
Etude géologique et géomécanique des latérites de Dano (Burkina Faso) pour une utilisation dans l'habitat

Abdou Lawane^{1, 2*}, Anne Pantet^{1, 2}, Raffaele Vinai¹, Jean Hugues Thomassin¹

¹Laboratoire Eco-Matériaux et Techniques de Constructions (LEMC) au 2iE, 01 BP 594 Ouagadougou 01, rue de la Science, Burkina Faso, www.2ie-edu.org

² Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC) à l'université du Havre, Bâtiment COREVA - 53 rue de Prony - BP 540 - 76058 Le Havre Cedex

*abdou.lawane@2ie-edu.org

RESUME : Cet article présente les résultats d'études géologique et géomécanique sur la latérite de la carrière de Dano au Burkina. Bien qu'étant en abondance, la latérite rocheuse est trop peu utilisée comme matériau de construction des bâtiments d'habitation, administratif ou de culte. Le travail de terrain a consisté à décrire la géologie des carrières et des sites environnement pour déterminer les roches mères d'altération et leurs interrelations. Les propriétés physico-mécaniques ont été étudiées pour démontrer ainsi la potentialité de ce matériau pour des constructions légères, elles seront complétées par des données thermiques et environnementales. Des études socio-économiques sont également en cours pour valoriser l'utilisation de ce matériau et proposer des méthodes alternatives de construction adaptées aux conditions locales.

ABSTRACT: This paper presents the preliminary results of geological and geomechanical studies on the laterite stone exploited at Dano quarry in Burkina Faso. Even if broadly available, dimension stones are seldom used as construction material for housing and for administrative buildings construction. The field work described the geological structure of quarry sites and their environment to determine the rocks alteration and the links between the bedrock and lateritic material. Physic-mechanical properties have been studied for assessing the potentiality of this material for lightweight housing, to be completed with thermal and environmental considerations. Some social and economic evaluations are in progress in order to valorize such material and to foster its utilization under local conditions.

MOTS- CLES : Burkina Faso, Latérite, Matériaux locaux, Résistance à la compression, Résistance à la flexion, Porosité, Schiste.

KEYWORDS: Burkina Faso, Laterite, Local materials, compressive strength, flexural strength, porosity, shale

1. Introduction

La latérite désigne une vaste classe de matériaux issus de l'altération extrême des roches, dans les zones intertropicales de tous les continents. La définition proposée par Schellman semble aujourd'hui faire l'unanimité : « Les latérites sont des produits d'intense altération météorique et sont constitués d'un assemblage minéral qui peut être fait de goethite, d'hématite, d'hydroxyde d'aluminium, de kaolinite et de quartz. Le rapport $\text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ comparé à celui de la roche mère doit être tel que la formation latéritique ne contienne pas plus de silice que celle qui est retenue dans le quartz qui subsiste et celle qui est nécessaire à la formation de la kaolinite » (Schellmann, 2003). Elle est tendre à l'état frais et devient dure une fois exposée à l'air, (Bourmana et al, 2002).

Si, les sols latéritiques ont fait l'objet de nombreuses études en vue de leur utilisation dans la construction des routes et des pistes (Milogo et al, 2008), les roches latéritiques ont été un peu moins étudiées. En Inde, un certain nombre d'études a été fait aboutissant à l'élaboration d'une norme (Kasthurba, 2006, 2005) quant à l'utilisation des blocs de latérites comme éléments de maçonnerie dans la construction traditionnelle. En Afrique, ce matériau représente une ressource non négligeable, utilisable seul ou associé à une structure en béton pour la réalisation d'habitats.

Cet article présente les résultats des carrières artisanales et industrielles de Dano, localité située au sud-ouest du Burkina Faso dans le cadre d'un projet éco-matériaux en zones tropicales. Les premiers critères retenus pour caractériser les matériaux avec les moyens disponibles sont la résistance à la compression, la résistance à la flexion, les paramètres thermo-physiques, la capacité à l'absorption et la sensibilité à l'eau, les masses volumiques sèche et saturée et la porosité associée.

2. Présentation de la zone d'étude

Le canton de Dano se situe dans le sud-ouest du Burkina Faso sur la RN 12, au sud de Pâ et à 60 km de la frontière du Ghana. Le climat est de type soudanien caractérisé par deux saisons, une saison sèche longue (entre 6 et 7 mois) et une saison pluvieuse courte, les précipitations atteignent 1500 mm.

La carte géologique Houndé au 1/200 000 (Ladmirant et al, 1977) indique un socle d'âge Précambrien inférieur et moyen, constitué de roches acides (granites, migmatites et de gneiss - anté-Birimien) et d'une série birimienne avec des roches basiques d'origine volcanique, pyroclastique et volcano-sédimentaire. Sur ce socle érodé, altéré reposent des formations récentes, Tertiaires et Quaternaires, constituées d'un recouvrement latéritiques, d'alluvions et de complexes fluvio-lacustres.

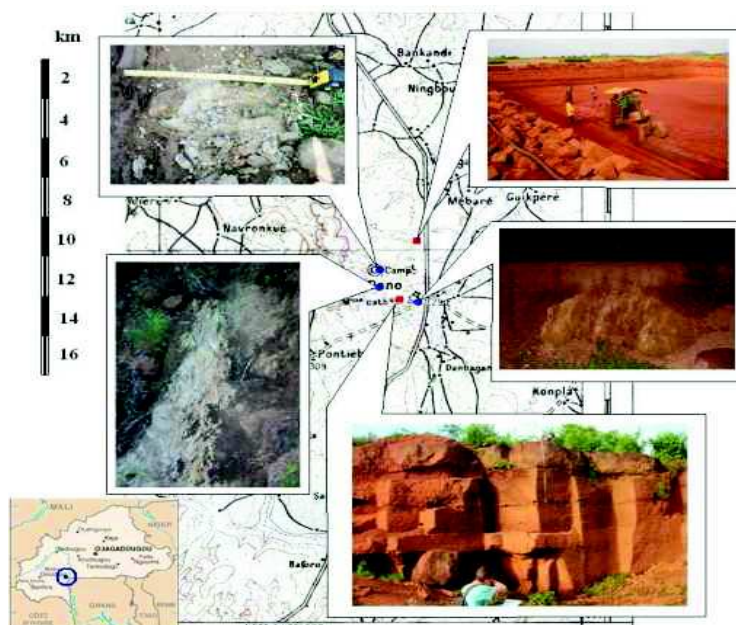


Figure 1. Vues générales du site d'étude et localisation des carrières

Les recouvrements latéritiques sont bien visibles dans le paysage avec leur forme tabulaire légèrement inclinée vers l'Est. Dans la zone d'étude des carrières de Dano, les latérites reposent sur un substratum identifié comme des andésites schisteuses, dont la schistosité suit les directions birimiennes NNE-SSW et $N60^{\circ}$ à $N80^{\circ}$ E comme les filons de quartz intercalés. Les failles, difficilement repérables, ont une direction $N 120^{\circ}$ E.

Les carrières étudiées se situent à proximité de la ville de Dano. Il s'agit à la fois d'une carrière industrielle qui a été exploitée par « Pierres naturelles » au Nord et de carrières artisanales exploitées individuellement par les habitants mais avec des conditions de sécurité inexistantes dans un vallon au Sud-Ouest.

3.Méthodes et expérimentation

3.1.Etude de terrain -Prospection géologique

A partir des informations fournies par les documents géologiques, une prospection des affleurements dans la zone d'étude et une analyse détaillée des fronts de taille des carrières ont été réalisées sur le terrain. A cette occasion, un grand nombre d'échantillons ont été prélevés pour l'étude des propriétés physiques et mécaniques des moellons de carrière.

3.2. Essais au laboratoire

La teneur en eau et les poids volumiques sont déterminés conformément à la NF P 94-050. Le poids spécifique est déterminé grâce au pycnomètre à air selon la norme EN 1097-7. La porosité et l'indice de vide ont été calculés grâce aux relations qui existent entre les paramètres physiques.

Les essais d'absorption ont été réalisés selon la norme NF EN 14617-1 sur blocs de dimensions 15 x 15 x 15 cm séchés initialement ou préalablement à l'étuve (105°, 24h). L'absorption pondérale (Hp) est calculée par la formule :

$$Hp(\%) = \left(\frac{M_w}{M_d} \right) \times 100 \quad [1]$$

(M_w = masse d'eau absorbée, M_d = la masse sèche du bloc testé)

Les essais de compression monoaxiale et de flexion 3 points ont été réalisés sur plusieurs blocs de dimensions variables selon les normes NF EN 14617-15 et NF EN 12372.

Les tests de la résistance à la compression monoaxiale ont été réalisés grâce à une presse équipée d'un vérin hydraulique et un comparateur classique qui permet de suivre le déplacement vertical lors de l'écrasement de l'échantillon (Figure.2.a). Par la suite ces déplacements sont utilisés pour tracer la courbe contrainte – déformation et d'estimer le module de Young, ou le module sécant tangent.

Les tests de résistance à flexion à 3 points sont réalisés sur 9 dalles de dimensions 40 x 20 x 5 cm grâce à la même presse, cette fois équipée d'un dispositif qui permet d'appliquer la force de flexion (F) au milieu de l'échantillon (Figure. 2.b). A la rupture, la contrainte maximale de traction due à la flexion est calculée à partir d'équation [2].

$$\sigma_t(\text{MPa}) = \left(\frac{3FL}{2bh^2} \right) \quad [2]$$

(l = longueur entre les deux appuis, b et h les dimensions des blocs)

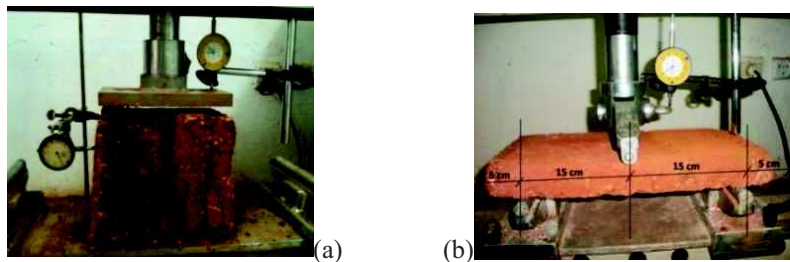


Figure 2. Dispositifs expérimentaux –(a) compression- (b) flexion

4. Résultats et discussion

4.1. Observations géologiques de la zone d'étude

Les tables ou buttes cuirassées sont constituées de latérites indurées (Figure. 3.a et b) et surplombent d'une trentaine de mètres des dépressions et des larges vallées peu encaissées, où affleurent sporadiquement la roche du substrat constituée de schistes blancs, sériciteux, très altérés. Par érosion régressive, de nombreux blocs métriques à décimétriques parsèment les pentes (figure 3.b). Un contact schistes/latérite a été directement observé au pied de la colline située au sud de la ville de Dano (fig. 3.c) et d'autres ont été perçus à proximité du barrage. La schistosité a une direction N 20°E et est de pendage de 80° vers le NW. Des filons décimétriques de quartz hyalin ont été directement observés, certains renferment des paillettes d'or. De plus, il a été noté sur le terrain la présence sporadiquement de nombreuses pierres de quartz suggérant la présence de filons démantelés ainsi que des roches vertes microlitiques issues de dykes ou de sils.

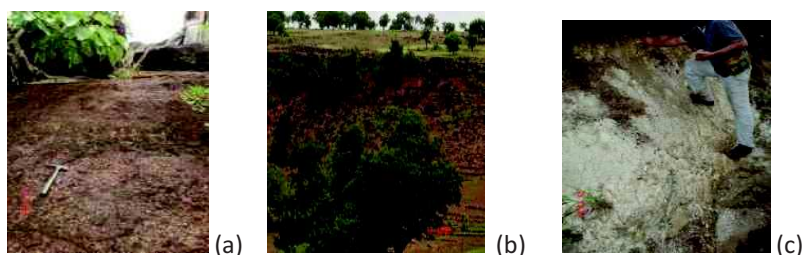


Figure 3.(a)Cuirasse en sommet - (b) colluvions sur pente -(c)contact avec schistes

4.2. Description géologique des profils des carrières

Les profils Sud et Ouest réalisés à la carrière de PN, profonde de 2,10 m (Figure. 4.a et b) indiquent qu'il s'agit d'une latérite à patine rouge et à structure alvéolaire sur une latérite ocre-rouge, tachetée blanc et noir à structure compacte. Par endroit la latérite a une texture limoneuse et graveleuse (pisolithes).

Les profils P1 et P2 réalisés au niveau des carrières artisanales (Figure. 4.c et d) indiquent la présence d'une cuirasse de latérite noire en surface puis rouge foncée (0,4-0,60m). Des faciès latéritique meuble graveleux apparaissent sur une épaisseur de 1,10m sous forme de lentille de géométrie variable. De la profondeur 2,30 à 4,20 m, la latérite est compacte, de couleur ocre-rouge, tachetée de blanc et est marquée par un fin niveau de 10 cm de latérite graveleuse. De 4,20 à 5, 20 m (fond de la fouille), la latérite devient rouge foncée, tachetée et vermiculée, renfermant des argiles blanchâtres friables. Les interfaces des bancs sont quasi horizontales et les plans préférentiels des fronts d'exploitation sont N30°E et N120°E. Cette direction préférentielle d'exploitation est celle de la direction birimienne.

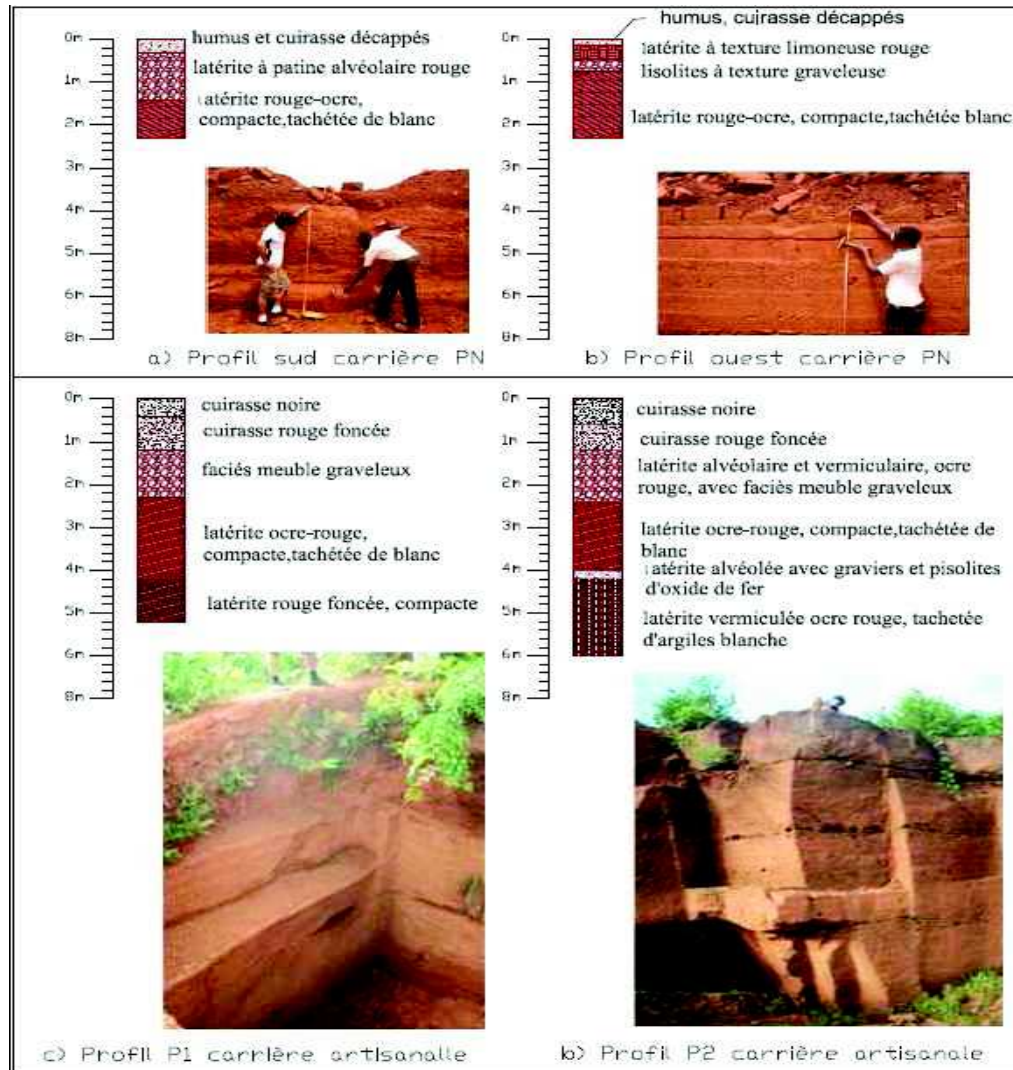


Figure 4. Description des profils des carrières de Dano

4.3. Propriétés physiques

Les valeurs de propriétés physiques des BLT de Dano sont rassemblées dans le tableau 1. Le poids spécifique est très élevé indiquant une fraction importante des oxydes de fer dans la composition minéralogique des latérites.

Essais	Symbol	Unité	Valeur
Poids volumique sec	\square d	kNm^{-3}	21,7
Poids spécifique	\square s	kNm^{-3}	31,9
Teneur en eau naturelle	w	%	2,3
Porosité	n	%	29,9
Degréd'absorption	H_p	%	10,8

Tableau 1. Propriétés physiques de BLT de Dano

La porosité déduite des autres paramètres de l'ordre de 30% est élevée. Sa distribution comme l'indiquent les observations directes sur les affleurements est très complexe, avec des chenaux privilégiés. En ce qui concerne l'absorption de l'eau, les 4 tests effectués ont permis de suivre son évolution au cours de temps. La courbe de la figure 5 montre que le processus de saturation suit une loi logarithmique avec un taux de régression assez satisfaisant. Les lignes en pointillés indiquent qu'après 10 minutes, environ 33% de la saturation finale est atteinte, et qu'après 70 minutes la saturation est de 55 à 65%. Le degré de saturation moyen de 10,8%, correspondant à une porosité accessible à l'eau de 25 % inférieure à la porosité totale calculée précédemment de 30%.

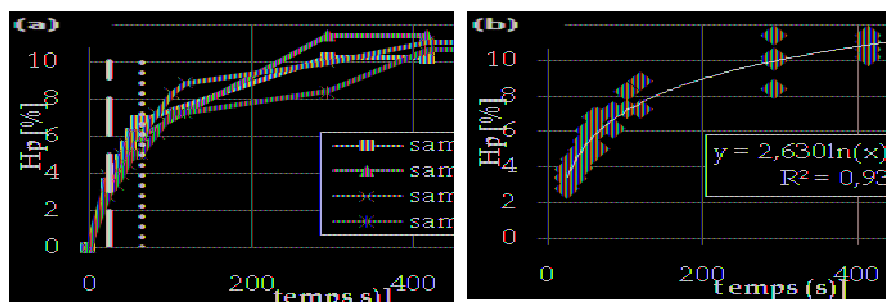


Figure 5. Coefficient d'absorption : (a) résultat des essais - (b) régression logarithmique -

4.4. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques usuelles sont rassemblées dans le tableau 2. Les valeurs de la résistance à la compression (UCS) comprises entre 1,5 et 5 MPa sont en accord avec les résultats obtenus pour les latérites Indiennes (0,5 à 3 MPa) [Kasthurba et al, 2007, 2007, 2005]. Ces valeurs sont aussi dans le même ordre de grandeurs que celles des autres pierres naturelles utilisées dans la construction d'habitats en Turquie telles que les dépôts quaternaires de Caliche (2,03 à 10,4 MPa) (Dinçer et al, 2008), les ignimbrites (1,6 à 2,8 MPa) (Öner et al 2006) les calcaires (Arman et al. 2008) et les tuffs (6,2 MPa) (Kiliç et al 2008).

Bien que faibles, les valeurs de résistance à la compression obtenues indiquent cependant des potentialités pour son utilisation en construction. La résistance à la compression est dépendante de la géométrie et du volume des blocs testés. En effet elle diminue avec l'augmentation de tailles des échantillons. Une fissuration pré-existante peu visible sur le terrain mais perceptible à la manipulation des blocs semble exister. Cette observation a déjà été notée par Kasthurba, 2006.

La résistance à la compression dépend également de l'état hydrique du matériau, les échantillons séchés à l'étuve à 105° pendant 24 heures ont une résistance deux fois supérieures à celle des échantillons humides alors qu'il n'y a pas une grande différence entre celles des échantillons saturés et humides. Ce phénomène important pour définir la résistance normalisée des blocs de maçonnerie, sera examiné notamment en vérifiant la teneur en argile des matériaux.

Dim. des échantillons	Nbre	Moy.	Ecart-	Max	Min
Resistance à la compression -UCS (MPa) - Influence de la taille des échantillons					
40x20x15	7	1,77	0,34	2,23	1,27
30x20x15	4	3,40	0,38	3,67	2,84
20x20x15	10	3,81	1,28	4,9	1,41
15x15x15	5	3,92	1,14	5,26	2,19
10x10x10	4	5,39	0,60	5,92	4,52
20x15x15	1	5,98	-	5,98	-
UCS (MPa) - Influence de la teneur en eau – Echantillons 20x20x15 et 15x15x15					
Etat naturel	15	3,56	1,33	4,9	1,01
Etat sec	6	7,14	2,01	9,38	4,77
Etatsaturé	11	3,12	1,02	4,85	1,82
Contrainte due à la flexion 3 points σ (MPa) – Echantillons de 40x30x5					
Etat naturel	9	1,15	0,40	1,85	0,54
Module de Young E (MPa) – Echantillons 20x20x15					
Etat naturel	4	250	23	276	221
Etat sec	5	289	50	357	224
Etatsaturé	6	178	68	264	104

Tableau 2 : Résultats des propriétés mécaniques

Les valeurs de contrainte maximale avec l'essai de flexion sont comprises entre 0,5 à 1,8 MPa avec une valeur moyenne de 1,15MPa ; soit environ 30% de la résistance à la compression moyenne obtenue dans le même état hydrique. La discussion du ratio « résistance à la compression/résistance à la traction » est délicate car la résistance à la traction varie suivant la procédure utilisée soit par essai brésilien, soit par flexion (Hudson et al 1997).

L'allure des courbes contrainte-déformation (figure 5) montre que la rupture est rapidement atteinte, classant la latérite de Dano dans la famille des roches à comportement fragile (Nougier, 2000).

Les modules de Young (tableau 2) compris entre 0,25 et 0,28 GPa, sont en dessous de ceux d'autres roches utilisées dans la construction, mais comparables à ceux des blocs de latérite indienne (0,25- 0,8 GPa à l'état naturel, 0,4-0,8 GPa à l'état sec) (Kasthurba, 2006). Les dépôts quaternaires de Caliche ont aussi donné des valeurs de même ordre (0,16 -1,40GPa) (Dinçer et al 2008).

Compte tenu de ces résultats observés, il s'avère important de notifier les conditions d'essai et les dimensions des éprouvettes pour définir une résistance à la compression normalisée au sens de l'Eurocode 6 (EN 1996: Design of masonry structures).

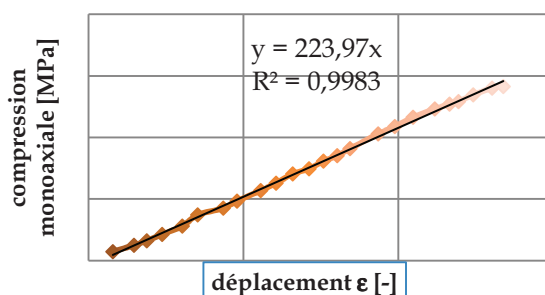


Figure 5. Exemple de courbe contrainte-déformation-module sécant à l'origine.

5. Conclusion et perspectives

Malgré des prédispositions manifestes pour son utilisation en génie civil, le matériau latérite rencontre des réticences quand il s'agit de l'utiliser massivement dans le bâtiment du fait de son comportement méconnu. Il existe cependant un patrimoine ancien de monuments historiques comme la forteresse de Loropeni classée par l'UNESCO, de bâtiments publics comme des églises, des écoles et des dispensaires de l'époque coloniale, des habitations...mais aussi des ouvrages d'assainissement qui ont aussi résisté depuis des centaines d'années aux contraintes et intempéries de la nature.

Les résultats obtenus montrent que la latérite issue de la carrière de Dano présente des résistances à la compression et à la flexion comparables à celles des carrières indiennes qui ont fait l'objet de spécifications normatives. Bien que les paramètres mécaniques diminuent avec l'augmentation de sa teneur en eau, les blocs de latérite résistent à l'eau sans grande perte de matériaux lors des opérations de saturation. La conductivité thermique relativement faible obtenue (Lawane et al., 2011) est en accord avec l'appréciation d'une bonne ambiance thermique pour qualifier les habitations en BLT. Une exploitation accompagnée d'une réglementation raisonnée permettrait de fournir sur le marché un matériau en quantité suffisante et contrôlé certifié pour réduire les coûts et les délais en garantissant une sécurité des exploitants. Cette approche à une échelle de micro-

entreprises permettrait à la fois de résoudre les nombreux problèmes de logement et d'emploi en exploitant directement l'abondante ressource en latérite sans avoir les coûts et les impacts de transport des matériaux importés, comme le ciment.

Les prochaines études seront ciblées sur la caractérisation minéralogique (par DRX et MEB), ainsi que le durcissement à l'exposition à l'air, la sensibilité à l'eau et la conductivité thermique, pour compléter les paramètres caractéristiques des blocs utilisés dans les constructions en maçonnerie.

6. Bibliographie

- Bourmana R.P., Ollier C.D. (2002), «A critique of the Schellmann definition and classification of 'laterite'», *Catena* 47 (2002) 117–131, Elsevier 2002
- Dinçer I., Acar A., Ural S. (2008), «Estimation of strength and deformation properties of Quaternary caliche deposits», *Bull EngGeol Environ*, 67:353–366, Springer-Verlag 2008
- Hudson J.A., Harrison J.P. (1997), *Engineering rock mechanics*, Pergamon-Elsevier, 444 p.
- Kasthurba A.K., Santhanam M., Mathews M.S (2007), «Investigation of laterite stones for building purpose from Malabar region, Kerala state, SW India – Part 1: Field studies and profile characterisation», *Construction and Building Materials* 21, 73–82, Elsevier 2007
- Kasthurba A.K., Santhanam M., (2005), «A Re-look into the Code Specifications for the Strength Evaluation of Laterite Stone Blocks for Masonry Purposes», *Journal of The Institution of Engineers (India)*, Vol 86, April 2005 pp 1 – 6, Kolkata, 2005
- Kılıç A., Teymen A. (2008), «Determination of mechanical properties of rocks using simple methods», *Bull EngGeol Environ* (2008) 67:237–244, Springer-Verlag 2008
- Ladmirant H. et Legrand J.M., (1977), *Direction de la géologie et des mines, Notice explicative de la Carte géologique au 1/200 000 de Houndé* »
- Lawane A., Vinai R., Pantet A., Thomassin J.H (2011) «Characterisation of laterite stone as building material in Burkina Faso», *Journée Scientifique 21E*, 6 Avril 2011.
- Millogo Y., Traoré K., Ouedraogo R., Kaboré K., Blanchart P., Thomassin J.H. (2008), «Geotechnical, mechanical, chemical and mineralogical characterization of a lateritic gravels of Sapouy used in road construction», *Construction and Building Materials* 22, 70–76, Elsevier
- Nougier P. (2000), *Déformation des roches et transformation de leurs minéraux, initiation à la tectonique*, Ellipses.
- Öner F., Türkmen S, Özbek A., Karakaya T. (2006), «Engineering properties of HInIs ignimbrites and their usability as a building stone (Erzurum, Turkey) », *Environ Geol* (2006) 50: 275–284, Springer-Verlag 2006
- Schellmann W., Discussion of «A critique of the Schellmann definition and classification of laterite'» by R.P. Bourman and C.D. Ollier (*Catena* 47, 117–131), 77–79, Elsevier 2003
- EN (1996), *Eurocode 6: Design of masonry structures*.