



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Chimie

www.sciencedirect.com



Mémoire/Full paper

Étude des propriétés mécaniques des géomatériaux argileux associant la décoction de *Parkia Biglobosa* (nééré)



Mechanical properties of geomaterials formulated with clay and Parkia biglobosa (nééré) extract

Brahima Sorgho ^{a, *}, Philippe Bressollier ^b, Boubié Guel ^a, Lamine Zerbo ^a,
Raguilnaba Ouedraogo ^a, Moussa Gomina ^c, Philippe Blanchart ^d

^a Laboratoire de chimie moléculaire et des matériaux (LPCTM), U.F.R – SEA/université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

^b Laboratoire de chimie des substances naturelles (LCSN), FST/université de Limoges, 123, av. Albert-Thomas, 87065 Limoges cedex, France

^c Équipe Structure et comportement thermomécanique des matériaux (ESTM) du Crismat, UMR 6508, Ensicaen, 6, boulevard du Maréchal-Juin, 14050 Caen cedex, France

^d SPTS, Centre européen de la céramique, 12, rue Atlantis, 87068 Limoges, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 May 2015

Accepted 29 January 2016

Available online 24 March 2016

Mots-clés :

Argile

Géomatériaux

Tanins

Oxydes de fer

Gousses de *Parkia biglobosa*

Keywords:

Clay

Geomaterials

Tannins

Oxides iron

Pods of *Parkia biglobosa*

R É S U M É

La recherche de produits de construction non énergivores, résistants et moins coûteux est de nos jours une préoccupation mondiale du fait des ressources (énergétiques, financières,...) limitées. Dans ce travail, nous avons associé la décoction de gousses de *Parkia biglobosa* (Néré) riche en tanins, notamment en acide gallique, épicatechine et épigallocatechine gallate, à un mélange argile-sable afin de répondre à cette problématique. L'argile utilisée est référencée KORO et contient de la montmorillonite, de l'illite, du quartz, de l'albite, de l'orthose, de la kaolinite et de la goethite. L'étude des propriétés mécaniques des géomatériaux formulés à partir du mélange montre qu'ils présentent des valeurs de résistances mécaniques plus élevées et que leur comportement devient viscoplastique. Cela est dû à la formation de complexes chimiques entre les atomes de fer des oxy-hydroxydes dans l'espace interfoliaire des minéraux argileux et les radicaux carboxyliques des macromolécules de tanins. Ce processus est accentué par la sorption des tanins à la surface des minéraux de l'argile.

© 2016 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

A B S T R A C T

Researches for non-energy intensive construction products, that are durable and cheaper is today of global concern because of the limited resources (energy, financial, etc.). To address this issue, the present work presents the combination of the decoction of pods of *Parkia Biglobosa* (nééré) that is rich in tannins compounds including gallic acid, epicatechin gallate and epigallocatechin, with a clay-sand mixture. The clay used is referenced KORO and contains montmorillonite, illite, quartz, albite, orthoclase, kaolinite and goethite. The study of the mechanical properties of geomaterials formulated from the mixture shows that they have values of mechanical resistance higher and that their behavior becomes

* Corresponding author.

E-mail address: sobrah20@yahoo.fr (B. Sorgho).

viscoplastic. This is due to the formation of chemical complexes from carboxylic groups of tannins macromolecules with the iron oxy-hydroxide in the interlayer spacing of clay minerals. This process is enhanced by the sorption of tannins on the surface of clay minerals.

© 2016 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

Les briques crues de terres argileuses appartiennent à la grande famille des géomatériaux pour la construction dits « éco-matériaux » car leur production mobilise peu d'énergie et ne génère quasiment pas de pollution environnementale, comparée par exemple aux briques en béton. Cependant leurs propriétés mécaniques (ténacité, résistance à la rupture, fluage) sont faibles et il est nécessaire de les améliorer. Ainsi, lors de l'élaboration des briques crues, des produits végétaux peuvent être utilisés comme adjuvants [1,2]. Les constituants végétaux sont fréquemment utilisés dans le monde, et particulièrement en Afrique subsaharienne, comme additifs pour modifier les propriétés mécaniques, la plasticité ou l'aspect de surface.

Dans cette étude, nous abordons un exemple d'adjuvant naturel qui est utilisé par les populations au Burkina Faso dans les pâtes argileuses de crépissage, les briques et les revêtements des poteries traditionnelles. Il s'agit de la décoction des gousses de néré (*Parkia biglobosa*), qui est utilisée traditionnellement. L'argile locale utilisée est dénommée KORO.

2. Matières premières et méthodes expérimentales

L'échantillon d'argile, KORO, a été prélevé dans la carrière à ciel ouvert du site argileux de Koro, de coordonnées géographiques 11,15° de latitude nord et 04,18° de longitude ouest. Ce gisement, situé à 15 km de Bobo-Dioulasso, dans la région des Hauts-Bassins (Fig. 1), est estimé à 16 km³ [3].

KORO a été broyé à une taille $\leq 63 \mu\text{m}$ avant d'être mélangée à deux types de sable, du sable grossier de taille comprise entre 160 μm et 1 mm, et du sable fin de taille comprise entre 40 μm et 160 μm . Dans ce mélange, l'argile représente 18 % en masse, le sable fin 31 % et le sable grossier 51 %. Ces domaines de composition et de granulométrie sont généralement utilisés dans les industries de production de briques. Le mélange de l'argile et du sable (grossier ou fin), dans les proportions indiquées ci-dessus, est additionné de 12 % en masse d'eau ou de décoction des gousses de néré. L'ensemble est malaxé pendant 30 minutes dans un malaxeur de marque Controlab. Pour la mise en forme des échantillons, un prélèvement de 250 g du mélange malaxé est pressé à 200 bars dans une matrice cylindrique ($\Phi = 50 \text{ mm}$ et $h = 70 \text{ mm}$). Après pressage, les géomatériaux sont mis dans une étuve à 40 °C afin de contrôler l'humidité. Le but de ce contrôle est de produire des géomatériaux avec une humidité précise de 4 % ou 1 % par rapport à la masse sèche à 100°C. Ainsi, nous avons élaboré quatre nuances de géomatériaux (Tableau 1)

différents par le liquide de gâchage (eau ou décoction) et la teneur en eau (1% ou 4%).

De nom systématique *Parkia biglobosa* [4], le néré est un grand arbre (Fig. 2) de 10 à 20 mètres de haut, à la cime arrondie, faisant partie de la famille des mimosacées. Les fruits sont des gousses (Fig. 3) en grappes sur le réceptacle de la fleur, avec des graines entourées d'une pulpe jaune. Le néré se rencontre dans les savanes, les brousses, en Afrique de l'Ouest, en Amérique latine et en Inde.

La décoction des gousses a été extraite en introduisant 40 g de gousses dans 1 litre d'eau pris à la température ambiante pendant 72h. Après filtration, la concentration des tanins dans la décoction a été estimée à $(6,33 \pm 0,10) \text{ g/l}$ en utilisant la méthode de Folin Ciocalteu [5]. Afin de confirmer et d'identifier les types de tanins, la décoction a été analysée sur une colonne de chromatographie en phase liquide à hautes performances (HPLC) en phase inversée, de marque Phenomenex, type Luna (taille : 250 mm \times 4,6 mm; granulométrie : 5 μm ; porosité : 10 nm; nature : gel de silice greffé avec des chaînes C₁₈). Une analyse infrarouge (IR) a été également réalisée sur la poudre de la décoction séchée à l'aide d'un spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF) de type PerkinElmer FT-IR BX.

KORO a été caractérisé à l'aide d'un diffractomètre Bruker D5000 à monochromateur arrière en graphite, fonctionnant sous une tension de 40 kV et une intensité de 50 mA avec la raie K α_1 du cuivre, piloté par un ordinateur muni d'un logiciel Diffracplus D quant version 2.2. La composition chimique a été déterminée par ICP à l'aide d'une ICP/AES-IRIS.

La compression des géomatériaux a été faite en mode de déplacement imposé de la traverse, à l'aide d'une machine de traction/compression de type Instron 5566 pilotée, par le logiciel Bluehill à 23 °C. La déformation à long terme des éprouvettes a été appréciée à la température de 23 °C et sous une contrainte de 0,2 MPa. L'évolution temporelle de la déformation totale pendant 21 jours a été enregistrée en utilisant un appareil Wykeham Farrance n°1210 piloté par le logiciel Sensorpark et muni d'un capteur de déplacement Mitytoyo/Absolute.

3. Résultats

L'analyse du diffractogramme des rayons X de l'argile KORO (Fig. 4) indique qu'elle est composée de montmorillonite ($(\text{Al}_{1,67}\text{Mg}_{0,33})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{Na}_{0,33}$), de quartz (SiO_2), d'albite ($\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Na}$), d'illite ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$), de kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), de goëthite ($\text{FeO}(\text{OH})$) et d'orthose (KAlSi_3O_8) [6]. Les diffractogrammes de la fraction KORO + néré et de KORO (Fig. 5) présentent des similitudes, avec cependant des différences entre certains pics. Le pic de la montmorillonite ($d = 16,26\text{\AA}$) diminue

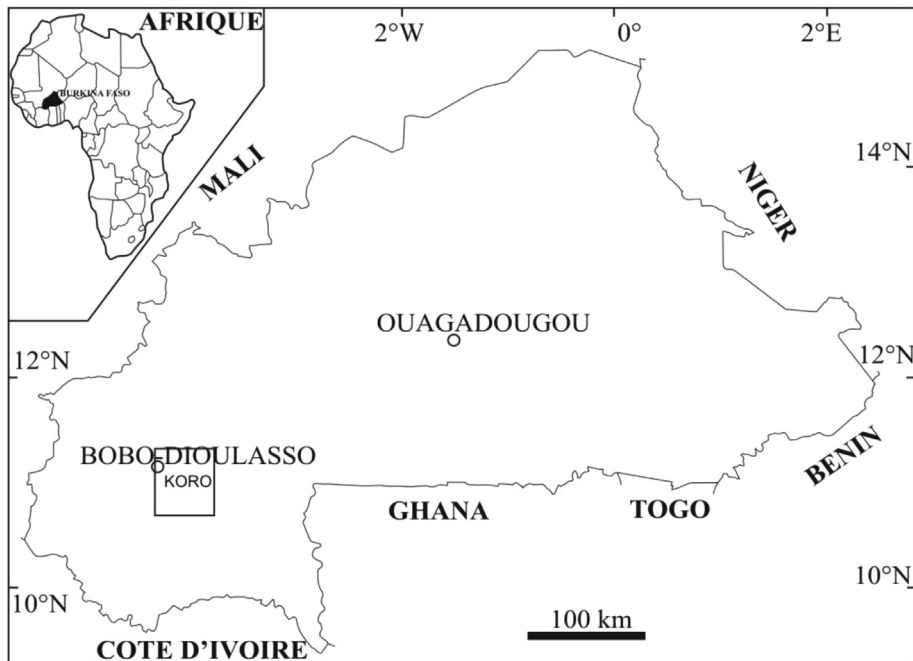


Fig. 1. Localisation du site de l'argile KORO.

Tableau 1

Compositions des mélanges utilisés pour formuler les éprouvettes.

Référence des éprouvettes	Teneur en matières premières			Eau	Décoction des gousses de Néré	Taux d'humidité (%)
	Argiles (%)	Sable fin (%)	Sable grossier (%)			
Ce1	18	31	51	Oui	Non	1
Ce4	18	31	51	Oui	Non	4
Cn1	18	31	51	Non	Oui	1
Cn4	18	31	51	Non	Oui	4

considérablement d'intensité et se déplace ($d = 12,24\text{Å}$) sur le diffractogramme de KORO + néré. Les pics de la kaolinite ($d = 7,21\text{ Å}$), de la goëthite ($d = 4,98$ et $3,37\text{ Å}$) et de la montmorillonite + kaolinite ($d = 3,57\text{Å}$) diminuent

d'intensité, tandis que ceux de l'orthose ($d = 6,51\text{Å}$), du quartz ($d = 3,34\text{Å}$) et de l'albite ($3,19\text{Å}$) augmentent d'intensité.

L'analyse de la composition chimique (Tableau 2) indique que la silice et l'alumine sont les oxydes majeurs dans



Fig. 2. Photo d'un arbre de néré.



Fig. 3. Photo des gousses de néré.

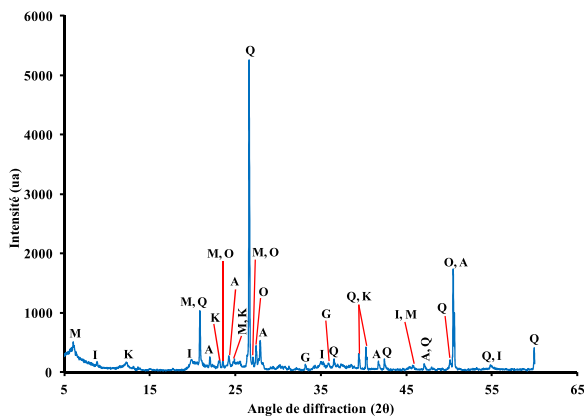


Fig. 4. Diffractogramme de rayons X de KORO : K = kaolinite, I = illite, Q = quartz, M = montmorillonite, A = albite, G = g ethite et O = orthose.

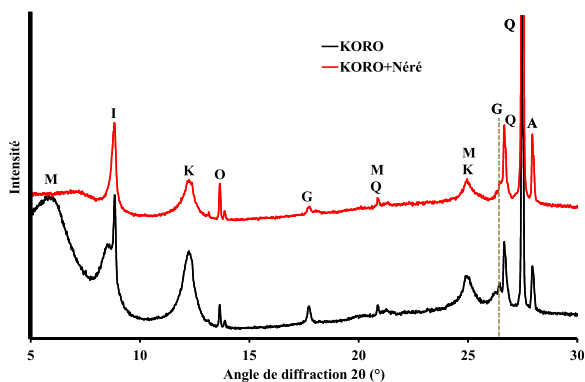


Fig. 5. Diffractogrammes de rayons X de KORO et de KORO + néré : K = kaolinite, I = illite, Q = quartz, M = montmorillonite, A = albite, G = go thite et O = orthose.

l'échantillon KORO. Le rapport massique $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de KORO est d'environ 2,82. Cette valeur est supérieure à celle des kaolins purs, qui est de 1,18 environ [7], et suggère la présence de silice libre (quartz) et d'autres minéraux argileux. La teneur en oxyde de fer est assez importante dans ce matériau. D'après la littérature [7–9], le fer se trouverait sous forme d'oxy-hydroxydes (go thite). On note aussi des teneurs relativement élevées de K_2O et Na_2O ,

Tableau 2

Composition chimique élémentaire de KORO en % massique.

Oxydes	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	PF	Total
(%) massique	$57,20 \pm 0,02$	$20,30 \pm 0,02$	$6,53 \pm 0,02$	$1,12 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,03$	$1,49 \pm 0,01$	$2,91 \pm 0,01$	$0,71 \pm 0,02$	$5,26 \pm 1,50$	96,51

PF : perte au feu   1000  C.

Tableau 3

Composition minéralogique de KORO en % massique.

Phases minérales	Mont-morillonite	Illite	Quartz	Albite	Orthose	Kaolinite	Go�thite	Total
% massique	26 ± 1	21 ± 1	15 ± 1	12 ± 1	8 ± 1	7 ± 1	7 ± 1	96

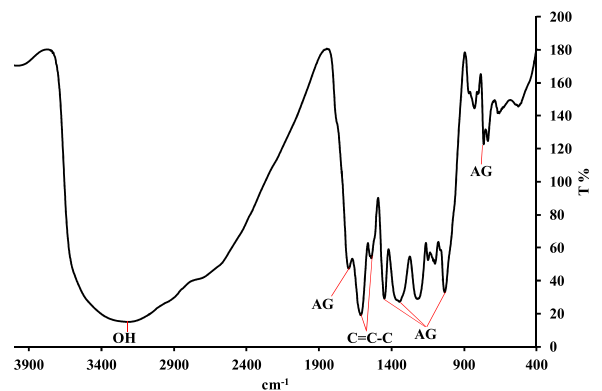


Fig. 6. Spectre infrarouge de l'extract sec de la décoction des gosses de néré. AG = Acide gallique.

Tableau 4

Interprétation du spectre infrarouge de l'extract sec de décoction des gosses de néré.

Fréquences (cm^{-1})	Attributions probables
3216	O–H (droupements hydroxyles) [10,11]
1694	Acide aromatique (noyau acide gallique) [10,12]
1610; 1539	C=C–C (cycle aromatique) (noyau acide gallique) [10,12]
1448; 1344; 1033; 763	Acide gallique [13]
1225–950	C–H aromatique dans le plan [10]
900–670	C–H aromatique hors du plan [10]

qui indiqueraient respectivement la présence de phases micacée (illite) et feldspathique (albite).

Le bilan minéralogique (Tableau 3) indique que KORO est composé en majorité de montmorillonite (26%), suivie d'illite (21%), du quartz (15%) et d'albite (12%).   ces phases majoritaires s'ajoutent des phases en quantités moindres, à savoir l'orthose (8%), la kaolinite (7%) et la go thite (7%).

Le dépouillement du spectre IR (Fig. 6) de l'extract sec est résumé dans le Tableau 4. On relève les bandes typiques de l'acide gallique. Ceci indique que la décoction des gosses de néré contient majoritairement de l'acide gallique, et donc des composés tanins galliques.

Le spectre IR de KORO (Fig. 7) montre la présence des bandes de vibrations de la kaolinite à 3699, 3622, 1031, 1110, 1008, 913, 536 et 431 cm^{-1} [15–20]. Celles de la

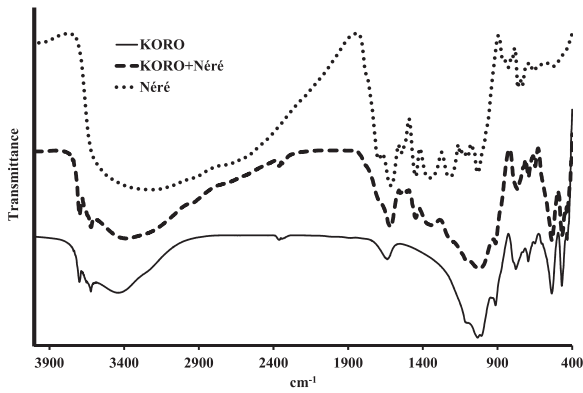


Fig. 7. Spectres infrarouges de KORO et de KORO + néré.

montmorillonite et de l'illite sont identifiées respectivement à 756 et 468 cm^{-1} [16,17,21]. Les bandes de vibration caractéristiques du quartz sont observables à 779 et 695 cm^{-1} [15,16,22].

Le spectre IR de KORO + néré (Fig. 7) présente des différences au niveau de la position et de l'intensité de quelques bandes de vibration. Les bandes à 1694 et 1033 cm^{-1} caractéristiques de l'acide gallique disparaissent sur le spectre KORO + néré. La bande à 1610 cm^{-1} , caractéristique de l'acide gallique, se déplace à 1617 cm^{-1} . La bande à 1539 cm^{-1} sur le spectre du néré disparaît sur le spectre KORO + néré pour laisser place à une large bande située entre 1564 et 1490 cm^{-1} . Les bandes obtenues à 1449 et 1342 cm^{-1} sont apparues sur le spectre KORO + néré. On constate également la disparition des bandes à 1154 , 1111 et 1072 cm^{-1} , caractéristiques des composés de tanins.

Les résultats du dépouillement des chromatogrammes (Fig. 8) ont permis d'identifier trois composés tanniques, dont l'acide gallique à $10,54$ min, l'épicatéchine à $19,93$ min et l'épigallocatechine gallate à $20,49$ min.

L'observation des courbes contrainte–déformation en compression (Fig. 9) montre que Cn1 présente la plus grande résistance à la compression ($3,35\text{ MPa}$) et révèle le caractère non fragile des géomatériaux. Après un domaine de comportement élastique linéaire, la faible déviation de la linéarité avant la contrainte maximale est rattachée aux

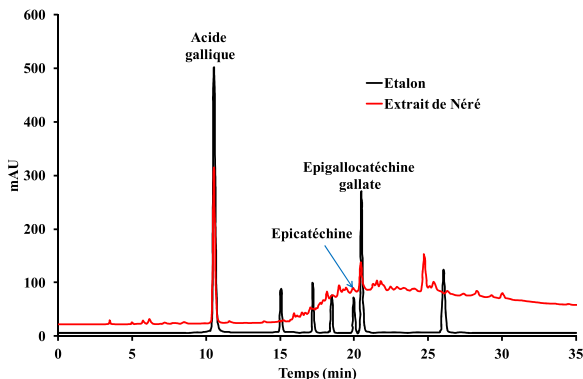


Fig. 8. Chromatogrammes des étalons et de l'extrait de gousses de néré.

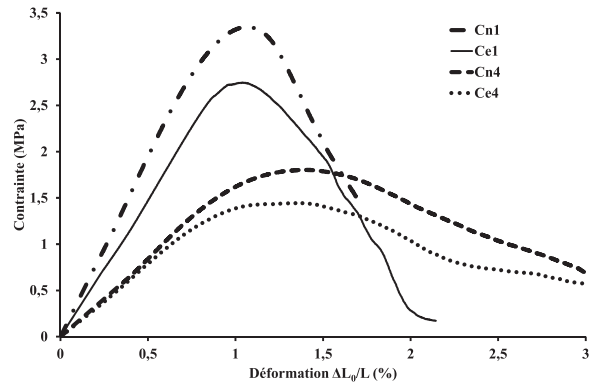


Fig. 9. Courbes de comportement en compression des géomatériaux.

micro-déplacements locaux (effondrement des amas granulaires, avec une réduction de la porosité), à la viscoélasticité de la pâte argileuse et à la création de microfissures. Au-delà de la contrainte maximale, la décroissance continue de la contrainte avec l'augmentation de la déformation est associée au flambement de la structure et à la coalescence des microfissures. La comparaison des résistances (Fig. 9) des géomatériaux sans néré avec 1% d'humidité (Ce1) et ceux de 4% (Ce4) indique clairement un affaiblissement dû à l'humidité, car la résistance décroît de $2,75$ à $1,44\text{ MPa}$, respectivement, de Ce1 à Ce4. Cette même observation est également faite dans le cas des géomatériaux avec néré, pour lesquels la résistance décroît de $3,35\text{ MPa}$ pour Cn1 à $1,80\text{ MPa}$ pour Cn4.

L'essai de fluage a été réalisé sous une contrainte de $0,2\text{ MPa}$ pendant 21 jours. Cette contrainte représente entre 6 et 14% des résistances à la compression que subissent les éprouvettes. Elle représente également la résistance que subit une brique de base dans un mur de 8 m de haut [14]. Les courbes de fluage (Figs. 10 et 11) présentent des variations similaires au départ. Ce1 montre un comportement différent de ceux de Cn1, Ce4 et Cn4 qui reste continu pendant tout le temps de l'étude.

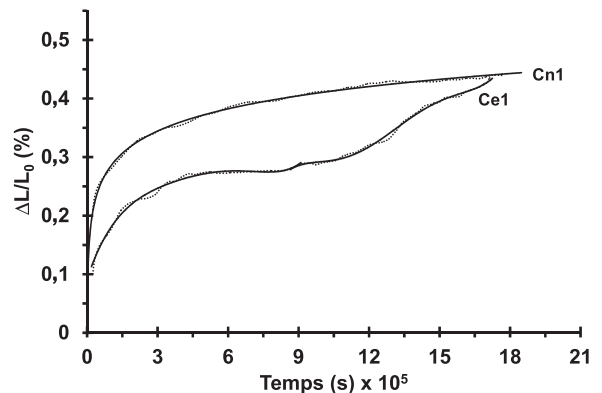


Fig. 10. Courbes de fluage de KORO 1% d'humidité (Ce1) et de KORO 1% d'humidité + décoction de gousses de Néré (Cn1).

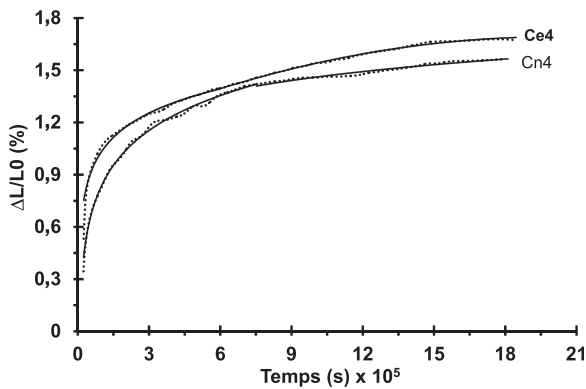


Fig. 11. Courbes de fluage de KORO 4% d'humidité (Ce4) et de KORO 4% d'humidité + décoction de gousses de néré (Cn4).

4. Discussion

Le tableau 5 regroupe les valeurs du module d'élasticité E et les coordonnées du point de contrainte maximale ($\varepsilon_{\sigma_{\max}}, \sigma_{\max}$) pour les quatre géomatériaux. La comparaison des valeurs associées aux nuances Ce1 et Cn1 indique un effet rigidifiant induit par l'ajout de la décoction (augmentation du module d'élasticité E et diminution subséquente de la limite de comportement élastique linéaire (ε_1, σ_1)). L'augmentation de la rigidité serait due aux tanins, qui participent à maintenir une densité de contacts plus grande entre les grains. On retrouve cette influence de la présence des tanins, quoique les effets soient amoindris, quand on compare les géomatériaux Ce4 et Cn4. La plus forte aptitude à la déformation (Tableau 5) de ces géomatériaux conjuguée à une limite élastique relativement faible est attribuée à l'accentuation du comportement plastique de la matrice argileuse par la présence des tanins et de l'eau.

Les résistances mécaniques mesurées (Tableau 5) sur ces géomatériaux sont comparables à celles des matériaux (adobe et adobe pressé) étudiés par C.-H. Kouakou *et al.* [23]. La contrainte de 3,35 MPa obtenue avec le géomatériau Cn1 est similaire à celle des briques crues améliorées avec de faibles teneurs de ciment ou de laitier de haut fourneau [24]. Par ailleurs, des résistances de 1 à 4 MPa [25] ont été mesurées avec des briques à base de bentonite ou de kaolinite contenant du ciment (4%). L'utilisation de la décoction de néré à la place de l'eau apporte une amélioration effective du comportement à la compression.

La déformation totale lors du fluage de ces mélanges (Figs. 10 et 11) peut être décrite comme la résultante des déformations associées à des mécanismes élémentaires tels

la déformation viscoplastique des argiles, la déformation liée aux déplacements relatifs des grains de sable qui contribuent à réduire la porosité et la formation de fissures. Les états d'équilibre observables sur les Figs. 10 et 11 correspondent à des réarrangements de grains dans la matrice. Néanmoins, il est probable que le processus d'endommagement sera continu et différé lors de temps longs. Les matériaux présentant ce type de comportement (Cn1, Ce4 et Cn4) sont préparés avec une teneur relativement élevée d'eau (4%) ou avec des teneurs de 1 et 4% de la décoction de néré. Il y a une bonne matrice plastifiante permettant aux grains de tailles plus petites de s'imbriquer davantage entre les gros. La décoction de néré a donc un effet plastifiant sur l'argile.

Les diffractogrammes (Fig. 5) apportent des précisions sur la nature des minéraux qui réagissent avec les tanins. Leur examen montre que la réaction entre les tanins et les oxydes de fer est probable, et ceci en accord avec des résultats de la littérature [26]. La diminution de l'intensité et le déplacement du pic de la montmorillonite (Fig. 5) seraient dus à la substitution des cations situés dans l'inter-feuillet par des cations des tannins. Les cations libérés des inter-feuillets se lieraient chimiquement aux tannins. Ainsi, la formation de composés organo-métalliques est à l'origine de l'amélioration des propriétés mécaniques en condition quasi statique des géomatériaux. Simultanément, la sorption spécifique des tannins en surface du quartz [27], de l'orthose, de l'albite et des autres phyllosilicates, comme la kaolinite [28,29], est également possible, étant donnée l'évolution de la forme de certains pics (Fig. 5) caractéristiques des phyllosilicates, de l'orthose et de l'albite sous l'effet de la décoction de néré. Cette sorption serait due à des attractions électrostatiques par le biais de ponts cationiques ou hydroxyliques entre les groupes carboxyles, phénoliques des tanins et les minéraux, d'une part, et à la formation des liaisons hydrogène et/ou de van der Waals entre les minéraux et les tanins, d'autre part.

L'apparition et la disparition de certaines bandes sur le spectre infrarouge de KORO + néré (Fig. 7) sont la preuve de l'interaction des composés (tanins) de la décoction de néré avec les minéraux de l'argile. Ces modifications du spectre IR de KORO + néré seraient liées en grande partie à une réaction entre les hydroxydes des composés des tanins (acide gallique, épicatechine, épigallocatechine gallate) avec les minéraux contenus dans KORO.

5. Conclusion

La caractérisation de la décoction des gousses de néré par IR et HPLC a montré qu'elle est riche en tanins, notamment en acide gallique, épicatechine et

Tableau 5
Caractéristiques mécaniques des différents géomatériaux.

Géomatériau	Déformation et contrainte $\varepsilon_{\sigma_{\max}}, \sigma_{\max}$ (MPa)		E (MPa)	Paramètres de la limite d'élasticité ε_1, σ_1 (MPa)	
Ce1	$1,04 \cdot 10^{-2}$	2,75	302	$7,9 \cdot 10^{-3}$	2,37
Ce4	$1,36 \cdot 10^{-2}$	1,44	151	$8,2 \cdot 10^{-3}$	1,24
Cn1	$1,07 \cdot 10^{-2}$	3,35	378	$7,4 \cdot 10^{-3}$	2,80
Cn4	$1,38 \cdot 10^{-2}$	1,80	171	$8,2 \cdot 10^{-3}$	1,41

épigallocatechine gallate. La caractérisation de l'argile KORO à l'aide de la DRX et de l'analyse chimique a révélé que c'est une matière première argileuse de composition complexe. L'ajout de la décoction de gousses de néré en remplacement de l'eau s'est avéré efficace, car les géomatériaux élaborés avec le mélange sable–argile–décoction des gousses de néré présentent des valeurs de résistance mécanique en compression monoaxiale supérieures à celles obtenues sans addition de tannin. Les analyses par DRX et IR ont permis d'établir que les oxydes de fer réagissent avec les tanins pour former des complexes. La formation de ces complexes contribue à augmenter la résistance mécanique des géomatériaux secs et humides. La caractérisation par DRX a montré aussi que les minéraux phyllosilicatés, l'orthose, l'albite et le quartz peuvent tous réagir avec les tanins pour renforcer les propriétés mécaniques des géomatériaux en raison de l'existence de mécanismes de sorption ou de complexation.

Si l'emploi de la décoction de Néré permet d'améliorer la résistance à la rupture des mélanges sable–argile–eau en milieu sec, les mécanismes qui conduisent à renforcer cette résistance sont encore peu connus. L'étude des mécanismes de sorption par EXAFS fera l'objet d'une prochaine investigation. La décoction de gousses de néré est un additif prometteur pour l'élaboration d'éco-matériaux et leur utilisation au Burkina Faso.

Remerciements

Les auteurs remercient le projet de coopération inter-Universitaire de l'AUF (Agence universitaire de la francophonie) et IPICS/ISP/BUF:02 (Suède) pour leur soutien financier et scientifique à la « recherche sur les matériaux argileux du Burkina Faso en vue de leur valorisation » à l'université de Ouagadougou.

Références

- [1] S. Djadouf, A. Tahakourt, N. Chelouah, D. Merabet, *Commun. Sci. Technol.* 9 (Janvier 2011).
- [2] O.S. Diawara, Caractéristiques géotechniques, chimiques et mécaniques des matériaux argileux utilisés dans la construction de l'actuelle cité de Djenné : essais de renforcement, Thèse de l'université de Bamako (Mali), 2009.
- [3] Rapport Aire Développement (Convention 2070), Rapport de mission d'estimation des réserves d'argiles servant dans le domaine de la poterie et de la briqueterie, 2003, p. 6.
- [4] J. Sanou, R. Zougmore, J. Bayala, Z. Teklehaimanot, *Soil Use Manage.* 26 (2010) 75–85.
- [5] R. Abi Azar, Complexation des protéines laitières par les extraits de gousses vertes de Carouner : Propriétés technologiques des coagulums obtenus, thèse, AgroParisTech, France, 2007.
- [6] Répertoire annuel des matériaux céramiques. Tome1 – Espèces minérales, Association des élèves de l'École nationale supérieure de céramique industrielle de Sèvres, 1978.
- [7] K.L. Konan, Interactions entre des matériaux argileux et un milieu basique riche en calcium, Thèse de doctorat de l'université de Limoges (France), 2006.
- [8] Y. Millogo, Étude géotechnique, chimique et minéralogique de matières premières argileuse et latéritique du Burkina Faso améliorées aux liants hydrauliques : application au génie civil (bâtiment et route), thèse de doctorat de l'université de Ouagadougou (Burkina Faso), 2008.
- [9] J. Sei, J.C. Jumas, J. Olivier-Fourcade, H. Quiquampoix, S. Straunton, *Clays Clay Miner.* 50 (2002) 212–224.
- [10] K. Fernandez, E. Agosin, *J. Agric. Food Chem.* 55 (2007) 7294–7300.
- [11] B. Poaty-Poaty, Modification chimique d'antioxydants pour les rendre lipophiles: Application aux tannins, thèse de doctorat de l'université Henri-Poincaré, Nancy (France), 2009.
- [12] P. Blanchart, A. Dembele, C. Dembele, M. Plea, L. Bergstrom, R. Granet, V. Sol, V. Gloaguen, M. Degot, P. Krauss, *Appl. Clay Sci.* 50 (2010) 455–460.
- [13] J. Iglesias, E. Garcia De Saldana, J.A. Jaen, *Hyperfine Interact.* 134 (2001) 109–114.
- [14] B. Sorgho, Caractérisation et valorisation de quelques argiles du Burkina Faso : application au traitement des eaux et aux géomatériaux de construction, thèse de doctorat de l'université de Ouagadougou, 2013.
- [15] E. Jouessein, S. Petit, A. Decarreau, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. Ila* 332 (2001) 83–89.
- [16] J.L. White, *Soil Sci.* 112 (1) (1971).
- [17] J.T. Klopogge, R.L. Frost, L. Hickey, *Thermochim. Acta* 345 (2000) 145–156.
- [18] P.G. Rouxhet, N. Samudacheata, H. Jacobs, O. Anton, *Clay Miner.* 12 (1977) 171–179.
- [19] C.A. Jouenne, *Traité de céramique*, Edition Septina Paris éditeur, 1980.
- [20] R. Palanivel, G. Velraj, *Indian J. Pure Appl. Phys.* 45 (2007) 501–508.
- [21] H. Viallis-Terrisse, Interaction des silicates de calcium hydratés, principaux constituants du ciment, avec les chlorures d'alcalins. Analogie avec les argiles, thèse de doctorat de l'université de Bourgogne, Dijon (France), 2000.
- [22] A. M'Lehey, E. Srasra, A. Cheref, *Proceedings of International Symposium and Workshop on Environmental Pollution Control and Waste Management*, 7–10 January 2002, EPCOWM, Tunis, 2002, pp. 533–546.
- [23] C.H. Kouakou, J.-C. Morel, *Appl. Clay Sci.* 44 (2009) 27–34.
- [24] J.E. Oti, J.M. Kinuthia, J. Bai, *Eng. Geol.* 109 (2009) 230–240.
- [25] J.C. Morel, A. Pkka, P. Walker, *Constr. Build. Mater.* 21 (2007) 303–309.
- [26] J. Kaal, K.G.J. Nierop, J.M. Verstraten, *J. Colloid Interface Sci.* 278 (2005) 72–79.
- [27] A.Y. Nenonene, Élaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kéraf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage, thèse de l'université de Toulouse (France), 2009.
- [28] J.J. Halvorson, J.M. Gonzalez, A.E. Hagerman, *Soil Biol. Biochem.* 43 (2011) 1139–1147.
- [29] V.P. Vinod, T.S. Anirudhan, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 77 (2001) 92–101.