

Elaboration et caractérisation de briques en terre crue incorporant des rejets de flottation de minerai cupro-cobaltifères

[Development and characterization of clay bricks incorporating copper-cobalt ore flotation rejects]

Crépin Kyona¹, Fanny Descamps², Ophélie Fay-Gomord³, Philippe Ancia², and Jean-Pierre Tshibangu²

¹UNILU, Université de Lubumbashi, Département de Chimie et Industrie, Faculté des Sciences et Technologies, Route Kasapa 1875, RD Congo

²UMONS, Université de Mons, Service de Génie Minier, Faculté Polytechnique, Place du Parc 20, 7000 Mons, Belgium

³KU Leuven, Géologie, Département des Sciences de la Terre et Environnement, Celestijnenlaan 200E, 3001 Heverlee, Belgium

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims to characterize raw earth bricks containing respectively 0%, 5%, 10% and 15% of solid discharges from the flotation of oxidized, mixed and sulfur minerals stored in a dike of the Southern Katanga Mining Company in the Democratic Republic of Congo. This type of brick would promote better management of the environment following the evacuation of waste from their storage site and would limit deforestation. Estimated at more than 1534390 dry tons, they contain certain metals such as copper and cobalt. The micrographs of the different brick samples containing respectively 0%, 5%, 10%, and 15% waste, along with their EDX spectra, revealed the presence of interparticle porosity and clay materials similar to kaolinite and illite. The presence of rhombohedral crystals was also detected, characteristic of the dolomite probably from the parent rock precursor of soils present in these bricks, and of the gangue of the ores initially treated by the General of Quarries and Mines also stored in the dike. The mechanical characterization of the samples by punching shows that the different material formulations have close punching resistances, which also appeals to the close results obtained during the sonic tests and which prove that the addition of the rejects almost does not modify the mechanical performance of the bricks. The pace of the punching curves and the shape of the craters are reminiscent of the presence of the collapse microstructure in the bricks.

KEYWORDS: bricks, raw earth, reject, characterization.

RESUME: Cette étude vise à caractériser des briques en terre crue contenant respectivement 0%, 5%, 10% et 15% de rejets solides issus de la flottation des minerais oxydés, mixtes et sulfurés stockés dans une digue de la Compagnie Minière du Sud-Katanga en République Démocratique du Congo. Ce type de briques favoriserait une meilleure gestion de l'environnement suite à l'évacuation des rejets de leur site de stockage et limiterait la déforestation. Estimés à plus de 1534 390 de tonnes sèches, ils contiennent certains métaux tels que le cuivre et le cobalt.

Les micrographies des différents échantillons de briques contenant respectivement 0%, 5%, 10% et 15% de rejets, et leurs spectres EDX ont montré l'existence de la porosité interparticulaire et de matériaux argileux proches de la kaolinite et de l'illite.

Il a été aussi décelé la présence des cristaux rhomboédriques, caractéristiques de la dolomite issue probablement de la roche mère précurseur de sols présents dans ces briques, et de la gangue des minerais initialement traités par la Générale des Carrières et des Mines stockés aussi dans la digue.

La caractérisation mécanique des échantillons par poinçonnage montre que les différentes formulations de matériaux présentent des résistances au poinçonnage proche, ce qui appuie aussi les résultats proches obtenus lors des essais soniques et qui prouvent que l'ajout des rejets ne modifie presque pas les performances mécaniques des briques. L'allure des courbes de poinçonnage et la forme des cratères font penser à la présence de la microstructure collapse dans les briques.

MOTS-CLEFS: brique, terre crue, rejection, caractérisation.

1 INTRODUCTION

La Compagnie Minière du Sud Katanga est une unité de flottation des minerais oxydés de cuivre et de cobalt située à plus ou moins 30 km au sud-est de la ville de Lubumbashi, exactement dans la ville minière de Kipushi. Elle traite les minerais oxydés de cuivre et de cobalt provenant de la mine à ciel ouvert de Luiswishi qui se trouve à environ 20 km de Lubumbashi. Les rejets solides de flottation de ces minerais oxydés, mélangés à une petite quantité de rejets solides de flottation de minerais sulfurés et mixtes initialement traités par la Générale des Carrières et des Mines sont estimés à plus de 1534 390 tonnes sèches et sont stockés dans une digue [1]. Les rejets de cette digue majoritairement oxydés renferment en moyenne 0,5% en cuivre et 0,3% en cobalt. Des récentes recherches ont réussi à récupérer le cuivre et le cobalt de ces rejets [2].; [3]. A côté de ces deux métaux, ils contiennent aussi environ 23,2% en oxyde de silicium nécessaire pour le renforcement de la matrice solide des briques; il ya donc nécessité de valoriser cette quantité de rejets pour une meilleure gestion de l'environnement.

Par ailleurs, les forêts environnant la ville de Lubumbashi connaissent un taux de déforestation annuel élevé estimé à environ 0,4% l'an engendré essentiellement par l'activité minière et le fait que la majeure partie de la population coupe le bois des forêts pour la cuisson des briques; ce qui peut causer à court ou à long terme des problèmes d'environnement liés spécialement au changement climatique [4].

De ce qui précède, il nous a semblé intéressant de valoriser ces rejets en les incorporant dans une brique en terre crue en vue de parvenir à une éventuelle stabilisation de la brique. De cette manière, nous pensons évacuer ces rejets de leur site de stockage et éviter la cuisson des briques qui favorise la déforestation. Les sols utilisés sont latéritiques et appartiennent au quartier Kasapa de Lubumbashi; ce quartier est facilement accessible et, la ville de Lubumbashi renferme de la latérite qui peut encore être utilisée pendant 100 ans [5].

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ECHANTILLONNAGE

Les rejets de flottation ont été prélevés à une profondeur comprise entre 70 et 100 cm, dans 20 zones choisies aléatoirement dans la troisième digue de stockage de la Compagnie Minière du Sud-Katanga. Après homogénéisation et quartage, un échantillon de 100kg a été ainsi constitué pour la présente étude. Les sols à leur tour ont été prélevés à une profondeur de 30 cm, sur une étendue de plus ou moins 800m² au quartier Kasapa de la ville de Lubumbashi. Après homogénéisation et quartage, un échantillon de 100kg a été recueilli pour le besoin de cette étude.

2.2 FABRICATION DES ÉPROUVETTES DE BRIQUES

Après échantillonnage des sols et des rejets, ces derniers ont été broyés puis tamisés sur maille de 400µm. Par estimation expérimentale, la quantité d'eau qu'il faut additionner au mélange de sols et de rejets de manière à obtenir la pâte à comprimer a ainsi été déterminée. Dans le cadre de ce travail, 18% en poids d'eau ont permis l'obtention de la pâte contenant 0% de rejets, tandis que 20% en poids d'eau ont été nécessaires pour la préparation des pâtes contenant respectivement 5, 10 et 15% de rejets.

Une fois préparées, les pâtes ont été placées dans des moules cylindriques et comprimées à une pression de 5 bars pour obtenir après démoulage des éprouvettes cylindriques de diamètre 4cm et de hauteur 8cm. Le séchage des éprouvettes est intervenu à température ambiante à environ 26°C pendant 6 jours, puis à 60°C pendant 3 jours. Les éprouvettes séchées seront ainsi soumises à différentes techniques de caractérisation.

2.3 LES ESSAIS SONIQUES

Cette technique de caractérisation consiste à envoyer sur l'échantillon à étudier des impulsions soniques. En fonction du temps t de traversée de ces impulsions à travers l'échantillon et compte tenu de la longueur ou de la hauteur de l'échantillon, la vitesse v du son à travers l'échantillon est ainsi déterminée. Cette vitesse dépend d'un certain nombre de facteurs tels que la porosité de l'échantillon, la structure et la nature du matériau à étudier, etc. Tout compte fait, cette méthode permet de recueillir des informations sur l'homogénéité et l'isotropie de l'échantillon. Dans le cadre de ce travail, l'appareil utilisé est de marque Pundit Plus qui possède une résolution de 0,1µs et un facteur de correction de 100% pour afficher les temps de transit. Ces essais ont été menés sur des éprouvettes sèches et cylindriques de diamètre 4cm et de hauteur 8cm.

2.4 L'OBSERVATION AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE

On entend par microscopie électronique à balayage, MEB, une technique de microscopie électronique qui consiste à produire des images de haute résolution de la surface d'un échantillon par utilisation du principe lié aux interactions électrons-matière. Pour ce faire, l'interaction entre les électrons et l'échantillon produit des électrons secondaires de plus faible énergie qui sont amplifiés puis détectés

et convertis en signal électrique. Ce processus est effectué en chaque point de l'échantillon par un balayage au microscope. Ainsi, l'ensemble de signaux permet de reconstruire la typographie de l'échantillon et d'en fournir une image en relief. Dans cette technique, la préparation de l'échantillon à étudier est souvent demandée. Elle exige que l'échantillon soit déshydraté et qu'il subisse un traitement pour devenir conducteur.

Dans le cadre de ce travail, les échantillons ont été collés sur des porte-échantillons grâce à un adhésif carbone. Les préparations ont ensuite été recouvertes, par vaporisation sous vide, d'une couche nanométrique de platine-palladium qui permet de rendre l'échantillon conducteur. L'étude au MEB peut permettre d'observer la microtexture des roches et de voir l'arrangement de particules qui est impossible de déceler en utilisant un microscope optique. La nature minéralogique des différents composants peut également être déterminé à la fois morphologiquement et à l'aide de l'analyse EDX.

2.5 LE POINÇONNAGE

La technique de poinçonnage est une méthode de caractérisation mécanique des matériaux qui consiste à enfoncer dans un matériau un poinçon cylindrique à bout plat, pointu ou sphérique. Elle agit donc dans le domaine de la mécanique de contact. Le poinçonnage a le mérite d'être un essai peu destructif qui fournit rapidement des informations sur les caractéristiques mécaniques des petits échantillons, contrairement à l'essai de compression. Pour une production en routine de briques, la technique du poinçonnage nécessite moins de matière et permet de réaliser rapidement les tests. En outre, étant donné que le test est superficiel, il y a possibilité de tester un échantillon sec en surface et pas nécessairement à cœur. L'essai de poinçonnage Schreiner réalisé dans ce travail recourt à un poinçon cylindrique en carbure de tungstène à bout plat de diamètre 4mm. Au cours de cet essai, la force et le déplacement correspondants sont enregistrés par un système de capteurs de déplacement et de pression montés sur une presse. Un capteur de pression de 25 bars a été utilisé avec une presse munie d'un vérin Enerpac MRT22 de section 4,84 cm². La courbe ainsi obtenue facilite le calcul et la détermination des caractéristiques telles que la résistance au poinçonnage, le module d'Young, le module de poisson, le paramètre élastique, le travail de destruction (aire OABC), le travail élastique (aire ODE), le coefficient de plasticité, etc. [6]; [7].

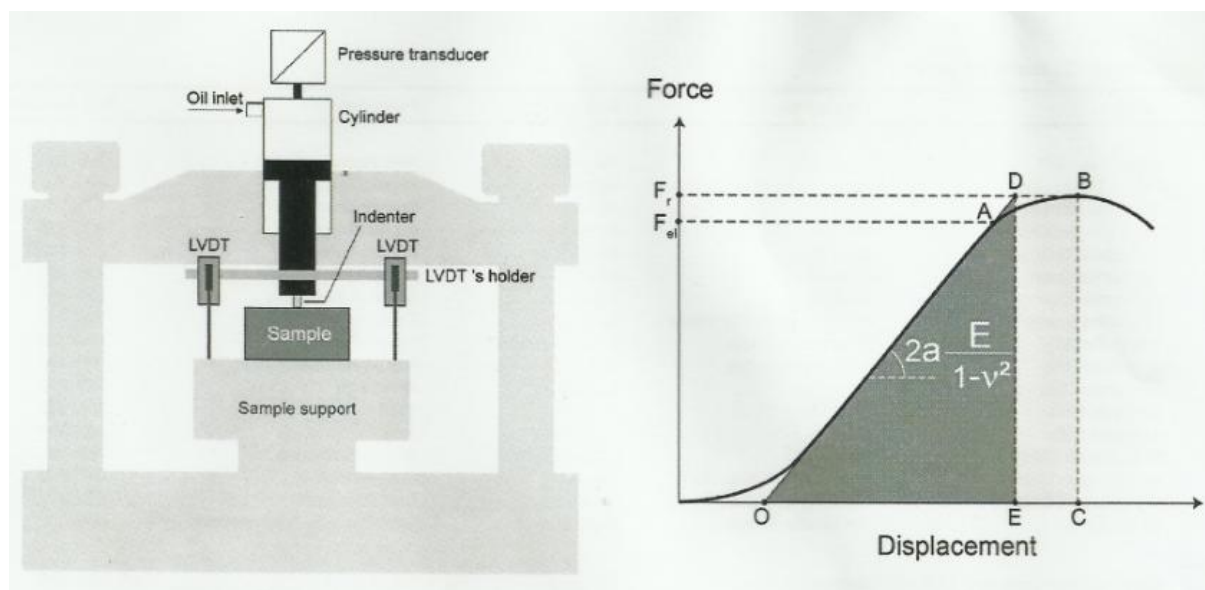


Fig. 1. Montage expérimental pour poinçonnage et courbe de poinçonnage [7] cité par [8]

3 RÉSULTATS

3.1 LES ESSAIS SONIQUES

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 3 ci-après:

Tableau 1. Résultats des essais soniques réalisés sur différentes compositions de briques

Echantillons	Hauteur (cm)	Temps (μ s)	Vitesse de son ($\frac{m}{s}$)
0% de rejets	66,85	40,00	1671
5% de rejets	70,04	42,40	1652
10% de rejets	66,54	41,50	1603
15% de rejets	68,40	40,80	1676

Les échantillons présentent une vitesse de son très proche, ce qui présage qu'ils ont aussi une porosité presque identique, vu qu'ils ont été élaborés à la même pression (5bars) et que leurs éléments constitutifs (sols et rejets) présentaient la même granulométrie.

3.2 L'OBSERVATION AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE

Les microphotographies obtenues à l'issue de cette observation sont reprises ci-dessous:

3.2.1 ECHANTILLON À 0% DE REJETS

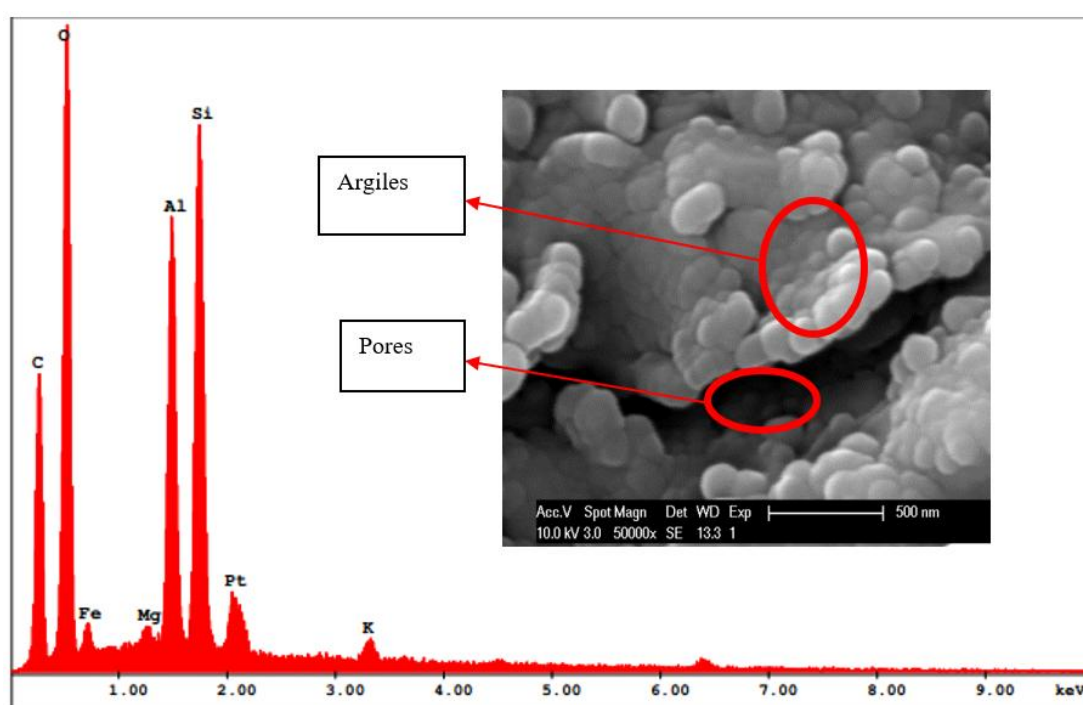


Fig. 2. Microphotographie et spectre EDX de l'échantillon à 0% de rejets

La microphotographie ci-dessus met en évidence des plaquettes empilées les unes sur les autres, caractéristiques des matériaux argileux. La porosité interparticulaire est également clairement visible. Le spectre EDX associé à cette microphotographie met en évidence la présence de fer, d'aluminium, de magnésium et de potassium associé soit à l'illite ou la kaolinite, des matériaux argileux non gonflants. Toutefois, la diffraction des rayons X permettra de préciser la nature de ces argiles, et les quantifier. Le carbone et le platine qui apparaissent sur le spectre ont été utilisés respectivement comme adhésif et pour rendre conducteur l'échantillon étudié.

3.2.2 ECHANTILLON À 15% DE REJETS

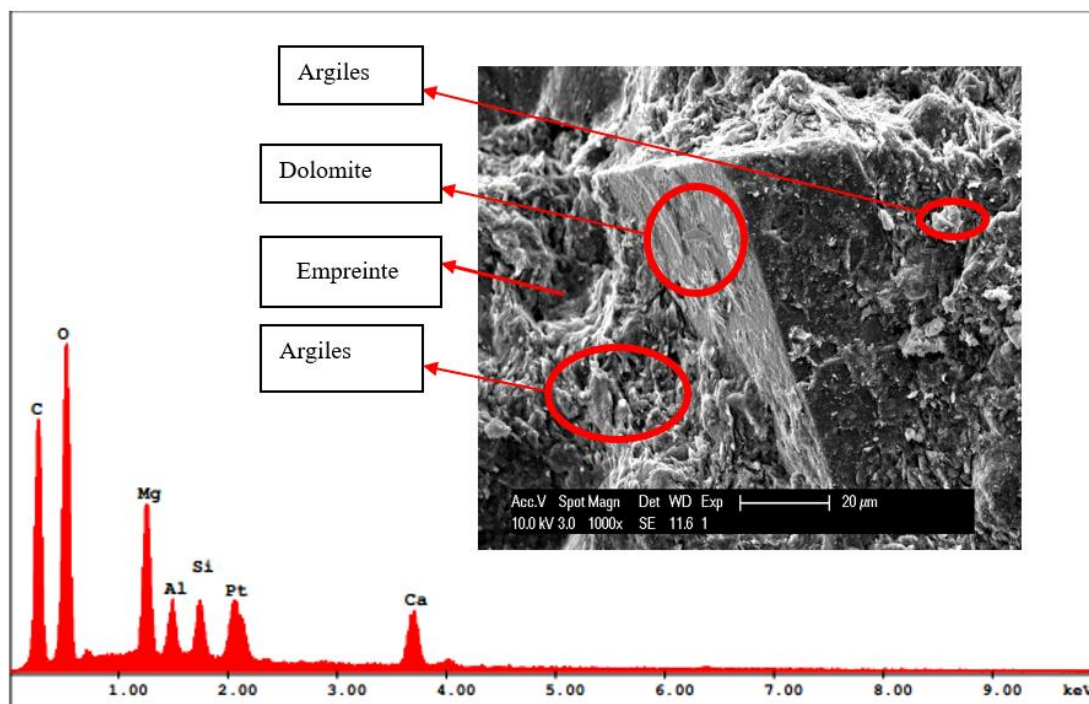


Fig. 3. Microphotographie et spectre EDX de l'échantillon à 5% de rejets

Sur cette micrographie, on observe un cristal rhomboédrique entouré de matériaux en feuillets. De par sa forme caractéristique, le cristal est de la dolomite liée à la nature de la gangue du minerai traité et à celle des sols de cette étude [1]; [10], et les feuillets correspondent à des argiles. Sur les micrographies des **figures 3 et 4** apparaissent également des empreintes liées aux cristaux rhomboédriques qui signifieraient que la zone de contact entre ces cristaux et la matrice argileuse présente dans les matériaux reste probablement l'endroit privilégié de rupture de ces matériaux lorsqu'une contrainte leur est appliquée.

3.2.3 ECHANTILLON À 10% DE REJETS

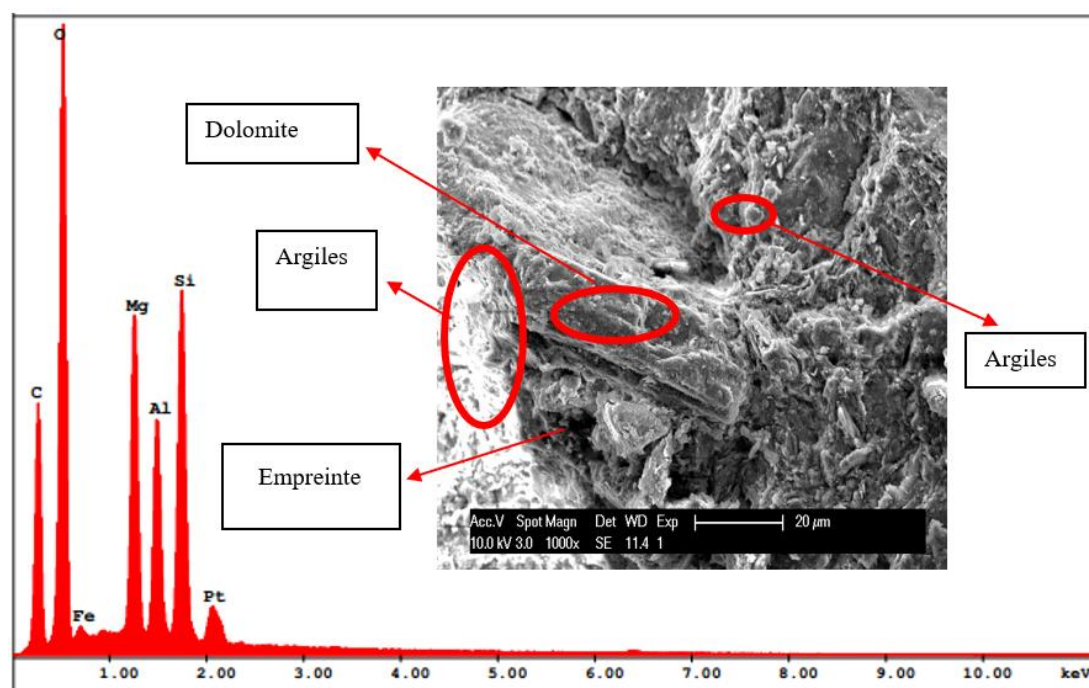


Fig. 4. Microphotographie et spectre EDX de l'échantillon à 10% de rejets

3.3 LE POINÇONNAGE

Les résultats des 5 tests réalisés par composition de briques sont repris ci-dessous:

3.3.1 ECHANTILLON À 0% DE REJETS

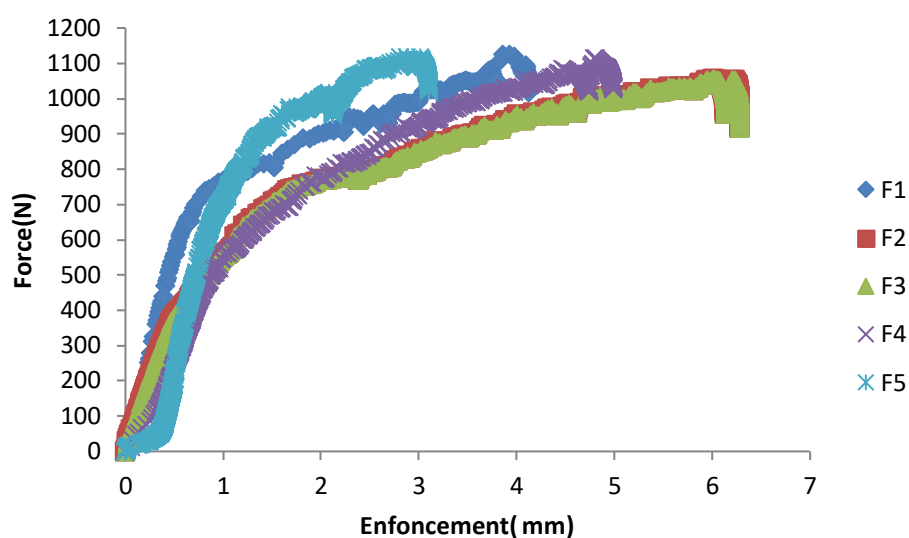


Fig. 5. Courbes de poinçonnage réalisées sur l'échantillon à 0% de rejets

Pour une force moyenne à la rupture de 1006 N, l'échantillon à 0% de rejets présente une résistance au poinçonnage de 80 MPa. Les courbes reprises sur la **figure (5)** présentent presque la même forme. En effet, on observe au début un comportement élastique qui est suivi par une partie plastique assez longue jusqu'à la rupture. Sous l'effet du poinçon, les particules présentes dans ce matériau se réorganisent et accommodent une importante déformation jusqu'à la rupture du matériau. Cela fait penser à un mécanisme d'effondrement de la structure poreuse (pore collapse) illustré d'ailleurs par la forme des cratères comme le montre la **figure (6)**. Ces courbes présentent aussi une légère dispersion du fait qu'elles ne se superposent pas toutes, signe de l'établissement d'une faible hétérogénéité au sein du matériau sous-examen.



Fig. 6. Cratères formés sur des échantillons à 0%, 5% et 10% de rejets après poinçonnage

3.3.2 ECHANTILLON À 5% DE REJETS

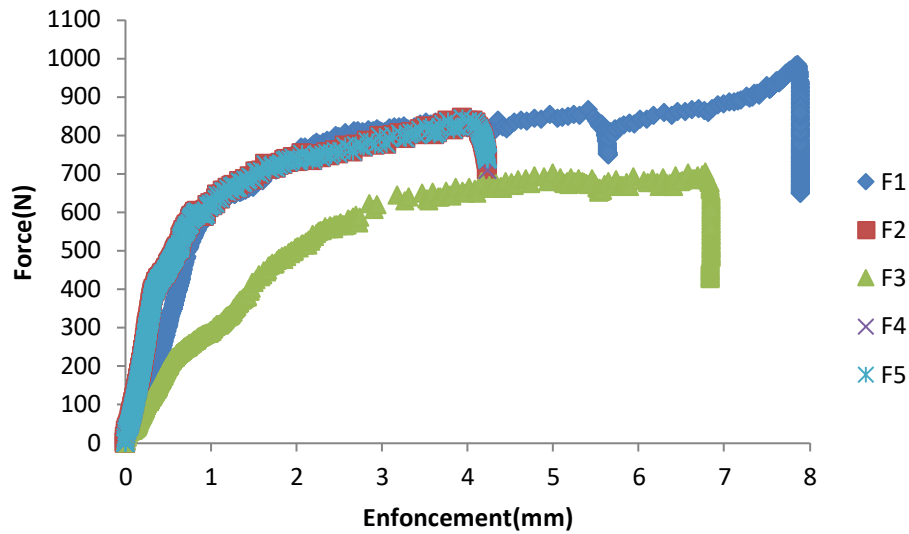


Fig. 7. Courbes de poinçonnage réalisées sur l'échantillon à 5% de rejets

L'échantillon à 5 % de rejets présente à son tour une force de rupture de 840 N; ce qui correspond à une résistance au poinçonnage de 67 MPa. Comme pour l'échantillon à 0% de rejets, ces courbes présentent aussi la même forme mais dans ce cas, on constate de par leur pente raide une légère augmentation du comportement élastique et une légère diminution de la plasticité. Il apparaît également dans ce cas une faible dispersion et une faible hétérogénéité. Ces courbes laissent aussi entrevoir l'existence de la porosité collapse au sein de l'échantillon.

3.3.3 ECHANTILLON À 10% DE REJETS

Pour une force moyenne à la rupture de 907 N, l'échantillon à 10% de rejets présente une résistance au poinçonnage de 72 MPa. Les observations émises précédemment sur les échantillons à 0% et à 5% de rejets concernant la forme des courbes, leur dispersion, leur faible hétérogénéité, la porosité collapse sont aussi valables pour les échantillons à 10% et à 15% de rejets.

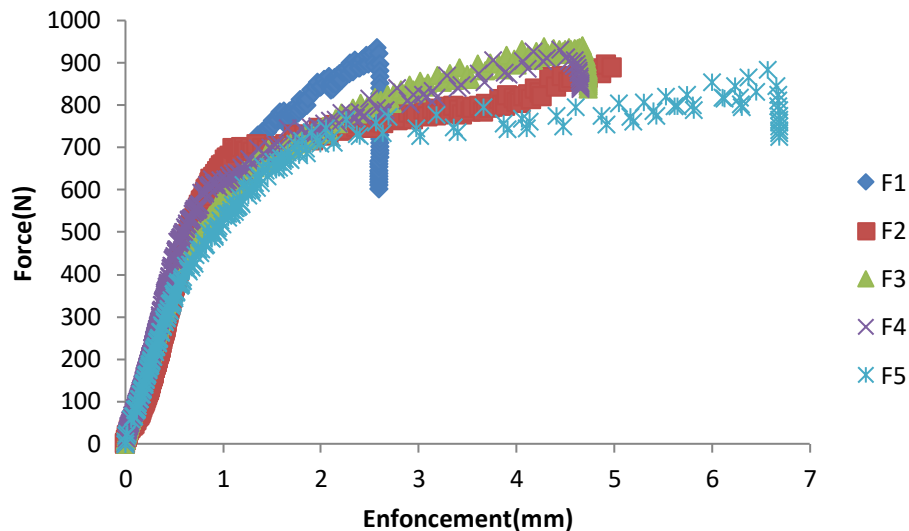


Fig. 8. Courbes de poinçonnage réalisées sur l'échantillon à 10% de rejets

3.3.4 ECHANTILLON À 15% DE REJETS

Cet échantillon présente à son tour une résistance au poinçonnage de 73N pour une force à la rupture de 913N.

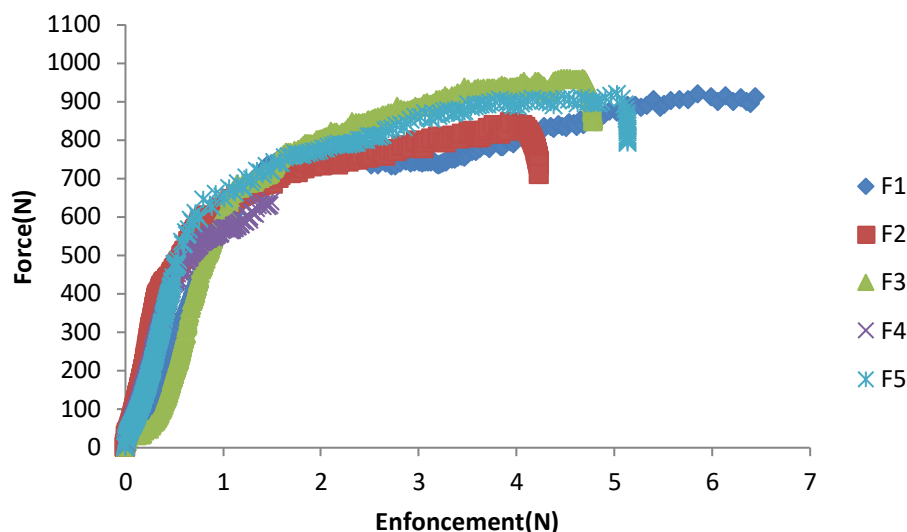


Fig. 9. Courbes de poinçonnage réalisées sur l'échantillon à 15% de rejets

En examinant les résistances au poinçonnage des quatre compositions de briques, on se rend compte qu'elles sont très proches. Cela est illustré sur la **figure (10)** ci-après. Il y a donc lieu de conclure que l'ajout des rejets ne modifie pas les propriétés pétrophysiques des échantillons. Les propriétés ne sont modifiées ni dans un sens, ni dans l'autre, l'ajout de rejet n'altérant pas la performance mécanique des échantillons, mais ne contribue pas également à l'amélioration de la cohésion.

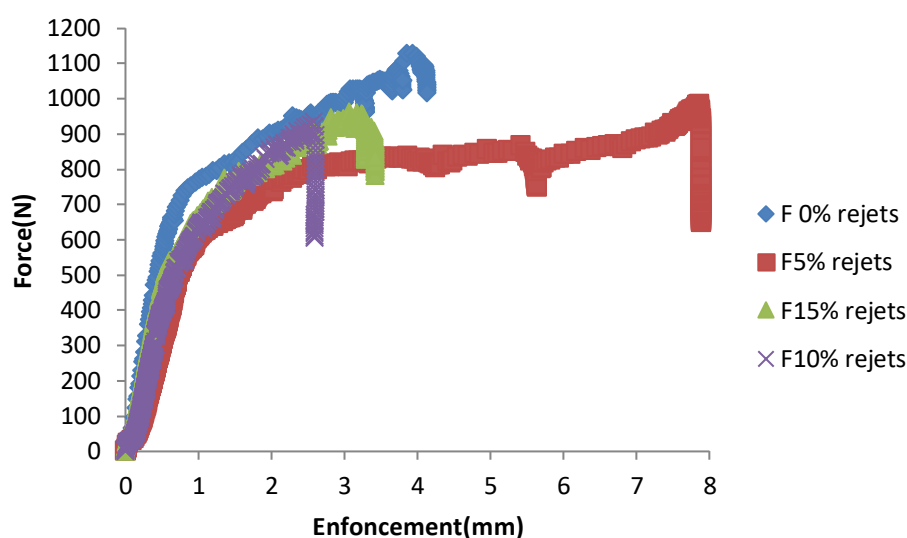


Fig. 10. Courbes de poinçonnage des échantillons contenant 0%, 5%, 10% et 15% de rejets

4 DISCUSSION

Les quatre formulations de briques de ce travail présentent les vitesses de son et les porosités voisines. Cela s'explique par le fait que ces formulations ont été élaborées à la même pression (5 bars) et la granulométrie des éléments constitutifs (sols et rejet) était identique (400 μm); ce qui présage également une petite différence entre leur porosité ainsi que leur résistance mécanique, comme le témoignent d'ailleurs les résultats obtenus dans ce travail.

L'ajout de rejets de la Compagnie Minière du sud Katanga aux briques en terre crue fabriquées dans ce travail n'a amélioré ni leurs propriétés pétrophysiques, ni leur résistance mécanique, contrairement aux briques en terre crue ayant été élaborées avec ajout du gypse hydrométallurgique de Shituru, surtout si ce dernier est préalablement transformé en plâtre [11]; contrairement au rejet utilisé dans ce travail, ce plâtre assure une bonne cohésion dans les briques suite à la formation de la portlandite qui présente des propriétés liantes et du silicate calcique hydraté.

Tout comme l'étude réalisée sur la craie [9], les courbes de poinçonnage obtenues dans le cadre de la présente étude mettent en évidence une microstructure collapse provenant de la pression du poinçon sur les différents échantillons de briques; cela peut être expliqué par le fait que les échantillons de craie et de briques étudiés dans ces deux travaux comportent de l'argile, matériau prédisposé au phénomène de pore collapse. En effet, sous la pression du poinçon, les argiles peuvent afficher une importante déformation jusqu'à la rupture de l'échantillon.

5 CONCLUSIONS

La présente étude s'est inscrit dans la dynamique de valorisation des rejets solides issus de la flottation des minerais cupro-cobaltifères traités jadis à la Compagnie Minière du Sud Katanga. Cette valorisation consisterait à incorporer ces rejets dans les briques en terre crue en vue d'une éventuelle stabilisation; ce qui permettrait d'évacuer les dits rejets de leur site de stockage, et d'éviter la déforestation consécutive à l'utilisation du bois pour la cuisson des briques.

Après échantillonnage et préparation des éléments constitutifs (sols et rejets) des briques à fabriquer, une série de quatre formulations de briques à savoir, 0% de rejets, 5% de rejets, 10% de rejets et 15% de rejets ont été élaborées à la même pression de 5 bars. Ainsi, après séchage à 26° puis à 60°, chaque formulation a été soumise aux différentes techniques de caractérisation à savoir: les essais soniques, la microscopie électronique à balayage associée à la diffraction des rayons x et le poinçonnage.

Les essais soniques ont démontré que les quatre formulations de briques présentaient une vitesse de son très proche; ce qui présage des valeurs voisines de porosité et de résistance mécanique entre les quatre formulations. La microscopie électronique à balayage et les différents spectres EDX ont mis en évidence l'existence d'une porosité interparticulaire, des matériaux argileux pouvant être de la kaolinite et de l'illite, de dolomite provenant probablement de la gangue de minerais flotté et de la nature des sols utilisés dans la formulation des briques.

Les résistances au poinçonnage des différentes formulations sont très proches, ce qui prouve que l'ajout des rejets n'améliore guère les caractéristiques mécaniques et pétrophysiques des briques. Cependant, l'allure des courbes de poinçonnage fait penser à l'existence de la microstructure collapse. Toutefois, la connaissance de l'état de stabilisation de ces briques devrait également passer par l'évaluation de leur capacité d'absorption d'eau.

REFERENCES

- [1] Kitobo, W., Kalenga, P., Ilunga, N.A., Luboya, O. et Frenay, J., Caractérisation de la mobilité des éléments traces métalliques contenus dans les rejets de l'Ancien Concentrateur de Kipushi en R.D.Congo. Annales du Pole Mines-Géologie-Université de Lubumbashi 1, 133-142, 2007.
- [2] Kitobo, W., Dépollution et valorisation des rejets miniers sulfurés du Katanga: cas des tailings de l'Ancien Concentrateur de Kipushi, Thèse de Doctorat, ULiège, 2009.
- [3] Katwika, C., Contribution à l'optimisation de la sulfuration dans la valorisation par flottation du minerai cuprocobaltifère de Ruashi I au Katan (R.D.Congo, Thèse de Doctorat, Umons, 2012.
- [4] Kabulu, D.J., Bamba, I., Munyemba, K.F., Defourny, P., Vancutsen, C., Nyembwe, N.S., Ngongo, L.M. et Bogaert, J., 2008. Analyse de la structure spatiale des forêts au Katanga. Annales Facultés des Sc. Agro., I., (2), 12-18, 2008.
- [5] Kalumba J., Inauguration d'une briqueterie moderne KCM, pp1-2, 2010.
- [6] Tshibangu, J.P., Descamps, F., Di Paolo, G., Understanding the boundary effects by means of numerical modelling when performing punching test on small samples. European Symposium of the international Society of Rock Mechanics, Eurock 2014, pp. 315-320 Vigo, Spain, 2014.
- [7] Descamps, F., Tshibangu, J.P., da Silva, N., Regnard, S., Assessing Mechanical and Petrographic properties of Fine-grained Formations from Samples Collected in Deep Oil Well. SPE/EAGE Eur. Unconv. Resour. Conf. Exhib. 25-27 February, Vienna, Austria <http://dx.doi.org/10.2118/167752-MS>, 2014.
- [8] Faÿ-Gomord, O., Descamps, F., Tshibangu, J.P., Vandycke, S., Swennen, R., Unraveling chalk microtextural properties from indentation tests. Elsevier, Engineering Geology 209 (2016) 30-43, 2016.
- [9] Beugnies A., La nappe phréatique des environs d'Elisabethville et les phénomènes connexes d'altération superficielle, Tome XVII. Annales du Service des Mines, Géographie et Géologie, Bruxelles, pp3-54, 1954.
- [10] Kyona, C., Valorisation du gypse hydrométallurgique de Shituru par la production de briques en terre crue stabilisée, Thèse de Doctorat, Unilu, 175p, 2014.
- [11] Faÿ-Gomord, O., Soete, J., Katika, K., Galaup, S., Caline, B., Descamps, F., Lasseur, E., Fabricius, I.L., Saiag, J., Swennen, R., Vandycke, S., New insight into the microtexture of chalks from NMR analysis. Mar. Pet. Geol. 75, 252-271. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.04.019>, 2016.
- [12] Ancia P., Echantillonnage des matières granulaires morcelées, Séminaire RDC, Programme Lub 02, Aspects environnementaux de l'exploitation minière, 30p, 2010.

- [13] Attoh-Okine B., Stabilising effect of locally produced lime on selected lateritic soils, *Construction and Building Materials*, vol 4, n°2, pp86-91, 1990.
- [14] Groot C.J.W.P. and Larbi J.A., The influence of interfacial moisture exchange on mortar-brick bond strength, 6th international seminar on structural Masonry for developing countries, India, pp148-156, 2000.
- [15] Guillaud H., Ogunsusi V. and Joffroy T., *Earth construction Technology: Techniques and Know-How for New Architectural Achievements* Cectech, CRATerre-EAG, Jos, 9p, 1995.
- [16] Heathcote R. and Jankuloski E., Relationship between moisture content and strength of soilcrete blocks, *Building research and information* 21, pp103-108, 1993.
- [17] Johnson K.L., *Contact mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, 230p, 1985.
- [18] Morel J.C., Mesbah A., Oggero M. and walker P., Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction, *Building and Environment*, pp. 1119-1126, 2001.
- [19] Motimore, R.N., Fielding, P.M., The relationship between texture, density and strength of chalk 109-132, 1990.
- [20] Ogunsusi V., Kolawole P., Moriset S. and Odiaka I., *Compressed Earth Bricks Masonry, quality control N°4*, National Museum, Jos, 9p, 1995.
- [21] Olivier M., Mesbah A., El Gharbi Z. et Morel J.C., Mode opératoire pour la réalisation d'essais de résistance sur blocs de terre comprimé, *Mater struct.* 30, pp 515-517, 1997.
- [22] Papamichos, E., Brignoli, M., Santarelli, F.J., An experimental and theoretical study of a partially saturated collapsible rock *Mech. Cohesive-frictional Mater.* 2, 251-278, 1997.
- [23] Poon C.S.C., Kou S.C. and Lam L., Use of recycled aggregates in moulded concrete bricks and blocks. *Construction and building Materials*, vol.16, issue 5, pp281-289, 2002.
- [24] Risnes, R., Deformation and yied in high porosity outcrop chalk. *Phys. Chem. Earth Sci.* 26, 53-57, 2001.
- [25] Shrinivasa Rao S. and Venkatarama R., Strength characteristics of soil-cement block masonry, *The Indian Concrete Journal*, pp127-131, 1995.
- [26] Taghdi M., Bruneaud M. and Saatcioglu M., Analysis and design of low rise masonry and concrete walls retrofitted using steel strips. *Journal of structural engineering*, pp1026- 1032, September 2000.
- [27] Venkatarama R., Ven B.V. and Jagadishk Field S., Evaluation of pressed soil-cement blocks. *Structural masonry for developing countries*, pp168, December 1992.
- [28] Walker P., Bonds characteristics of earth block masonry, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol.11, issue 3, pp.249-256, 1999.
- [29] Zorlu, K., Gokceoglu, C., Ocakoglu, F., Nefeslioglu, H.A., Acikalin, S., Prediction of uniaxial compressive strength of sandstones using petrography-based models. *Eng.Geol.* 96, 141-158. [http://dx. doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.10.009](http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.10.009), 2008.