



HAL
open science

Matériaux biosourcés à base de déchets de carrières de roches concassées

Ibrahim Es-Saady, Damien Rangeard, Léon-Brice Mboumba-Mamboundou, Nicolas Montrelay, Koffi-Justin Houessou, Rose-Marie Dheilly, Michèle Queneudec

► To cite this version:

Ibrahim Es-Saady, Damien Rangeard, Léon-Brice Mboumba-Mamboundou, Nicolas Montrelay, Koffi-Justin Houessou, et al.. Matériaux biosourcés à base de déchets de carrières de roches concassées. Matériaux 2018, Nov 2018, Strasbourg, France. pp.11. hal-02005373

HAL Id: hal-02005373

<https://enpc.hal.science/hal-02005373>

Submitted on 4 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Matériaux biosourcés à base de déchets de carrières de roches concassées

Ibrahim Es-Saady, Damien Rangeard, Léon-Brice Mboumba-Mamboundou, Nicolas Montrelay, Koffi-Justin Houessou, Rose-Marie Dheilily, Michèle Quéneudec

Unité de recherche EPROAD (EA 4669) UPJV, Equipe IMaP, 7 rue du Moulin Neuf 80000 Amiens, France.

*michele.tkint@u-picardie.fr

RESUME : Le stockage de boues de lavage, obtenues lors du concassage de roches massives, constitue un problème d'ordres économique et environnemental. L'objectif de ce travail, était d'étudier la potentialité de valorisation de ce déchet ultime par des procédés respectant les critères du développement durable et de l'économie circulaire. Après séchage des fines, obtenues lors du concassage et lavage des roches de différentes origines minéralogiques, ont été mélangées à des matières fibreuses végétales et à des liants biosourcés, en phase aqueuse, mis au point par l'unité de recherche. La caractérisation des matériaux, ainsi élaborés, a conduit à des résultats prometteurs en ce qui concerne les performances mécaniques et thermiques. Ce mode de valorisation se traduira également par un gain économique qui comblera en partie le manque à gagner actuel.

MOTS CLES : roche concassée, liant biosourcé, coproduit végétal, caractérisation mécanique, conductivité thermique

ABSTRACT: Storage of washing sludges, obtained during crushing of massive rocks, is an economic and environmental problem. The objective of this work was to study the potential of this ultimate waste upgrading by means of processes that meet the criteria of sustainable development and the circular economy. After their drying, the fines, obtained during crushing and washing of rocks of different mineralogical origins, were mixed with plant fibrous materials and biosourced binders. These binders are in aqueous phase, and the research unit has developed them. The developed materials characterisation has led to promising results in terms of mechanical and thermal performances. This upgrading method will also result in an economic gain that will partially cover the current economic loss.

KEYWORDS: crushing rock, biosourced binder, vegetal byproduct, mechanical characterisation, thermal conductivity.

1. INTRODUCTION

Le concassage de roches massives donne lieu à des quantités importantes de boues de lavage qui sont actuellement peu utilisées et stockées après pressage. Le stockage de ces déchets de carrières constitue à la fois un problème économique et une gêne environnementale. Or, des travaux antérieurs [1 à 8], menés par certains des auteurs, ont montré que ces déchets de carrières pouvaient constituer une ressource alternative pour la construction et participer ainsi à une meilleure gestion des ressources pour les matériaux de construction.

Par ailleurs, il existe actuellement, un peu partout dans le monde, un désir de retour au naturel. C'est le cas par exemple, de la terre crue pour laquelle il existe un renouveau que ce soit en construction neuve ou en réhabilitation. Outre l'application de techniques ancestrales [9 à 11], des

produits nouveaux à base de terre crue ont vu le jour dans les dernières décennies [12 à 19] grâce à la combinaison des savoir-faire d'hier et des techniques modernes.

La phase active de la terre naturelle est la partie argileuse et, on peut, dans une certaine mesure, assimiler les fines issues du lavage de granulats à des terres fines peu argileuses (au sens minéralogique du terme). En présence d'eau, il se forme, entre les particules argileuses, des ponts hydriques qui donnent à l'argile sa cohésion et son ouvrabilité associées toutefois à une augmentation de volume. Au séchage, les argiles retrouvent leur volume primitif et, sous l'influence du retrait, se fissurent dans la masse. Le comportement hydrique de ces matières argileuses est donc réversible et le comportement à l'eau est un des problèmes majeurs de la terre crue qui nécessite un traitement du matériau que l'on désigne par le terme général de stabilisation. Celle-ci consistera à utiliser au mieux les qualités du matériau argileux tout en lui conférant des qualités que l'argile présente ne possède pas seule. La stabilisation doit être adaptée à chaque type de terre et au procédé de mise en œuvre. Les techniques usuelles pour la terre crue sont soit mécaniques (densification) soit physico-chimiques soit une association des deux et, actuellement, les stabilisants utilisés sont surtout le ciment et la chaux qui bénéficient d'une filière industrielle. Les préoccupations environnementales actuelles prèchent cependant pour l'utilisation de stabilisants biosourcés qui ont fait ces dernières décennies l'objet de nombreuses recherches et pour lesquelles des filières se mettent en place. C'est donc dans cette voie que s'est orienté ce travail.

Par ailleurs, les préoccupations concernant la maîtrise énergétique posent la question de l'enveloppe des bâtiments qui doit être de plus en plus performante thermiquement. De nombreux travaux ont par conséquent été menés ces dernières décennies pour élaborer des bétons lignocellulosiques adaptés à la construction.

L'objectif sera donc, dans ce travail, d'apprécier la potentialité de valorisation de boues de lavage des granulats (considérées actuellement comme des déchets ultimes) par des procédés respectant les critères du développement durable : économies d'énergie à la fabrication (procédés à froid) et en service (bonnes performances thermiques), utilisation maximale de ressources renouvelables (charges végétales, stabilisants biosourcés), minimisation de l'utilisation de ressources fossiles (pas de liants hydrauliques, fraction minérale limitée aux fines de lavage des granulats concassés).

2. MATERIAUX

2.2. MATIERES PREMIERES

2.1.1. Fines de lavage des granulats.

Les fines minérales utilisées sont obtenues par séchage des boues de lavage provenant des carrières Lessard situées en Bretagne. Elles proviennent du lavage de roches concassées et correspondent à différents types de roches. Après séchage et broyage les matériaux sont tamisés par voie sèche à l'aide d'une tamiseuse à vibration RETSCH AS 200 pour ramener la limite granulaire supérieure à 80 μ m.

La distribution granulométrique est déterminée à l'aide d'un granulomètre laser de type COULTER qui permet de mesurer la taille des particules de 0.01 μ m jusqu'à 3 mm. Les courbes granulométriques sont données dans la figure 1. L'analyse a été réalisée par voie sèche.

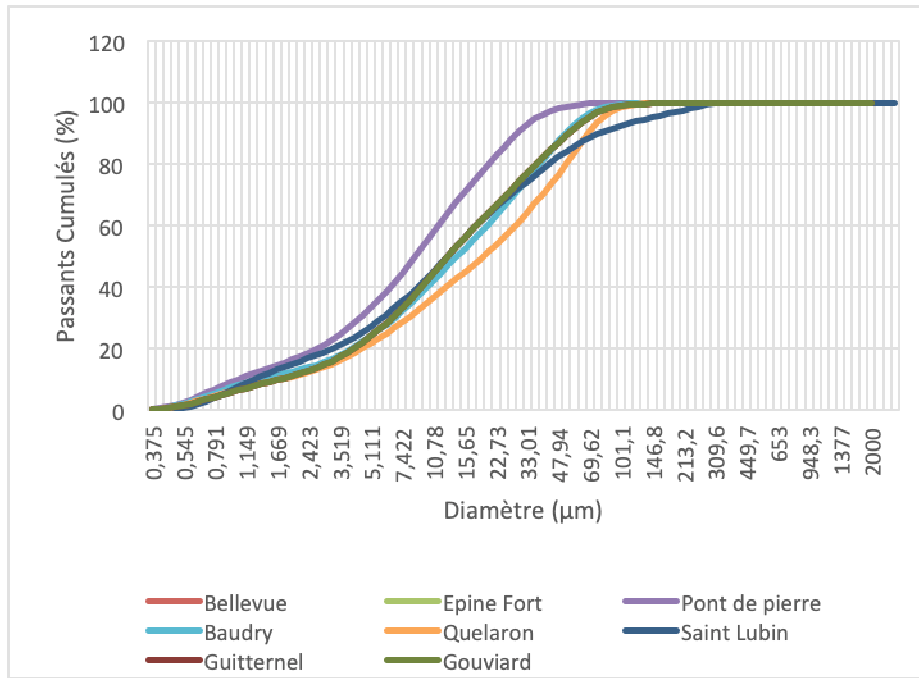


Figure 1 : Analyse granulométrique des fines minérales.

Le tableau 1 donne les caractéristiques des fines minérales recueillies.

Tableau 1 : Caractéristiques des fines minérales recueillies lors du séchage des boues de lavage provenant des carrières Lessard situées en Bretagne, avec : (K) (Kaolinite, (C) Chlorite, (I) Illite et (S) smectite

Type de roche	fraction < 2µm %	Indice de plasticité (%)	Types d'argiles présentes	Nom des carrières
Diorite écrasée	17,66	15,6	K(++) C(+) I(=) S(tr)	Saint Lubin
Grès armoricain	11,06	10,5	I(++) K(++)	Bellevue
Granit 1	11,94	10,9	I(++) K(+) C(tr) S(tr)	Epine Fort
Granit 2	10,91	6,7	K(+) I(+)	Quelaron
Quartzite	13,1	20,3	K(++) I(++) C(=)	Guitternel
Cornéenne à amphibole	16,39	13,3	K(++) I(++) C(+) S(tr)	Pont de Pierre
Gneiss	11,92	10,5	I(++) K(+) C(=) S(tr)	Gouviard
Microgranulite	12,46	9,6	I(++) K(+) C(+) S(tr)	Baudry

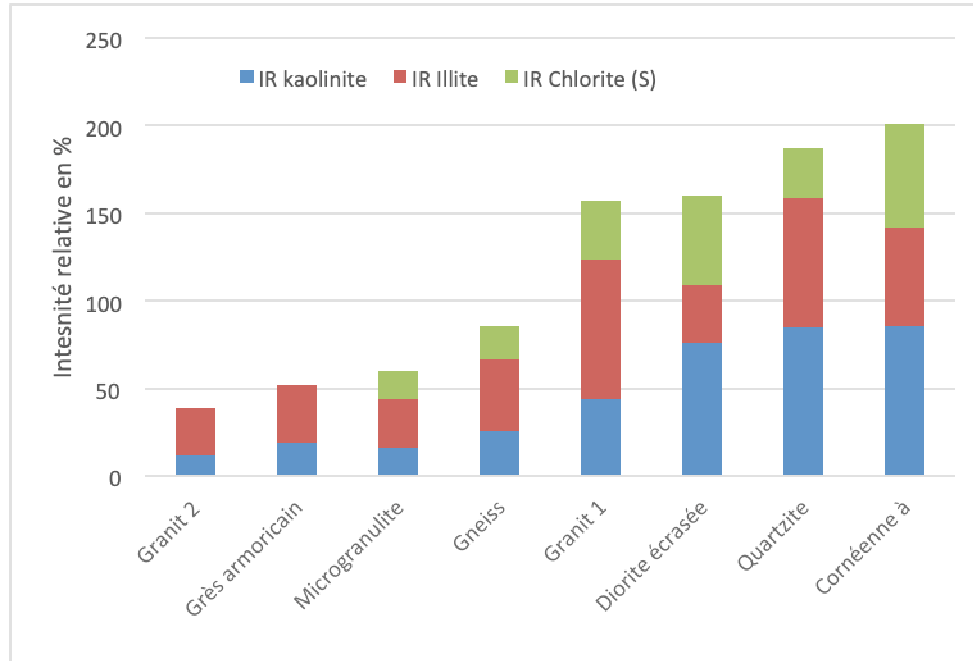


Figure 2 : Intensités relatives IR ((Intensité du pic obtenu en DRX/Intensité du pic de Quartz) x100) des différentes argiles.

L'analyse minéralogique par DRX a montré que la fraction fine (<2µm) était composée de quartz et d'argiles : Kaolinite (K), Chlorite (C), Illite (I), smectite (S). Les proportions relatives des différentes argiles ont été appréhendées à partir des intensités relatives IR avec $IR = (\text{Intensité du pic obtenu en DRX} / \text{Intensité du pic de Quartz}) \times 100$ [20,21]. Les valeurs sont reportées sur la figure 2.

Le paramètre Activité A_{CB} défini par Lautrin [22] a été utilisé pour évaluer le gonflement des sols utilisés, il est déterminé suivant l'équation (1) où C2 représente le passant à 2µm

$$A_{CB} = 100 \times VBS / C2 \quad (1)$$

Le classement de l'activité de la fraction argileuse en fonction de la valeur de A_{CB} est donné dans le tableau 2.

Tableau 2 : Activité de la fraction argileuse en fonction de la valeur du paramètre A_{CB} défini par Lautrin [22]

A_{CB}	Activités des argiles (Lautrin)	Activité de la fraction argileuse (XP P 94-011)
> 18	Novices	TRES ACTIVE
13 à 18	Très actives	ACTIVE
8 à 13	Actives	MOYENNE
5 à 8	Normales	PEU ACTIVE
3 à 5	Peu actives	INACTIVE
1 à 3	Argiles inactives	
< 1	Sols argileux	

Les valeurs A_{CB} obtenues, pour les différentes argiles étudiées, sont résumées dans le tableau 3. Elles permettent de constater l'absence d'argiles susceptibles d'entraîner des pathologies dans la construction.

Tableau 3 : Caractéristiques des différentes argiles utilisées : source, VBS, activité et IR

Nom des carrières	VBS	A_{CB}	Activité	IR/Quartz			Somme des IR
				kaolinite	Illite	Chlorite	
Saint Lubin	1,5	8,5	Moyenne	76	33	51	160
Bellevue	0,17	1,5	Inactive	19	33	0	52
Epine Fort	0,8	6,7	Moyenne	44	80	33	157
Quelaron	0,5	4,6	Peu active	12	27	0	39
Gutternel	0,5	3,8	Peu active	85	74	28	187
Pont de	0,67	4,1	Peu active	86	56	59	201
Pierre	0,7	5,9	Peu active	26	41	19	86
Gouviard	0,9	7,2	Moyenne	16	28	16	60
Baudry							

2.1.2. Fraction végétale

Les ressources végétales utilisées sont des pailles de miscanthus, fournies par la société BES (Biomasse Environnement Système, Epizy 77), broyées et tamisées à 2mm. L'intérêt environnemental du miscanthus est indéniable. Il s'agit d'une plante pérenne, peu exigeante en intrants et possédant un rendement à l'hectare élevé. Il peut être cultivé sur des terres marginales et notamment permet de maintenir une activité économique sur des terres entrant dans le périmètre des champs captants. Il n'entre donc pas en compétition avec les cultures vivrières.

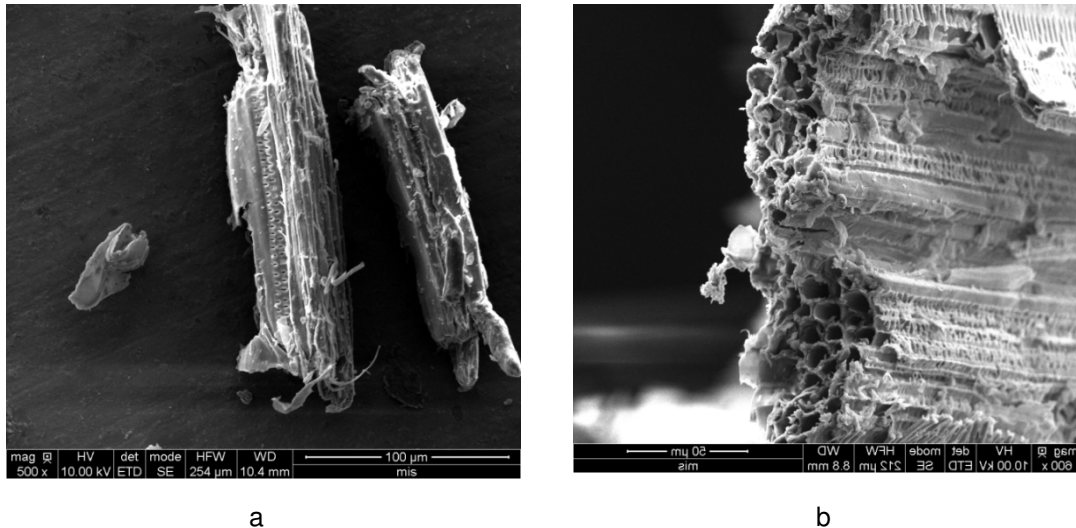


Figure 3 : Analyse par microscopie électronique à balayage des particules obtenues par broyage et tamisage à 2 mm de pailles de miscanthus à faible grossissement : (a) particule entière avec $G= 500$ et b) extrémité d'une particule avec $G=600$

Enfin, la pérennité de la plante et l'absence de labour sur les terres concernées favorisent le stockage du carbone dans les sols. Les tiges de miscanthus ont des propriétés particulières, notamment de solidité et d'élasticité. Ses fibres ont un pouvoir absorbant très important. Elles sont riches en lignine, ce qui limite le risque de moisissures et augmente les performances mécaniques. Il faut également signaler sa richesse en silice.

L'analyse par microscopie électronique à balayage permet de constater que les particules sont de forme allongée, de faibles largeur et épaisseur, mais pouvant atteindre 10 mm de longueur. Elles présentent une structure poreuse (figure 3). La masse volumique réelle de ces particules est de l'ordre de 280 kg/m^3 et leur taux d'absorption d'eau massique est voisin de 320%.

2.2. ELABORATION DES MATERIAUX

Les fines minérales et le miscanthus sont d'abord malaxés à sec dans un malaxeur à mortier normalisé, à vitesse lente. Le liant est ensuite versé progressivement et le malaxage est prolongé jusqu'à l'obtention d'une pâte épaisse qui est ensuite disposée, dans des moules appropriés aux mesures réalisées, puis éventuellement compactée. Le compactage a été réalisé, grâce à une presse manuelle, à pression constante. Le moule muni de sa hausse (hauteur 2,5cm) est rempli à ras bord et la pression exercée jusqu'à une diminution de hauteur de 2,5cm. Après arasage, les moules remplis sont placés en étuve à la température de 50°C pendant une durée de 24h au bout de laquelle les éprouvettes sont démoulées et remises à l'étuve à 50°C jusqu'à masse constante. Les essais sont réalisés à un âge de 5 jours après retour à l'ambiante.

3. CARACTERISATION DES MATERIAUX ELABORES

3.1. CARACTERISATION MECANIQUE

Les essais mécaniques ont été réalisés à l'aide d'une machine AGX-10kN Shimadzu équipée du logiciel Trapezium X (pilotage et exploitation) avec une vitesse de 50N/s.

Des essais de flexion 3 points ont tout d'abord été effectués sur des éprouvettes $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 16\text{cm}$. Les courbes contrainte/déformation montrent une évolution linéaire au début de l'application de la charge suivie d'une rupture nette et brutale. Les résistances en compression simple ont été déterminées sur les demi-blocs obtenus après la rupture des éprouvettes en flexion. Notons que, en raison du caractère ductile du matériau élaboré, on n'obtient pas une rupture franche en compression. On considérera que la résistance à la compression correspond à la contrainte notée lors des premières microfissures observées sur la surface du matériau. A titre d'exemple, la figure 4 donne l'allure de la courbe contrainte/déformation pour un échantillon à base de granit 2 (carrière de Quelaron).

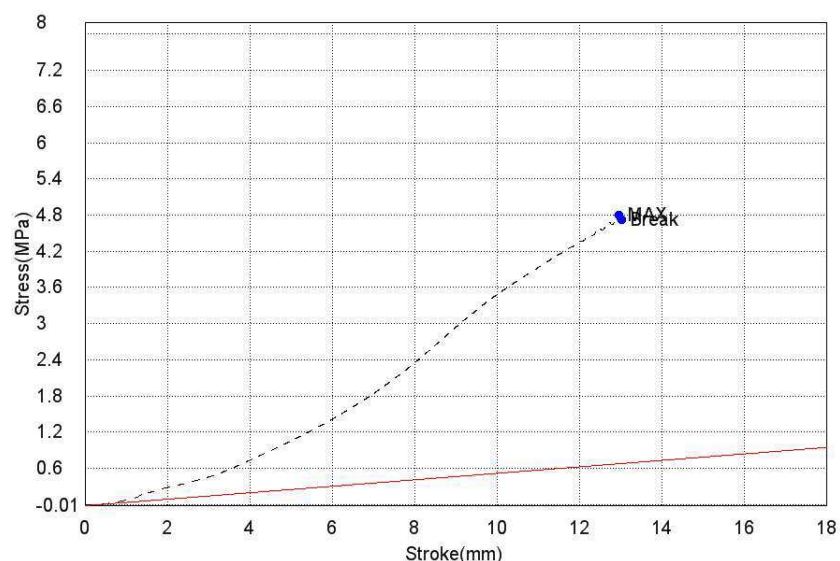


Figure 4 : Courbe Contrainte-Déformation en compression d'un échantillon à base de granit 2

Par ailleurs, on a pu constater que, dès la libération des forces appliquées par la presse, le matériau reprend quasi complètement sa forme initiale (figure 5). Il sera donc intéressant d'étudier de manière approfondie le comportement mécanique de ce matériau dans l'optique d'applications ciblées : acoustique, vibrations, sismologie....

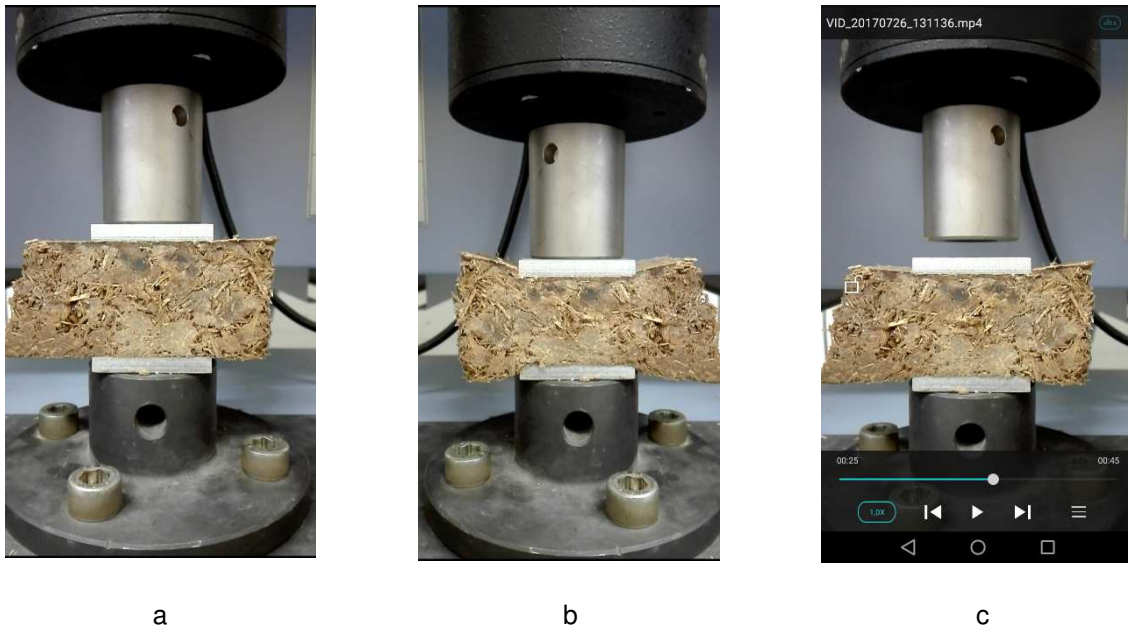


Figure 5 : Observation de l'échantillon lors de la mesure de la résistance mécanique du matériau élaboré : a) avant le test, b) pendant le test et c) après le test

La figure 6 présente les résultats obtenus pour les différentes fines étudiées.

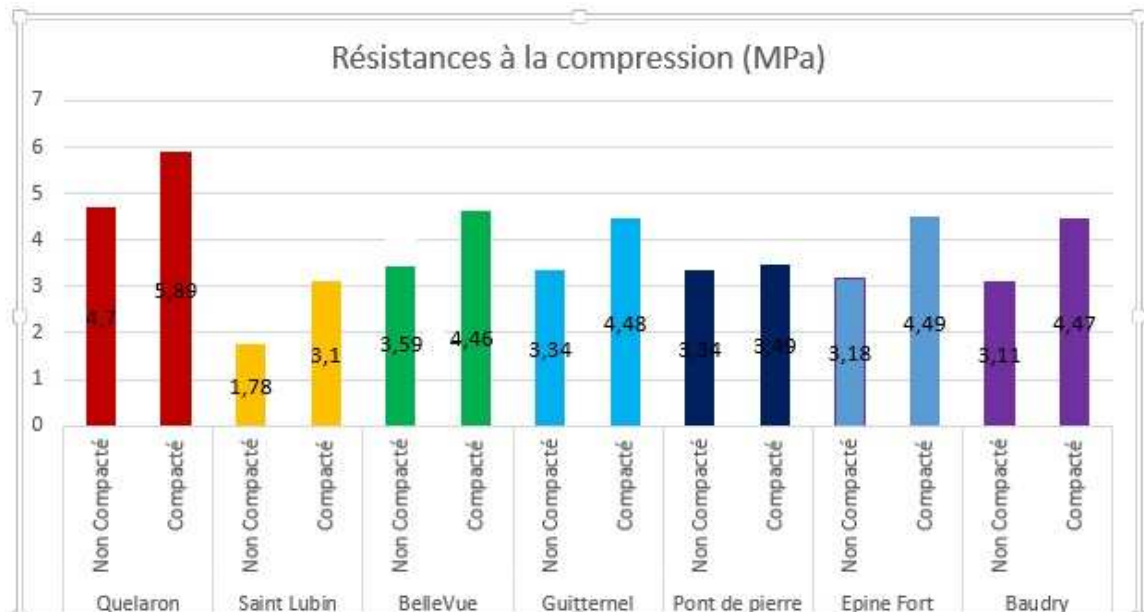


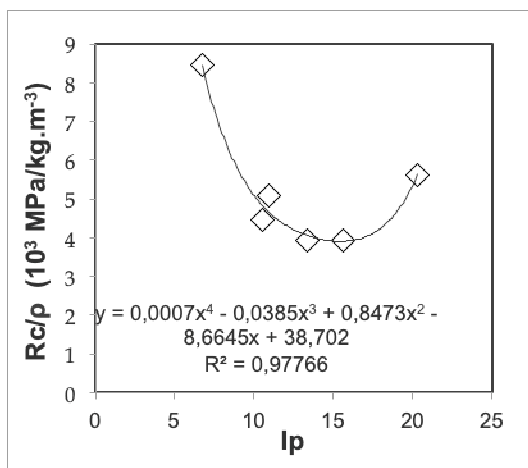
Figure 6 : Evolution des résistances à la compression du matériau composite en fonction de l'origine des argiles.

Il s'agit d'une étude préliminaire qui a consisté à effectuer un balayage des performances obtenues pour les différents déchets de carrière étudiés. Il est donc difficile de tirer des conclusions précises quant à l'impact de la composition des argiles sur les performances mécaniques des composites. Toutefois, on peut remarquer que celles qui contiennent le plus fort taux de chlorite (Saint Lubin, Pont de Pierre) semblent conduire à des résistances plus faibles malgré une présence d'argile plus importante et un indice de plasticité plus élevé.

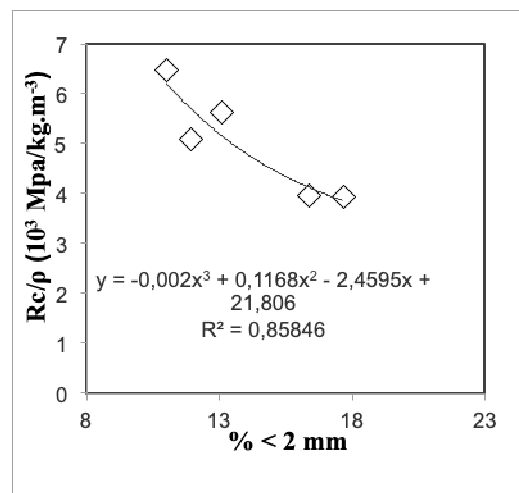
Les résistances à la compression ont été ramenées à l'unité de masse volumique pour gommer la dispersion des résultats. Elles ont fait l'objet d'une tentative de recherche d'évolution avec l'indice de plasticité et le pourcentage de fines <2µm. Bien que cette étude reste une première approche, on constate que, dans les deux cas, il existe une loi décroissante de type polynomial (figure 7).

Tableau 4 : Caractéristiques physicomécaniques des composites élaborés en fonction de l'origine des argiles.

Carrière	Rc	ρ	$10^3 \cdot Rc / \rho$	I_p	%<2µm
	MPa	kgm ⁻³	10 ³ .MPa/kgm ⁻³		
Quelaron	5,89	694,7	8,48	6,7	10,91
Saint Lubin	3,10	787	3,94	15,6	17,66
Belle Vue	3,59	801	4,48	10,5	11,06
Gutternel	4,48	796	5,63	20,3	13,1
Pont de Pierre	3,49	880	3,96	13,3	16,39
Epine Fort	4,49	880	5,10	10,9	11,94



a



b

Figure 7 : Evolution du rapport de la résistance à la compression par la masse volumique en fonction : a) de l'indice de plasticité et b) du pourcentage de la fraction inférieure à 2µm

3.2. CARACTERISATION THERMIQUE

Les caractéristiques physico thermiques ont été déterminées par la méthode TPS (Hot Disk Thermal TPS 2500). Les essais thermiques ont été réalisés sur des éprouvettes de dimension 10 x 10 x 2,5 cm³ préalablement séchées. Avant les mesures, les échantillons, conservés dans des sacs en plastique pour éviter une absorption éventuelle d'humidité, sont placés dans la salle de caractérisation afin que leur température se stabilise à hauteur de celle de la salle. Les conductivités thermiques obtenues sont données dans le tableau 5.

Tableau 5 : Caractéristiques physico-thermiques des composites en fonction de l'origine de l'argile.

Carrières	Compactage	Masse volumique apparente (kg/m ³)	Conductivité thermique (W/m.K)
Quelaron	oui	695	0,26
	non	590	0,16
Saint-Lubin	oui	787	0,19
	non	634	0,15
Belle Vue	oui	801	0,32
	non	634	0,24
Guitternel	oui	796	0,21
	non	680	0,09
Pont de Pierre	oui	880	0,26
	non	700	0,21
Epine Fort	oui	880	0,22
	non	620	0,18

L'examen des résultats du tableau 5 montre que le compactage améliore notablement la résistance à la compression tout en maintenant une hausse raisonnable de la conductivité thermique, en raison probablement de la forte proportion de matière végétale.

Ces résultats montrent également que les masses volumiques obtenues après compactage sont de l'ordre de 700 à 900 kg/m³. Les matériaux ont des conductivités thermiques allant de 0,2 à 0,3 W/m.K. Les résistances à la compression sont comprises entre 3 et 6 MPa. On peut donc considérer qu'il s'agit de bétons légers isolants porteurs ou isolants si l'on se réfère à la classification fonctionnelle de la RILEM (tableau 6)

Tableau 6 : Classification fonctionnelle de la RILEM

Classe	i	ii	iii
Type de béton	Construction	Construction et isolation	Isolation
Masse volumique sèche (kg/m ³)'	< 2000	Non précisée	Non précisée
Résistance à la compression (MPa)"	> 15,0	> 3,5	> 0,5
Coefficient de conductivité thermique (W/m.K)		< 0,75	< 0,3

(') Suivant Recommandation Définitive RILEM n° 10 Novembre 1975, (") Suivant Recommandation Définitive RILEM n° 4, Novembre 1975

4. CONCLUSION

Les résultats sont prometteurs et laissent envisager positivement la transformation de ces déchets de carrières de roches concassées en matériaux de construction. L'usage de la terre dans la construction est bien connu et jouit actuellement d'une image attractive. De même les bétons ligno cellulosiques ont fait l'objet de nombreuses études durant ces dernières décades. Toutefois, ils contiennent souvent des stabilisants d'origine minérale fortement consommateurs d'énergie comme le ciment. Dans l'étude présente, c'est un composé agro sourcé, préparé à froid à partir de ressources renouvelables, qui est utilisé comme liant. De plus, le matériau élaboré est fortement chargé en matière végétale hautement renouvelable et associe des performances thermiques intéressantes à des propriétés mécaniques raisonnables. Il est donc une réponse aux préoccupations environnementales actuelles : déchets, économies d'énergie, renouvellement des ressources... Il présente un intérêt économique certain à travers la transformation de déchets considérés comme ultimes en matières premières sans transformation supplémentaire.

5. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la Société Lessard, l'Institut d'Architecture et d'Urbanisme de Rennes et tout particulièrement Ecomaterra qui nous ont accompagnés dans ce travail

6. REFERENCES

1. K.Al-Rim, M.Ruzicka, R.M. Dheilly, A. Bouguerra et M. Quéneudec, *Valorisation de fines minérales industrielles-Cas de résidus schisteux de concassage*, DECHETS-Sciences et Techniques 8 (4^{ième} trimestre) (1997) 39-43.
2. M.L.Benmalek, A.Bouguerra, A.Ledhem, R.M.Dheilly, M.Quéneudec, *Thermal properties of solid industrial waste-based wood concretes*, Canadian Journal of Civil Engineering 26 (N° 3) (1999) 374-377.
3. M.L.Benmalek, R.M.Dheilly, A.Bali, M.Queneudec, *Lightweight insulating concretes from mineral fines waste and wood aggregates*, High Temperatures-High Pressures 32 (1) (2000) 29-37.
4. M.L. Benmalek, H.Houari, A.bali, M.Queneudec, *Infrastructure Regeneration and Rehabilitation Improving the Quality of Life Through Better Construction. A Vision for the Next Millennium*, R.N.Swamy (1999), ISBN 1-84127-051-2, 223-232.
5. M.L.Benmalek, I.Houssais, A.Bali, M.Queneudec, *Caractérisation mécanique et hygrothermique de matrices cimentaires à base de déchets industriels*, International Congress Material Science &Engineering, ICMSE99 USTHB Alger Algérie (1999), 7p.
6. M. Bederina, Z. Makloufi, A.Bounoua, T.Bouziani, M.Quéneudec. *Effect of partial and total replacement of siliceous river sand with limestonecrushed sand on the durability of mortars exposed to chemical solutions*, Construction and Building Materials 47 (2013) 146-158.
7. A.Zirègue, M.Khenfer, M.Quéneudec, *Influence de différents facteurs d'allègement sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques d'un béton à base de sable calcaire*. Conférence Internationale Francophone NoMaD (2015), 2p.
8. A.Ziregue, M.Khenfer, M.t'Kint, N.Montrelay, *Developmental potentiality of insulating lightweight concrete and calcareous sand*, Journal of Adhesion Science and Technology, (2016) DOI:10.1080/01694243.2015.1129882.
9. J. Paulus, *Construction en terre crue : Dispositions qualitatives, construction et architecturales*. Thèse de l'Université de Liège – Faculté des Sciences Appliquées (2015).
10. A. P'Kla, *Caractérisation en compression simple des blocs de terre comprimée (btc) : application aux maçonneries 'btc-mortier de terre*, Thèse à L'institut national des sciences appliquées de Lyon. (2002).
11. A. Mekhermeche, *Contribution À L'étude Des Propriétés Mécaniques et Thermiques Des Briques En Terre En Vue de Leur Utilisation Dans La Restauration Des Ksours Sahariennes*. Thèse à l'université KASDI MERBAH OUARGLA (2012).
12. M. Ruzicka, *Optimisation d'un procédé de moussage protéinique de pate d'argile-ciment*, Thèse de l'institut National des Sciences Appliquées de Lyon (1998).

13. K. Al-Rim, Étude de l'influence de différents facteurs d'allègement des matériaux argileux : le béton argileux léger, Thèse de l'université de Rennes1, (1992).
14. M. Le Troedec, *Caractérisation Des Interactions Physico-Chimiques Dans Un Matériau Composite À Base de Phyllosilicates, de Chaux et de Fibres Cellulosiques*, Thèse à l'Université de Limoges (2009).
15. B. Niez, *Développement D'un Matériau Biosourcé Pour La Construction : Le Béton de Tournesol*, Thèse au Polytech Clermont Ferrand - Département Génie Civil (2015).
16. K.Al-Rim, A.Ledhem, O.Douzane, R.M.Dheilly, M.Quéneudec, *Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of Clay-Cement-Wood Composites*, Cement and Concrete Composites 21 (1999) 269-276.
- 17- K. Al Rim, A. Ledhem et M. Quéneudec, *Etude des paramètres de fabrication d'un béton de bois à matrice argileuse*. Materials and Structures (29) (1996) 514-518 .
18. M.S. Goual, A. Bali, M. Quéneudec, *Effective thermal conductivity of clayey aerated concrete (CAC) in the dry state : experimental results and modelling*, Journal of Physics D : Applied Physics 32 (1999) 3041-3046..
- 19 J.Miriel, L.Marmoret, A.t'Kint de Roodenbeke, M.Quéneudec *Comportement thermique de parois en Bauge mécanisée. Etude en situation réelle dans le cas d'une architecture climatique*, Energie solaire et Environnement , Agadir (1996,) 128-132.
20. T. Le Cor, D. Rangeard, V. Merrien-Soukatchoff , J. Simon, *Mechanical characterization of Weathered Schists. Engineering Geology for Society and Territory*, Proceedings of 12th International IAEG Congress, Torino, Italy, (6) (2014) 809-812.
21. M.E. Tucker, *Techniques in sedimentology*, J.Willey and Sons, Blackwell Scientific Publications LTD (1988) ISBN 0632013729, 394 p.
22. D. Lautrin, *Une procédure rapide d'identification des argiles*. Bulletin de liaison laboratoires des ponts et chaussées (152) (1987).