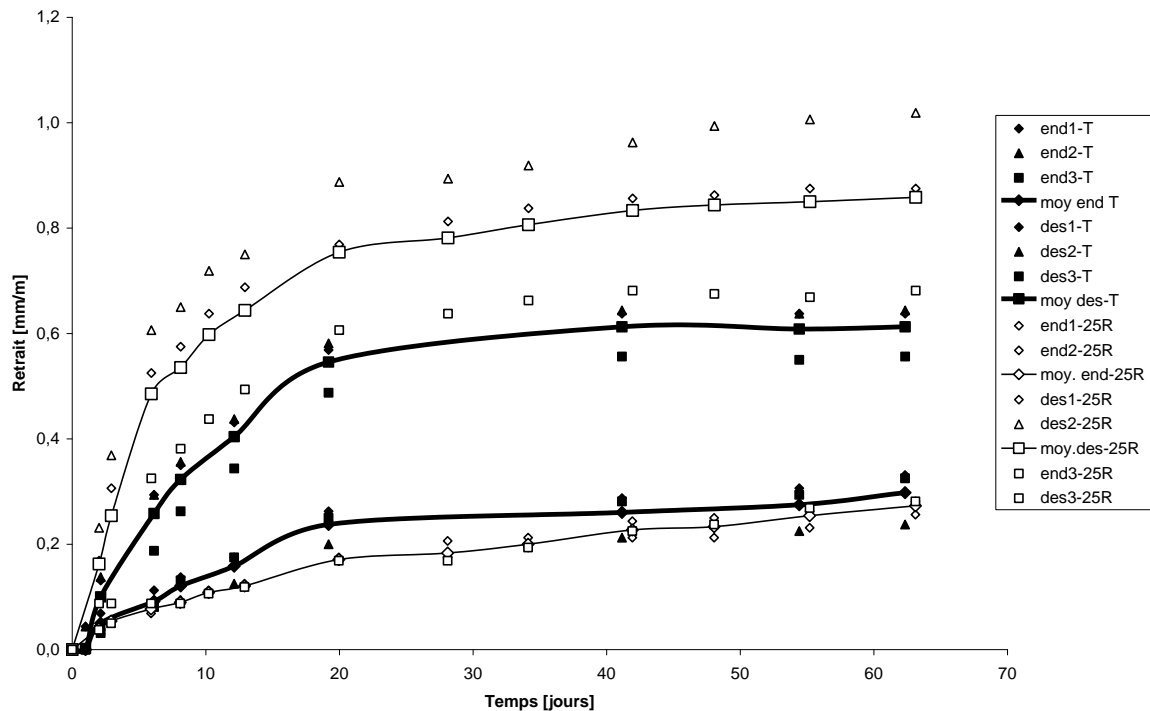


Figure 4 : Retrait des éprouvettes de mortier normal (ciment / ciment + 25%RHA)

4. DISCUSSIONS

4.1. Matériaux

4.1.1 Analyses chimiques

Le ciment local C2 entre bien dans les fourchettes classiques des cimentiers (CaO généralement entre 60 et 69% et SiO₂ entre 18 et 22%) et que sa perte au feu révèle la présence de calcaire (3,4%).

Le RHA est riche en silice (plus de 85% en masse) et contient une quantité notable d'alcalin K₂O (2,67%). La perte au feu est associée à la présence de quelques imbrûlés résidus de la matière végétale.

4.1.2 Analyses minéralogiques et microscopiques

Le diffractogramme présenté figure 1 montre que :

- le ciment CEMI-CPA 45 présente les pics classiques des constituants anhydres (présence de C₃S, de C₂S, de C₃A et de C₄AF) mais renferment aussi un peu de quartz (Q) et des traces de calcite (Ca).

- le RHA ne présente aucun pic de diffraction mais seulement un « Halo » significatif d'un matériau totalement amorphe et essentiellement siliceux (halo centré sur le pic du quartz).

L'observation au Microscope Electronique à Balayage permet de bien distinguer la présence des fibres des écorces de riz (voir Tableau 2). L'analyse à l'EDS montre que :

- dans le C2, on a Ca et Si majoritaires et K, S et Al, minoritaires ;
- dans le RHA, on a Si majoritaire, un peu de Mg et Ca et très peu de K, Fe, Al.

Ces analyses EDS confirment les analyses chimiques.

4.1.3 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique montre que les particules de RHA sont très fines par rapport aux deux ciments.

4.2. Mortiers

4.2.1 Comportement à l'état frais

Durant la confection des éprouvettes, une demande en eau plus grande du ciment avec ajout de RHA a été constatée. Ce résultat peut être directement corrélé avec la plus grande finesse des RHA par rapport au ciment.

Durant le gâchage du mortier, plus on ajoute du RHA, plus le mortier est sec. Par ailleurs, l'ajout de RHA dans le mortier le rend plus léger par rapport au témoin.

4.2.2 Comportement à l'état durci

Les courbes donnant la résistance à la compression montrent que l'introduction de 25% de RHA en remplacement du ciment C2 améliore la qualité du mortier à toutes les échéances. Les gains de résistance sont notables.

Pour le ciment C1, beaucoup plus performant, si le pourcentage d'ajout de RHA est inférieur à 25%, les valeurs des résistances sont justes inférieures à celles du mortier témoin.

Ces résultats sont en accord avec ceux de D.D. Bui [8].

Ces résultats sont d'ailleurs confirmés par certains auteurs [9].

Par ailleurs, la masse volumique diminue avec ajout de RHA, compte tenu de la plus faible masse volumique du RHA mais aussi de l'augmentation de la porosité. Cette augmentation de la porosité est certainement liée à la plus forte demande en eau des RHA, qui rend le mortier plus difficile à mettre en œuvre. Cet effet pourrait être compensé par l'introduction d'adjuvant.

Du point de vue du retrait, l'introduction de RHA ne modifie pas fondamentalement les résultats obtenus avec le ciment seul : elle diminue le retrait endogène, suite à la réaction pouzzolanique qui forme des produits légèrement expansifs et augmente le retrait total (en dessiccation) du fait de sa structure plus poreuse.

Ainsi, l'effet du RHA malgache en substitution du ciment disponible à Madagascar est bénéfique. Cet effet bénéfique est démontré par plusieurs auteurs avec d'autres ciments ou bétons et autres RHA des autres pays [4], [9], [10], [12], [13].

De plus :

- Ayhan Demirbas [16] confirme l'importance de la taille des particules de RHA entre autres sur la résistance du ciment ;
- V.I.E. Ajiwe & al [18] recommandent même l'utilisation du RHA dans la composition du ciment ;
- M. Anwara et al [17] ont conclu que l'insertion du RHA dans le béton améliore les caractéristiques du béton ;
- V. Saraswathy & al. confirment que l'addition du RHA dans la composition du béton peut augmenter la résistance du béton contre la fissuration par la formation du gel de C-S-H autour des particules du ciment ;
- D.D. Bui & al [20], affirment que la présence des cendres de balle de riz dans le béton diminue sa porosité (de même que G.C. Isaïa & al [22]) ;
- [23] Muhammad S.I. & al trouvent des résultats équivalents sur la variation de maniabilité.

5. CONCLUSION

L'ajout de 25% de RHA malgache dans la composition du mortier à partir du ciment malgache augmente de manière sensible la résistance et diminue la masse volumique. La maniabilité diminue toutefois mais de manière raisonnable pour de faibles pourcentages de substitution (même si elle est nulle avec 35% de RHA dans le mortier). Ainsi, ces premiers essais montrent que les RHA, résidu de combustion de balles de riz servant essentiellement à la cuisson des briques, actuellement considérées comme déchet à Madagascar, peuvent être valorisées dans les mortiers et bétons après un tamisage et un broyage sommaire.

Les cendres de balles de riz s'avèrent avoir des propriétés pouzzolaniques bien supérieures à celles des pouzzolanes naturelles utilisées actuellement par la cimenterie locale. De plus, l'utilisation de ces cendres dans les ciments contribue à l'amélioration de l'environnement car jusqu'à présent elles sont le plus souvent rejetées dans la nature. Sous réserve de validation sur bétons, et d'essais complémentaires de durabilité, les additions considérées pourraient être incorporées bénéfiquement dans les mortiers et bétons à Madagascar. Des études avec des adjuvants pour compenser la perte de maniabilité seraient aussi à mener.

A partir de cette constatation, on peut donc envisager une valorisation locale de ces RHA. On peut aussi imaginer une valorisation environnementale encore plus forte de ces produits en calcinant les balles de riz dans des conditions maîtrisées de manière à récupérer l'énergie, énergie utilisée pour activer ensuite par exemple les kaolins présents sur la Grande Ile. Les deux produits obtenus, cendres de balle de riz et métakaolin, pourraient ainsi être associés dans des liants ternaires à propriétés améliorées, la pouzzolanité de ces deux produits améliorant la durabilité des matériaux cimentaires et réduisant le coût financier et environnemental de la fabrication des ciments.

6. REMERCIEMENTS

Notre reconnaissance la plus sincère au Professeur Gilles Escadeillas pour son soutien sans faille aussi bien dans les manipulations que dans la rédaction.

Nos remerciements également à l'équipe du Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, INSA Génie Civil de l'Université Paul Sabatier, Toulouse III, pour leur appui à l'utilisation des différents matériels qui ont permis la réalisation des essais et les discussions utiles.

Merci au Feu Professeur Etienne Rakotomaria pour son apport et encouragement.

Un grand merci au Professeur Roger Randrianja pour avoir bien voulu pris la relève de Feu Professeur Etienne Rakotomaria.

Merci à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ainsi qu'à l'Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo.

7. REFERENCES

- [1] Revue d'Information Economique, Ministère de l'Economie, des Finances et du Budget, Le riz à Madagascar, 2 004
- [2] Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat (MICA), Le riz à Madagascar, 23 novembre 2020
- [3] V.I.E. Ajiwe, C.A. Okeke and F.C. Akigwe. A preliminary study of manufacture of cement from rice husk ash, 2000.
- [4] J. Sousa Coutinho, The combined benefits of CPF (Controlled Permeability Formwork) and RHA in improving the durability of concrete structures, 2 001
- [5] [Zhang M-H. And Malhotra V.-M], Characteristics of thermally activated aluminosilicate pozzolanic material and its use in concrete, Cement and Concrete Research, vol.25, n°8, pp.1713-1725, 1995.
- [6] Les normes NF EN 450 « Cendres volantes pour béton »
- [7] Les normes NF P 18-508 « Additions calcaires »
- [8] D.D. Bui, J.Hu, P.Stroeven, Particule size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete, 2005
- [9] R.Jauberthie, F.Rendell, S.Tamba, I.Cisse, Origin of the pozzolanic effect of rice husk ash, 2000
- [10] Suwimol Asavapisit and Nittaya Ruengrit, The role of RHA-blended cement in stabilizing metal-containing wastes, 2005.
- [11] M.S. Ismail and A.M. Waliuddin, Effect of rice husk ash on high strength concrete, 1996.
- [12] M.H. Zhang, R. Lastra and V.M. Malhotra, Rice-husk ash paste and concrete, 1996.

- [13] J.S. Coutinho, The combined benefits of CPF and RHA in improving the durability of concrete structures, 2003.
- [14] G.C. Isaia, A.L.G. Gastaldini, R. Moraes, Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete
- [15] Ali Salem and al, Les Ciments de Bizerte, 2001
- [16] Ayhan Demirbas, Department of Chemical Engineering, Selcuk University, Konya, Turkey, 2004
- [16] Ayhan Demirbas, Department of Chemical Engineering, Selcuk University, Konya, Turkey, 2004
- [17] M. Anwara, T. Miyagawab, M. Gaweeshc, Using rice husk ash as a cement replacement material in concret, 2007
- [18] V.I.E. Ajiwe, C.A. Okeke, F.C. Akigwe, A preliminary study of manufacture of cement from rice husk ash, 1999
- [19] V. Saraswathy, Ha-Won Song, Corrosion performance of rice husk ash blended concrete, 2006
- [20] D.D. Bui, J.Hu, P. Stroeven, Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete, 2004
- [21] Bernal, S. A., Rodríguez, E. D., de Gutiérrez, R. M., Provis, J. L., and Delvasto, S. (2012). "Activation of metakaolin/slag blends using alkaline solutions based on chemically modified silica fume and rice husk ash." *Waste and Biomass Valorization*.
- [22] G.C. Isaia, A.L.G. Gastaldini, R. Moraes, Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete, 2001
- [23] Muhammad Shoaib Ismail and A. M. WaliuddintS, Effect of rice husk ash on high strength concrete, 1996