

Mortier de terre : effet de la teneur d'eau de gâchage sur les résistances mécaniques

Conand Honoré KOUAKOU*, Aka Alexandre ASSANDE, Koffi Clément KOUADIO,
Moro Olivier BOFFOUE et Edjikémé EMERUWA

Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux, 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : honore_kouakou2@yahoo.fr

Résumé

La quantité d'eau dans une terre affecte ses propriétés à l'état humide et sec. Pour comprendre l'effet de cette quantité d'eau de gâchage sur la qualité de la liaison bloc-mortier de terre sans ciment cette étude a été réalisée. Elle a consisté à prélever de la terre dans la localité de Cocody (Côte d'Ivoire), ensuite à la soumettre à des essais d'analyse granulométrique et de limites d'Atterberg. Cette terre a été utilisée pour élaborer différents mortiers de rapport masse d'eau sur masse de terre de 0,15 ; 0,2 ; 0,25 et 0,3. Sur ces différents mortiers à l'état frais, la consistance et la teneur en eau ont été mesurées à partir de la méthode proposée par la norme NF P 94-050. De plus leur résistance à la compression et à la flexion à l'état durci ont été déterminées à l'aide d'une presse hydraulique. De même les interfaces blocs-mortiers de terre ont été observées à l'œil nu et au Microscope Electronique à Balayage (MEB) puis leurs aspects décrits. Les résultats montrent que la terre a une texture sablo-limoneuse et un indice de plasticité de 20 %. Les mortiers obtenus avec cette terre ont une consistance ferme lorsque la teneur en eau est inférieure à 28 %, une consistance mi-ferme lorsque la teneur est comprise entre 28 % et 32 % et enfin une consistance molle lorsque la teneur en eau est supérieure 32 %. En outre, lorsque la teneur en eau passe de 27,1 % à 39,7 %, les résistances à la compression baissent de 1,124 MPa à 1,05 MPa, tandis que les résistances à la flexion augmentent de 0,2 MPa à 0,42 MPa. La description macroscopique de l'aspect de la surface des mortiers et les images MEB révèlent une adhérence bloc-mortier parfaite lorsque la teneur en eau est de 39,7 %. Cette teneur en eau est optimum pour utiliser cette terre à l'état naturel comme joint de mortier dans une maçonnerie de terre.

Mots-clés : *mortier, terre, consistance, eau de gâchage, interface bloc-mortier.*

Abstract

Earth mortar : effect of mixing water content on mechanical strength

The amount of water in earth affects its properties in wet and dry state. To understand the effect of mixing water quantity on block-mortar bind quality, this study was carried out. Earth taken from the locality of Cocody (Côte d'Ivoire) was subjected to particle size analysis and Atterberg limit tests. It was then used to make various mortars with water/earth ratio of 0.15; 0.2; 0.25 and 0.3. On these different fresh mortars, the consistency and the water content were measured using the method proposed by standard NF 94-055. In addition, their compression and flexural strength in hardened shape were determined using a mechanic

machine. Moreover, the interfaces of block and earth mortar were observed with naked eye and Scanning Electron Microscope (SEM) and their aspects described. The results show that the earth has sandy-silty texture and plasticity index of 20 %. The mortars obtained with this earth have firm consistency when the water content is less than 28 %, mid-firm consistency when the water content is between 28 % and 32 % and finally soft consistency when the water content is higher 32 %. Furthermore, when the water content goes from 27.1 % to 39.7 %, the compression strength decreases from 1.124 MPa to 1.05 MPa while the flexural strength increases from 0.2 MPa to 0, 42 MPa. Macroscopic observations and SEM images of block-mortar interface show perfect mortar adhesion when the water content is 39.7 %. This water content is optimum for using this earth in its natural shape as mortar joint in earth masonry.

Keywords : *mortar, earth, consistency, mixing water, interface block-mortar.*

1. Introduction

Un mortier est un matériau composé en général de sable, de ciment et/ou chaux et d'eau dans des proportions variables auxquels peuvent être ajoutés des additions minérales et/ou des adjuvants organiques [1]. En fonction des usages et des caractéristiques recherchées, il existe différents types de mortiers [2] dont les enduits (mortiers utilisés pour revêtir de surface des murs) et les joints de mortier (mortier pour le montage des blocs ou pour maçonnerie) [3, 4]. Les joints de mortier, dans une maçonnerie, assurent non seulement la liaison entre les blocs mais aussi une transmission homogène des contraintes dans la structure [5]. Des normes définissent les caractéristiques des mortiers de sable ciment et/ou chaux en se basant sur des essais directs, réalisés sur des échantillons prismatiques de mortiers. Cependant, ces mortiers ne sont pas adaptés pour les maçonneries de terre à cause de leur différence de coefficient de dilatation qui provoque avec le temps, un décollement de leur interface. Dans les constructions en terre, de façon pratique, les mortiers de terre stabilisée avec du ciment et/ou de la chaux sont utilisés pour la réalisation de maçonneries. Quelques travaux de recherche sur ces mortiers de terre ont été réalisés par BCCA et Walker et Stace [6, 7] qui se sont évertués à déterminer la teneur en ciment pour la réalisation de joint de mortier de terre. Cependant, aucune norme ne traite des mortiers de terre stabilisée avec du ciment, ni ne définit les caractéristiques de la terre et ni la quantité optimale d'eau de gâchage. De plus, les valeurs de résistances retenues par les normes sur les joints de mortier de sable-ciment sont très supérieures à celles obtenues sur les mortiers de terre stabilisée au ciment [8].

Cela ne permet pas d'envisager leur utilisation comme joint de maçonnerie. En outre, dans les constructions traditionnelles par exemple, la terre gâchée avec de l'eau sans liant est utilisée pour joindre les blocs dans la réalisation des murs [9]. Les structures ainsi obtenues résistent aux épreuves du temps et aux sollicitations diverses. Or dans le contexte actuel de développement durable et protection de l'environnement, le ciment est reconnu comme un matériau à fort impact environnemental [10]. Selon Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF) [10] l'industrie cimentière est fortement consommatrice d'énergie calorifique et électrique. Elle rejette dans l'atmosphère du dioxyde de carbone (CO_2) qui est un gaz à effet de serre (GES). Une tonne de ciment produit 0,94 tonne de CO_2 [11]. Ainsi, éviter d'utiliser le ciment serait une réponse positive à la réduction des gaz à effet de serre. De ce fait l'emploi de mortier de terre sans ciment est une stratégie salubre. L'application de cette stratégie en absence de normes sur les mortiers de terre crue, passe nécessairement par la détermination des propriétés mécaniques de la maçonnerie. Les principales propriétés mécaniques d'une maçonnerie dépendent de leurs résistances au cisaillement [12], à la flexion [12], à la traction axiale et à la compression [12]. Ces propriétés sont généralement influencées par les conditions de durcissement du mortier [12], le niveau de contrainte [13], le type de briques / blocs [14], et le type et la résistance du mortier [12, 15, 16]. En particulier, les résistances du mortier dépendent de plusieurs paramètres dont la teneur en eau. En effet, selon Couvreur [17], l'eau occupe une place centrale dans le

matériau terre car elle est à l'interface de toutes les autres matières (sable, limon, argile). Elle est également, utilisée pour rendre la matière malléable, déformable et collante. A l'inverse, lorsque l'eau s'évapore, les propriétés mécaniques se renforcent. Il apparaît clairement que pour que la terre joue le rôle joint entre des blocs de terre, une quantité idéale d'eau doit être utilisée. Malheureusement, en dehors du savoir-faire des artisans, il existe très peu ou pas dans la littérature scientifique d'études à notre connaissance qui traitent de joint de mortier de terre sans liants minéraux (ciment et/ou chaux). Ainsi, cet article a pour objectif de mettre en exergue les effets de la teneur en eau de gâchage sur la qualité de l'adhérence entre des blocs terre et un mortier de terre sans ciment. Ainsi, dans cet article, nous contribuons à mettre en exergue les effets de la teneur en eau de gâchage sur la qualité de l'adhérence entre des blocs terre et un mortier de terre sans ciment. Pour y parvenir, une terre prélevée dans la commune de Cocody a été utilisée pour élaborer des mortiers à teneur en eau variable. Ensuite, ces mortiers ont été soumis à des tests à l'état frais et durci.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

2-1-1. Terre utilisée

La terre utilisée a été prélevée dans la ville d'Abidjan précisément dans la commune de Cocody. Elle a été soumise à des essais d'identification. Il s'agit de l'analyse granulométrique et de la mesure des limites d'Atterberg. L'analyse granulométrique a d'abord été effectuée par tamisage par voie humide selon la norme NP 94-056 pour les particules de diamètre supérieur à 400 μm . Ensuite elle a été complétée par une analyse granulométrique réalisée à l'aide d'un granulomètre laser pour la fraction inférieure à 400 μm . Les limites d'Atterberg se composent de la limite de liquidité, la limite de plasticité et de l'indice de plasticité. Les limites de plasticité (ω_p) et de liquidité (ω_L) correspondent aux teneurs en eau qui séparent respectivement l'état solide de l'état plastique et l'état plastique de l'état liquide du sol. Elles sont déterminées suivant la méthode proposée par la norme [18]. L'indice de plasticité équivaut à l'étendu du domaine plastique. Il est calculé à partir de la **Formule** suivante [18] :

$$I_c = \omega_L - \omega_p \quad (1)$$

2-1-2. Elaboration du mortier de terre

Les mortiers ont été réalisés avec la terre issue de la commune de Cocody. Ces mortiers sont obtenus par gâchage d'une masse constante de terre (10 kg) avec des quantités d'eau variable (1,5 L ; 2 L ; 2,5 L et 3 L) sans apport de stabilisant. La quantité d'eau initiale (1,5 L) correspond à la valeur à partir de laquelle le mortier de terre glisse sur une truelle sans se coller. Ces différents mortiers ont un rapport masse d'eau sur masse de terre respectif de : 0,15 ; 0,2 ; 0,25 et 0,3. Après malaxage, une partie des différents mortiers frais a été soumise à des essais. Une autre partie est étalée sur les blocs de terre en vue d'observer l'aspect du mortier durci et les inter-surfaces bloc-mortier. Le reste est utilisé pour l'élaboration des éprouvettes prismatiques 40x40x160 mm³. Ces derniers sont séchés pendant 28 jours à la température de 25 °C et à une humidité de 75 %.

2-2. Méthodes

2-2-1. Test sur mortiers frais

- *Teneur en eau (ω)*

La teneur en eau a été déterminée suivant la méthode proposée par la norme [19]. Une masse (M) de mortier frais est séchée à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures puis la masse du mortier sec (M_s) est mesurée. Ces masses sont mesurées à l'aide d'une balance de précision 0,1 g. La teneur en d'eau est calculée à partir de la **Formule** suivante [19] :

$$\omega = 100 \frac{M - M_s}{M_s} \quad (2)$$

A partir de la teneur en eau d'un sol, son indice de consistance est calculé avec de la **Formule**

$$I_c = \frac{\omega_L - \omega}{I_p} \quad (3)$$

où ω est la teneur en eau (%); M la masse humide (g), M_s la masse sèche (g); I_c l'indice de consistance du mortier, ω_L la limite de liquidité (%), et I_p indice de plasticité (%).

- *Profondeur de pénétration*

La profondeur de pénétration a été mesurée grâce à l'appareil de Vicat conformément à la norme EN 196-3. Le mortier frais est d'abord coulé dans un cône. Ensuite l'ensemble cône mortier est placé sous la partie mobile de l'appareil de Vicat sur laquelle la sonde (l'aiguille) est montée. Enfin cette partie mobile de 300 g est lâchée et l'aiguille située à sa base s'enfonce dans le mortier. La distance entre l'extrémité de l'aiguille et la plaque de base plane de l'aiguille de Vicat est mesurée. La profondeur de pénétration est donnée par la **Formule** :

$$P_p = 40 - d \quad (4)$$

avec, P_p la profondeur de pénétration (mm), d la distance entre l'extrémité de l'aiguille et la plaque de base plane (mm).

2-2-2. Tests sur des mortiers secs

- *Essai de flexion trois points*

L'essai de flexion trois points est réalisé selon la norme française EN 1015-11 [20] (**Figure 1**).

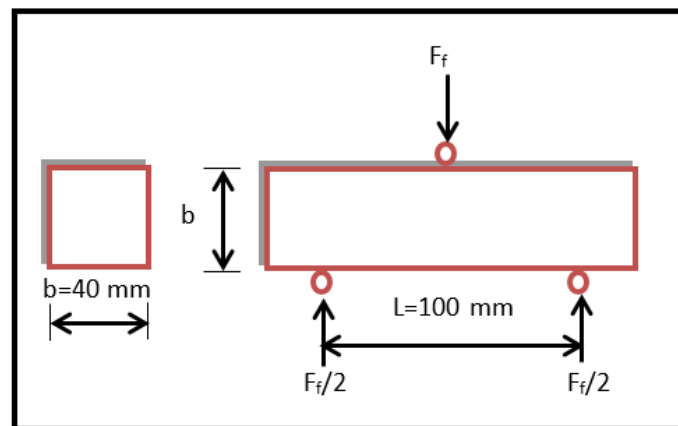


Figure 1 : Méthode de mesure de la résistance à la flexion trois points

La résistance à la flexion est calculée à partir de la **Formule** :

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{b^3} \quad (5)$$

avec, R_f la résistance à la rupture (MPa), F_f la charge à la rupture (N), b la largeur ou la hauteur de l'éprouvette (mm) et L la distance entre les deux appuis (mm).

- *Essai de compression*

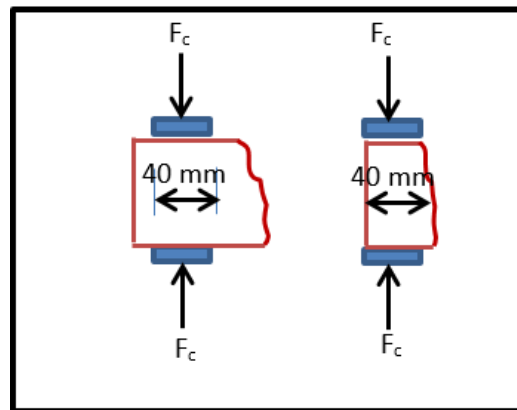


Figure 2 : Méthode de réalisation de l'essai de compression

L'essai de compression est réalisé selon la méthode proposée par la norme [20] après rupture en flexion des éprouvettes (**Figure 2**). La résistance à la compression est calculée à partir de la **Formule** :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \quad (6)$$

avec, R_c la résistance à la compression (MPa), F_c la charge à la rupture (N) et b l'arrête de la surface d'appui (mm).

2-2-3. Observation des interfaces mortiers blocs

Le mortier frais a été étalé sur les blocs de terre. Après un séchage de 28 jours, leur interface a été examinée à l'œil nu (observation macroscopique) puis photographier. Cet examen a consisté en la description de l'aspect du contact bloc-mortier, des fissures visibles et de l'état de déformation du mortier. De même, des morceaux des interfaces des blocs ou des mortiers sont prélevés puis observés au Microscope Electronique à Balayage (MEB) de marque FEG Quanta 650. Ce MEB fonctionne sous vide avec une tension de 15 kV. La distance de travail appliquée est de 3 mm et l'inclinaison est réglée à 0°. Sur les images obtenues l'aspect du contact bloc-mortier est examiné à travers la description des microfissures visibles et de la trace du contact bloc mortier.

3. Résultats et discussion

3-1. Caractérisation de la terre de la commune de Cocody

3-1-1. Répartition des grains de la terre

La **Figure 3** présente les résultats des analyses granulométriques effectuées sur la terre prélevée dans la commune de Cocody.

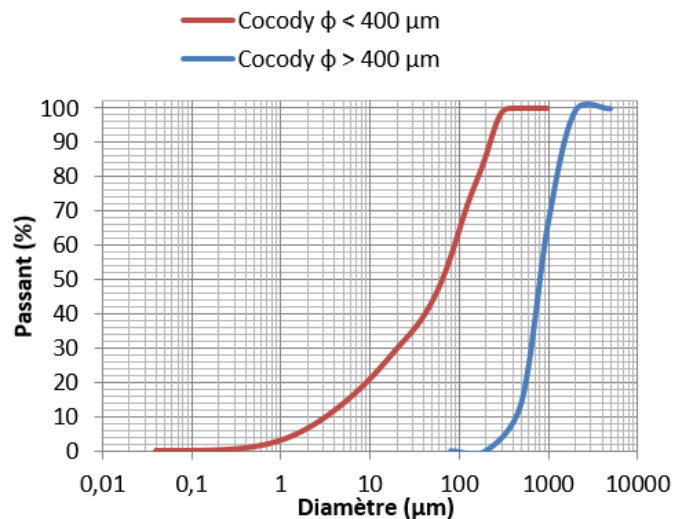


Figure 3 : Courbe d'analyse granulométrique des terres de la commune de Cocody
 Φ : diamètre du grain

L'analyse de la **Figure 3** montre que les plus gros grains ont un diamètre de 2 mm et les plus petits un diamètre de 0,04 μm . Cette terre ne contient pas de gravier (particules de taille moyenne supérieure à 2 mm). Elle peut donc être utilisée pour la confection de mortier car selon norme NF EN 196-1 le sable pour mortier est de classe 0/4 [1]. A partir de la courbe d'analyse granulométrique, les proportions de sable, de limon et d'argile que contient cette terre ont été déterminées. Les résultats obtenus sont donnés dans le **Tableau 1**. Il indique que la terre de la commune de Cocody est composée de 70,7 % de sable, 25,2 % de limon et 4,1 % d'argile. Ces particules d'argile feront de cette terre lorsqu'elle contiendra de l'eau une pâte fluide complexe dont le comportement est lié au taux de matière sèche, à la nature des minéraux d'argile présente et à la teneur en eau [17]. La projection de ces proportions de grains dans le triangle textural [21] indique que la terre de la commune de Cocody a une texture sablo-limoneuse. Elle donnera un matériau dense, sensible à l'eau à cause de sa proportion en limon mais peu gonflant car elle contient très peu de particules argileuses.

Tableau 1 : Répartition des grains de la terre de la commune de Cocody

Proportion de grains de diamètre > 400 μm	46,4
Proportion de grains de diamètre < 400 μm	53,6
Proportion de sable ($80 \mu\text{m} \leq \phi \leq 3000 \mu\text{m}$)	70,7
Proportion de limon ($2 \mu\text{m} \leq \phi \leq 80 \mu\text{m}$)	25,2
Proportion d'argile ($\phi \leq 2 \mu\text{m}$)	4,1

3-1-2. Limites d'Atterberg

Les valeurs des limites d'Atterberg (limite de liquidité et limite de plasticité) déterminées sur la terre de la commune de Cocody sont données dans le **Tableau 2**. Ces valeurs sont de 21 % pour la limite de plasticité et 41 % pour la limite de liquidité. Elles séparent les différents états de la terre de Cocody. Ces valeurs montrent que lorsque la teneur en eau dans la terre est inférieure à 21 % la terre est dans un état solide. Lorsque la teneur en eau dans la terre de Cocody est comprise entre 21 % et 41 % la terre est dans un état plastique. Par contre, lorsque la teneur en eau dans la terre de Cocody est supérieure à 41 % elle est dans un état liquide. A l'état plastique la terre est malléable et collante alors qu'à l'état liquide elle est trop fluide et s'écoule sous son propre poids. Elle ne peut donc être utilisée comme mortier qu'à l'état plastique. Les

teneurs en eau dans les différents mortiers de terre à réaliser avec la terre de la commune de Cocody doivent être au moins supérieures à 21 %. L'indice de plasticité de la terre de la commune de Cocody est de 20 %. Il correspond à l'étendue de son domaine plastique. Cette importante étendue de ce domaine pourrait s'expliquer par la présence dans cette terre de minéraux argileux. En outre, la projection des valeurs des limites d'Atterberg dans le diagramme de Casagrande [22] permettent de classer cette terre de la commune de Cocody parmi les argiles minérales faiblement plastique. Cela confirme les résultats précédents : cette terre de la commune de Cocody contient des minéraux argileux.

Tableau 2 : Valeur des limites d'Atterberg de la terre de Cocody

	Limite de liquidité (%)	Limite de plasticité (%)	Indice de plasticité (%)
Cocody	41	21	20

3-2. Caractéristiques à l'état frais des mortiers de terre de la commune de Cocody

L'optimisation des conditions de mise en œuvre d'un mortier (c'est-à-dire, son écoulement sous son propre poids, sa capacité à être projetée comme un enduit sur une façade, son étalement, sa capacité remplir un vide) tout en conservant leur homogénéité (sans ségrégation ni ressuage) dépend de leur consistance ou maniabilité. Or la consistance ou la maniabilité d'un mortier sont des notions empiriques qui peuvent être évaluée à partir de la profondeur de pénétration ou par calcul. Les résultats de mesure de la profondeur de pénétration de l'aiguille de Vicat, de la teneur en eau et du calcul de la consistance de mortier de terre de la commune de Cocody à l'état frais sont donnés dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Consistance, teneur en eau et profondeur de pénétration de l'aiguille de Vicat dans les mortiers de terre de la commune de Cocody

Rapport masse d'eau sur masse de terre	Teneur en eau (%)	Profondeur de pénétration (mm)	Consistance
0,15	27,1	3	0,695
0,2	31,7	33	0,465
0,25	39,7	38	0,065
0,3	41,44	39	-0,022

Ce **Tableau 3** montre que lorsque le rapport masse d'eau sur masse de terre passe de 0,15 à 0,3, la teneur en eau du mortier passe de 27,1 % à 41,44 %. Cette augmentation de la teneur en eau avec le rapport eau sur terre s'explique par l'augmentation de la quantité d'eau de gâchage. L'eau utilisée pour mouiller la terre est retenue par les particules fines (limon et argile). De plus ces particules ont une capacité de rétention d'eau qui augmente avec la quantité d'eau apportés. C'est pourquoi la teneur en eau de la terre augmente. Ce même **Tableau 3** démontre aussi que lorsque la teneur en eau dans le mortier de terre varie de 27,1 % à 41,44 % la profondeur de pénétration de l'aiguille de Vicat dans ce dernier passe de 3 mm à 39 mm. L'eau retenue dans la terre par les particules fines forme autour d'elles une couche dont l'épaisseur augmente avec la quantité d'eau. Plus cette couche est importante plus la terre devient fluide. Ainsi la profondeur de pénétration augmente. L'augmentation de la teneur en eau donc de la quantité d'eau dans une terre la rend plus fluide c'est-à-dire facilement pénétrable. Selon la norme NF EN 196-3 [23] un mortier normal, doit donner après la lâchée de la sonde de Vicat, une distance entre cette dernière et le fond du moule de 7 mm (± 1 mm) c'est-à-dire à une profondeur d'enfoncement comprise entre 33 et 35 mm. De plus ce mortier normal qui est en fait un mortier de sable-ciment n'adhère pas à la truelle. Par contre, dans le cas du mortier de terre de la commune de Cocody, le mortier de terre normal est obtenu à une teneur en eau comprise entre 31,7 % et 39,7 %. Cependant, ce mortier de terre colle à la truelle à cause de la présence de minéraux phyllosilicatés.

Ainsi, le mortier de terre normal n'est pas pratique sur les chantiers de construction. Le **Tableau 3** montre encore que lorsque la teneur en eau dans le mortier varie de 27,1 % à 41,44 % la consistance passe de 0,695 à -0,022. L'augmentation de la fluidité du mortier avec la teneur en eau entraîne une baisse de sa consistance donc le rend plus malléable. La quantité d'eau dans un mortier de terre influence sa consistance. Des résultats similaires ont été obtenus par [24]. Ils ont apporté une quantité d'eau supplémentaire à un mélange de sable calcaire et de sédiments fine riche en phyllosilicates pour obtenir une consistance identique à celle du sable calcaire. En définitive, plus la terre contient de l'eau, moins sa consistance est élevée et plus la profondeur de pénétration de l'aiguille de Vicat est grande. [25] classe la consistance des pâtes d'argile en ferme, mi-ferme, molle et fluide. En tenant en compte la profondeur de pénétration de l'aiguille de Vicat, des valeurs de consistance et du fait que pour un mortier de terre, la teneur en eau doit être comprise entre la limite de plasticité et de liquidité, nos travaux de recherche montrent que le domaine plastique du mortier de terre de la Commune de Cocody peut être subdivisé en quatre classes :

- la classe de consistance ferme lorsque la teneur en eau est inférieure à 28 % et la profondeur de pénétration comprise entre 0 et 6 mm ;
- la classe de consistance mi-ferme lorsque la profondeur de pénétration est comprise entre 6 et 33 mm, et la teneur en eau entre 28 et 32 % ;
- la classe de consistance molle lorsque la teneur en eau est comprise entre 32 % et 39 % et la profondeur de pénétration entre 33 mm et 38 mm ;
- la classe de consistance fluide lorsque la teneur en eau est supérieure à 39 % et la profondeur de pénétration supérieure à 38 mm.

Un classement similaire est proposé par [26] à partir de l'essai d'étalement à la table à secousse. Ce classement s'appuie sur les données de la norme ASTM C1 437.

3-3. Comportement mécanique des mortiers

Le **Tableau 4** présente les résultats des essais mécaniques sur les mortiers de terre durci sans stabilisant.

Tableau 4 : Résultats d'essai sur mortier durci

Rapport eau/terre	Teneur en eau (%)	Résistance moyenne (MPa)	
		Flexion (écart type)	Compression (écart type)
0,15	27,1	0,21 (0,007)	1,24 (0,130)
0,2	31,7	0,22 (0,014)	1,19 (0,118)
0,25	39,7	0,43 (0,021)	1,15 (0,033)
0,3	41,44	0,24 (0,007)	1,05 (0,098)

Ce **Tableau 4** montre que les résistances à la flexion et à la compression varient avec l'augmentation de la teneur en eau. Lorsque la teneur en eau augmente de 27,1 % à 39,7 %, la résistance à la flexion augmente aussi de 0,21 MPa à 0,43 MPa. Par contre la résistance à la flexion baisse de 0,43 MPa à 0,24 MPa lorsque la teneur en eau augmente de 39,7 % à 41,44 %. Cette variation de la résistance à la flexion s'explique par la structuration du mortier au cours du séchage et par le mode de rupture. En effet, pendant son séchage, le mortier de terre subit un retrait [27] qui provoque une réorganisation des particules fine entre les grains de sable. Ces particules fines assurent la liaison entre les grains de sable [17]. Lorsque le mortier durci est sollicité en flexion la rupture commence sur la face en traction et se propage par ouverture (rupture de mode I) à travers les liaisons entre les particules fines [28]. La qualité de ces liaisons est fonction de l'arrangement des particules fines qui dépend de la quantité d'eau de gâchage. Ainsi, lorsque la teneur en eau varie de 27,1 % à 39,7 %, la quantité d'eau tend vers l'optimum d'où l'augmentation de la résistance à la flexion. Au-delà de

cette teneur optimum, les pores laissés par l'évaporation de l'eau fragilise le matériau. La teneur en eau de 39,7 % est la valeur optimum pour un mortier de terre de la commune de Cocody. En outre, le **Tableau 4** montre aussi que lorsque la teneur en eau passe de 27,1 % à 39,7 % la résistance à la compression varie de 1,24 MPa à 1,05 MPa. Cette baisse de la résistance à la compression avec l'augmentation de la teneur en eau s'explique aussi par la structuration des mortiers et le mode de rupture en compression. Les grains de sable forment le corps (squelette) du mortier. Au cours du séchage, la réorganisation de ce squelette suite au retrait de séchage occasionne la formation de pores. Ces pores sont des défauts qui fragilisent le matériau. Lorsque le mortier durci est sollicité en compression, la charge est portée par le squelette. Quand la charge devient importante, les grains de sable se disloquent. Cette dislocation engendre des microfissures. Par glissement, les microfissures vont coalescer et conduire à la dégradation du mortier par rupture de mode 2. Ces remarques sont confirmées par [29] lorsqu'il soutient que le retrait au jeune âge est conditionné par l'évaporation et la consistance. Plus la teneur en eau dans le mortier frais est élevée, plus il contiendra des pores à l'état durci et le squelette sera moins résistant en compression. C'est pourquoi la résistance des mortiers en compression baisse avec la teneur en eau. En outre, en tenant compte des écarts types, qui traduisent la dispersion des résistances autour de la valeur moyenne, les variations des résistances à la compression en fonction de la teneur en eau pourraient être considérées comme nulles. La résistance à la compression est donc constante avec la variation de la teneur en eau. Il n'est donc pas possible à partir de la seule valeur de résistance de fixer la teneur en eau optimale pour un mortier de terre idéal. En effet le bon mortier de joints de maçonnerie doit avoir une résistance à la compression et à la flexion élevées, mais voisines de celle des blocs. Par ailleurs les valeurs de résistance à la flexion et à la compression obtenues sur les mortiers de terre de Cocody sont faibles par rapport à celles obtenues [7] avec des terres argileuses. Cette différence est due à la teneur en argile qui renforce les liaisons entre les particules.

3-4. Observation de l'interface bloc-mortier

La **Figure 4** montre les interfaces bloc-mortier sans stabilisant chimique. A la teneur en eau de 27,1 % (**Figure 4a**), le mortier étalé sur le bloc de terre après séchage présente une surface sans fissure de dessiccation. Cependant l'interface bloc mortier est séparée par une fissure visible à l'œil vu et le mortier durci se désolidarise du bloc au moindre geste. [27] ont fait les mêmes observations au cours du séchage de plaque de terre. Le séchage a entraîné un phénomène de retrait sur toutes les plaques (décollement au niveau des bords) sans toutefois qu'il apparaisse de fissure importante au sein des plaques. Lorsque la teneur en eau est de 39,7 % (**Figure 4b**) la surface du mortier sec présente de nombreuses fissures de dessiccations.

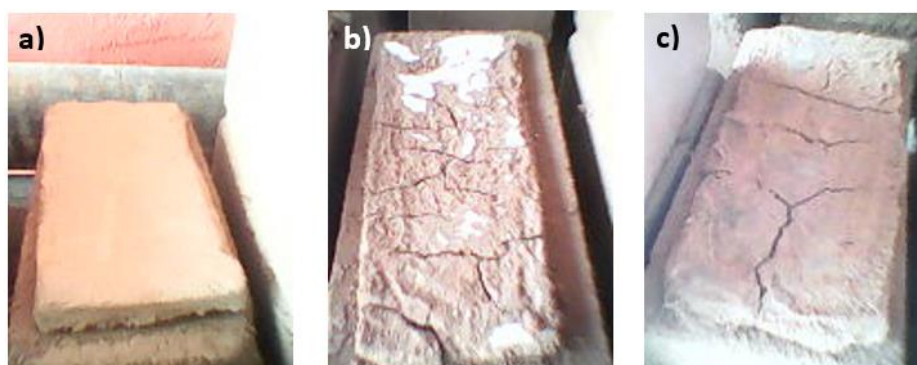


Figure 4 : *Variation de l'adhésion des mortiers en fonction de la teneur en eau (a) $\omega = 27,1 \%$; (b) $\omega = 39,7 \%$; et (c) $\omega = 41,44 \%$*

L'interface bloc mortier est marquée par une trace et le mortier se désolidarise très péniblement du bloc sous la pression des doigts. Lorsque la teneur en eau est de 41,44 % (**Figure 4c**) la surface du mortier présente des fissures de dessiccations. L'interface bloc mortier est marquée par une fissure qui disparaît vers l'intérieur du contact. Sous la pression des doigts, le mortier se désolidarise du bloc, mais des fractions du bloc restent liées au morceau de mortier. Ces constats à l'échelle macroscopique sont confirmés par les observations au MEB, (échelle microscopique). Lorsque la teneur en eau est de 27,1 %, la **Figure 5a** montre de façon détaillée qu'il n'y a pas de liaison entre le bloc et le mortier. L'interface est décollée. Par contre lorsque la teneur en eau est de 39,7 %, la **Figure 5b** indique que l'interface est accolée et les particules d'argile assurent une adhérence et une cohésion continue entre le bloc et le mortier. Lorsque la teneur en eau est de 41,44 %, la **Figure 5c** montre que l'interface est accolée mais par endroit, elle est séparée par des vides. L'adhérence entre le bloc et le mortier est donc discontinue. Toutes ces observations sont dues aux effets de l'eau, au niveau de l'interface bloc mortier. En effet, lorsque le mortier frais est étalé sur la surface sèche du bloc, celui-ci (le bloc) à travers ces pores sucent une partie de l'eau de gâchage du mortier qui est partiellement utilisée pour mouiller sa surface. Cette surface se ramollit. Simultanément, le mortier sèche suite à l'évaporation d'une autre partie de l'eau de gâchage. L'eau de gâchage est donc soumise aux forces de suctions du bloc et d'évaporation de l'air. Selon [30], un gradient de teneur en eau se forme. Le séchage du mortier commence à ces extrémités et progresse vers le centre de la surface. Les aspérités du support (bloc) peuvent alors être la cause de départ de fissures quand ce retrait s'effectue puisqu'elles augmentent également les forces de frottement entre celui-ci et l'échantillon de terre (mortier) [31].

3-5. Influence de la teneur en eau sur l'interface bloc-mortier de terre

Cours du séchage et du durcissement d'un mortier de terre entre deux blocs, trois situations peuvent se dégager en fonction de la teneur en eau de gâchage de ce dernier. Lorsque la teneur en eau du mortier de terre est faible, la succion d'une partie de l'eau de gâchage par les blocs n'est pas suffisante pour provoquer une bonne hydratation de cette surface. Il n'y a donc pas d'adhérence. Le départ trop rapide de l'eau du mortier à cause des effets conjugués de la succion des blocs et du séchage, occasionne un retrait trop rapide. Cela entraîne le décollement de l'interface car les forces de frottement à l'interface sont pratiquement nulles (pas d'adhérence). Lorsque la teneur en eau du mortier est assez (optimale), la succion entraîne les particules fines du mortier vers la surface mouillée du bloc. Les deux surfaces adhèrent. Le retrait occasionné par le séchage étant bloqué par l'adhésion, il se forme des joints de décimation (fissures) à la surface du mortier. Les contraintes provoquées par le blocage de la déformation sont supérieures à la limite de résistance à la rupture du matériau d'où la fissuration du mortier [29]. Lorsque la teneur en eau est trop élevée, la succion étant trop importante, entraîne les particules fines du mortier vers la surface mouillée du bloc. Les deux surfaces adhèrent. Pendant le séchage, il se forme aussi de fissures à la surface du mortier. Mais l'excès d'eau de suctions va s'évaporer de façon préférentielle par endroit créant des pores. [29] confirme ces résultats lorsqu'il affirme qu'une humidification insuffisante de l'enduit provoque son grillage et au contraire, un support gorgé d'eau peut empêcher l'adhésion du mortier. La teneur en eau qui permet une bonne adhérence entre le mortier de terre de la commune de Cocody et les blocs de terre est de 39,7 %. Pour des mortiers de terre stabilisés au ciment [7] a retenu la teneur en eau de 20,9 %. Cette teneur en eau augmente avec la teneur en ciment et la teneur en argile. Ces résultats sont conformes à ceux de [1] qui ont travaillé sur des mortiers de sable ciment avec des adjuvants. Leurs résultats montrent que plus la quantité d'eau évaporable d'un mortier est grande plus la vitesse d'évaporation est grande. Or lorsque l'évaporation est rapide, des fissures et pores apparaissent (**Figure 5**).

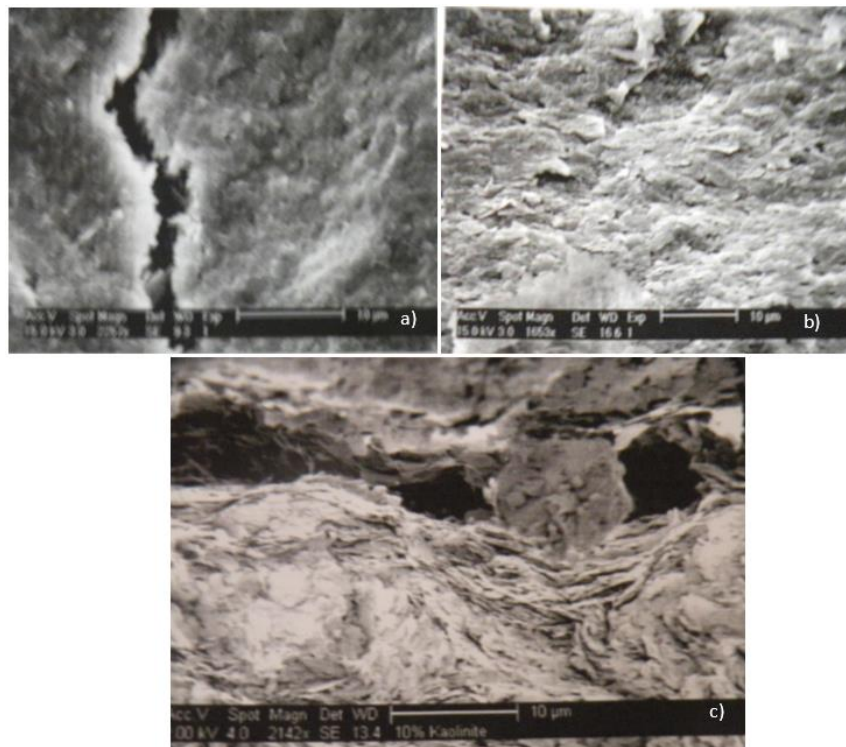


Figure 5 : Images MEB d'interface mortier-blocs

(a) $\omega = 27,1 \%$; (b) $\omega = 39,7 \%$ et (c) $\omega = 41,44 \%$ (échelle 10 μm)

4. Conclusion

Une terre de la commune de Cocody a été mélangée avec différente quantité d'eau. Les effets de ces teneurs en eau sur les performances des différents mortiers obtenues permettent de titrer des conclusions suivantes :

- La terre de la commune de Cocody ne contient pas de gravier, et est constituée de 70,7 % de sable 25,2 % de limon et de 4,1 % d'argile. Elle a une texture sablo-limoneuse, une limite de plasticité de 21 % et un indice de plasticité de 20 %. Cette terre de la commune de Cocody contient des minéraux de la famille des phyllosilicates (minéraux argileux) qui la rendent faiblement plastique.
- Le comportement des mortiers de terre de Cocody à l'état frais, caractérisé par sa consistance, est fortement assujetti à sa teneur en eau. Ainsi le mortier a une consistance ferme pour une teneur en eau inférieure à 28 % (profondeur de pénétration comprise entre 0 et 6 mm) ; une consistance mi-ferme pour un teneur en eau comprise entre 28 % et 32 % (profondeur de pénétration comprise entre 6 et 33 mm) ; une consistance molle pour une teneur en eau de comprise entre 32 % et 39 % (profondeur de pénétration comprise entre 33 et 38 mm) et une consistance fluide pour une teneur en eau supérieure à 39 % (profondeur de pénétration supérieure à 38 mm).
- A l'état durci, lorsque la teneur en eau augmente de 27,1 % à 39,7 % la résistance à la flexion des mortiers augmente faiblement (0,21 à 0,44 MPa) tandis que la résistance à la compression baisse (1,24 à 1,15 MPa). L'organisation de particules d'argile, des grains de sable et des vides au cours du retrait est responsable de cette performance.
- L'adhérence entre mortier de terre et bloc de terre est liée à la teneur en eau du mortier. Un mortier ferme à mi ferme conduit à une adhérence nulle ou très faible. Un mortier mou donne une adhérence continue tandis qu'un mortier fluide entraîne une adhérence qui s'estompe par endroit du fait de l'évaporation de l'eau par des chemins préférentiels.

La terre de la commune de Cocody sans stabilisant peut être utilisée comme joint de mortier dans les maçonneries de terre lorsque sa teneur en eau est de 39 %. A cette teneur, l'eau permet une bonne mouillabilité de la surface des blocs de terre, assure une meilleure organisation des particules de sable et d'argile au cours de retrait de séchage et favorise une adhérence entre les deux produits (bloc et mortier) grâce aux minéraux argileux.

Références

- [1] - L. PATURAL, "Modes d'action des éthers de cellulose sur la rétention d'eau des mortiers à l'état frais", Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2011EMSE0605, (2011) 232 p.
- [2] - BCCA, "Prescriptions techniques pour mortiers de calage, de bourrage et de scellement à base de liants hydrauliques". Benor, (2008) 25 p.
- [3] - INFOCUMENTS, "Industrie cimentière française", disponible sur : <<http://www.infociments.fr/>> (20 Mars 2019)
- [4] - Site des mortiers, animé par le Syndicat national des mortiers industriels (SNMI). Disponible sur : <<http://www.desmortiersdesidees.com/>> (20 Mars 2019)
- [5] - F. B. HOUTI, "Comportement des structures en maçonnerie sous sollicitation uniaxiale", Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, Algérie, (2002) 93 p.
- [6] - WALKER et T. STACE, *Materials and structures*, 30 (1997) 545 - 551
- [7] - G. A. AZEREDO, "Mise au point de procédure d'essais mécaniques sur mortiers de terre : application à l'étude de leur rhéologie". Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (France), (2005) 356 p.
- [8] - NBN EN 998-2, "Définitions et spécifications des mortiers pour maçonnerie - Partie 2: Mortiers de montage des éléments de maçonnerie", (2016)
- [9] - V. FURLAN, P. BISSEGER, "les mortiers anciens : Histoire et essais d'analyse scientifique" <https://www.e-periodica.ch>, (20 Mars 2019)
- [10] - Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), "Le diagnostic énergétique d'une cimenterie" www.ifdd.francophonie.org › *prisme* › *Diag_batiment*, (20 Mars 2019)
- [11] - E. GARTNER, *Cement and Concrete Resource*, 34 (2004) 1489 - 1498. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.01.021>
- [12] - S. BARR, W. J. MCCARTER, B. SURYANTO, *Construction and Building Materials*, 84 (2015) 128 - 135. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.016>
- [13] - J. WANG, A. HEATH, P. WALKER, *Constructions and Building Materials* 48 (2013) 448 - 456. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.025>
- [14] - K. S. GUMASTE, K. S. N. RAO, B. V. V. REDDY, K. S. JAGADISH, *Mater. Struct.*, 40 (2) (2007) 241 - 253. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12960-6_14
- [15] - V. ALECCI, M. FAGONE, T. ROTUNNO, M. DE STEFANO, *Construction and Building Materials*, 40 (2013) 1038 - 1045. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.107>
- [16] - G. SARANGAPANI, B. V. V. REDDY, K. S. JAGADISH, *J. Mater. Civ. Eng.*, 17 (2) (2005) 229 - 237. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2005\)17:2\(229\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:2(229))
- [17] - L. COUVREUR, "Matière eau, développement de contenus pédagogiques pour le projet Amàco", Mémoire de Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement Architecture de Terre, (2014) 125 p.
- [18] - NF EN ISO 17892-12, "Reconnaissance et essais géotechniques - Essais de laboratoire sur les sols - I des limites de liquidité et de plasticité", (2018)

- [19] - Norme NF P 94-050, "Teneur en eau pondérale - Méthode par étuvage", (1995)
- [20] - NF EN 1015-11, "Méthode d'essai des mortiers pour maçonnerie-partie 11 : détermination de la résistance à la flexion et à la compression du mortier durci", (2000)
- [21] - N. CABANE, "Sols traités à la chaux et aux liants hydrauliques : Contribution à l'identification et à l'analyse des éléments perturbateurs de la stabilisation", Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines Saint-Etienne, (2004) 189 p.
- [22] - G. PHILIPPONNAT, "Fondation et ouvrages en terre". Edition Eyrolles Paris, (1999) 537 p.
- [23] - NF EN 196-3 "Méthodes d'essai des ciments - Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité", (2017)
- [24] - B. ANGER, I. MOULIN, E. PERIN, F. THERY, D. LEVACHER, "Utilisation de sédiments fins de barrage dans la fabrication de 2 mortiers", XIIIèmes JNGCGC, (2014)
- [25] - C. H. KOUAKOU, "Valorisation des argiles de Côte d'Ivoire, Etude de la stabilisation à froid de l'argile de Dabou avec un liant hydraulique (le ciment portland)", Thèse unique, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, (2005) 195 p.
- [26] - M. KASIM, M. SORAN, E. N. DIA, M. O. SAFIE, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20 (2017) 1642 - 1652 p.
- [27] - F. ROJAT, M. OLIVIER, A. MESBAH, D. MILLIONECOBAT, *Sciences & Techniques*, (2014) 1 - 15. <https://www.researchgate.net/publication/262672071>
- [28] - J. L. ENGERAND, Techniques de l'ingénieur Réf : B5060 v1, (1990)
- [29] - M. NICOT PIERRE, "Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier", thèse unique, Université Toulouse III - Paul Sabatier, TOULOUSE, (2008) 207 p.
- [30] - F. BARNIER, "Fissuration et déformation des mortiers de terre crue au séchage", Rapport de stage amàco, (2015) 89 p.
- [31] - X. WEI, "Micro-Macro study of the cracks in clays related to desiccation", Thèse unique, Ecole Centrale Paris, France, (2014) 299 p.