

## **Formulation d'un mortier de terre-ciment pour les murs mis en œuvre selon la technique du pisé**

**Mpele MAMBA<sup>\*</sup>, Robert NZENGWA et Irenée TSOMGME**

*École Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP) de Yaoundé, B.P 8390 Yaoundé, Cameroun*

---

\* Correspondance, courriel : [mamba\\_mpele@yahoo.fr](mailto:mamba_mpele@yahoo.fr)

### **Résumé**

Une maison d'une superficie de 10 m<sup>2</sup> a été construite. Sa couverture constituée de contre-plaqué recouverts des nattes de raphia est supportée par une structure en bois. Le mur de remplissage et l'enduit sont en terre stabilisée au ciment. L'épaisseur des murs après leur ponçage est de 15cm. La mise en œuvre du mur et de l'enduit ont été fait au même moment en utilisant la technique du pisé modifiée par l'ajout d'un coffrage secondaire, qui permet l'introduction simultanée à l'intérieur du coffrage principal : d'un béton de terre pour le cœur du mur et du mortier de terre pour l'enduit. Les essais d'identification et des retrait réalisés sur les sols des différentes carrières, nous ont permis de sélectionner la terre et de préciser les conditions de mise en œuvre des murs de la maison témoin. L'aspect esthétique des murs mis en œuvre avec cette technique est remarquable même après 9 ans.

**Mots-clés :** *pisé, terre à pisé, coffrage, mortier, terre-ciment, retrait linéaire.*

### **Abstract**

#### **Formulation of cement-earth mortar, in order to build pise wall**

A 10 m<sup>2</sup> house was built on a wooden framework and covered with plywood and raphia mats. The filling walls and the facing are made of cement-stabilised earth. The final thickness of the walls is 15 cm. The construction of the wall and the facing were made at the same time, using an additional mechanism to simultaneously introduce the earthen concrete for the walls and the earthen mortar for the facing. Trials were made to identify the types of soils to be used and to calculate their subsiding curve based on their water and clay content, and this allowed us to select the types of soils to be used. Up to 9 years later, the aesthetic aspects of the walls so constructed remain impressive! No abnormality was noted.

**Keywords :** *pise, framework, mortar, cement-earth, linear shrinkage, soil.*

### **1. Introduction**

Pour résoudre les problèmes liés à la pénurie des logements dans certains pays d'Afrique ; des solutions préconisant l'utilisation des blocs de terre (adobes, blocs de terre comprimée ou stabilisée) à la place des agglomérés de ciment ont été adoptées.

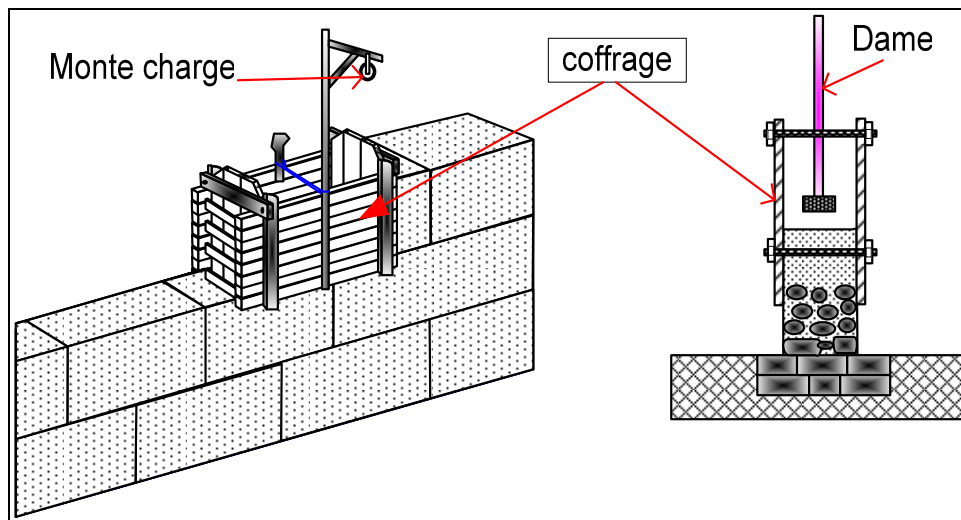
Pourtant, la technique du pisé (**Figure 1**) qui consiste à introduire ; puis à compacter dans un coffrage un béton de terre obtenu par un mélange approprié d'une terre argileuse, des granulats et de l'eau, pourrait aussi être exploitée pour la construction de ces logements. Mais jusqu'à présent elle a été ignorée par la plupart des experts africains. Malheureusement ; bien que cette technique du pisé présente des nombreux avantages [1-3], on lui reproche cependant ; la construction des murs massifs d'épaisseur minimale de 30cm et qui par rapport aux procédés de construction concurrents (blocs de terre), consomme beaucoup trop de terre et sollicite beaucoup plus les fondations. De plus, il existe très peu de littérature scientifique qui parle de cette technique du pisé.

Dans cet article nous visons deux objectifs :

Le premier est de montrer que cette technique ; peut être utilisée, non seulement pour la réalisation des murs minces (d'épaisseur 16cm) mais aussi pour la mise en œuvre simultanée des murs avec leur enduit.

Le second est de vous proposer, les procédures ou règles que l'on a adoptées : pour la sélection, la formulation des matériaux et leur mise en œuvre. Pour cela, on se propose : de faire une description sommaire du projet et du coffrage qui a été conçu à cet effet. De vous présenter les principes qui nous ont guidé dans les formulations du béton ou mortier de terre et les résultats d'essais qui nous ont permis de sélectionner les matériaux constitutifs des murs.

Et pour terminer, nous décrivons brièvement la façon dont le prototype a été construit et présenterons l'état des murs neuf ans après sa construction.



**Figure 1** : Principe de mise en œuvre des murs en pisé (technique classique)

## 2. Description du projet

La maison à construire, est un studio [4,5] d'une surface de 10m<sup>2</sup> qui comprend : une chambre et un petit magasin. Les plans d'architecture de la maison témoin (ou du prototype) sont donnés par les **Figures 2 et 3**. Le site utilisé pour sa construction se trouve à l'intérieur du campus de l'École Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé.

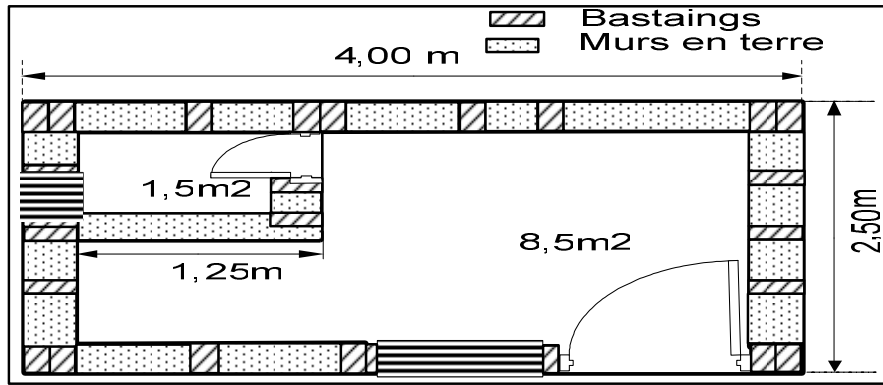


Figure 2 : Vue en plan de la maison témoin (ou du prototype) à construire

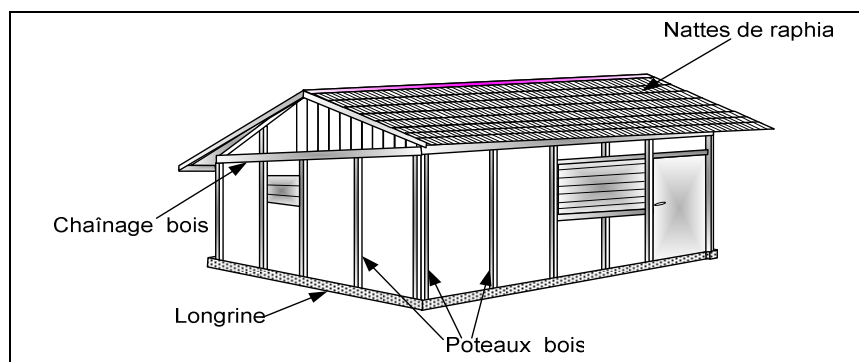


Figure 3 : Vue en perspective de la maison à construire

### 2-1. Fondations

Les fondations sont construites à partir de l'implantation qui a été réalisée sur le terrain terrassé. Elles sont constituées : d'une maçonnerie hourdée, d'une longrine en béton armé hydrofugé et d'un dallage en béton de 6 cm d'épaisseur qui repose sur un dispositif anticapillaire posé sur le remblai compacté.

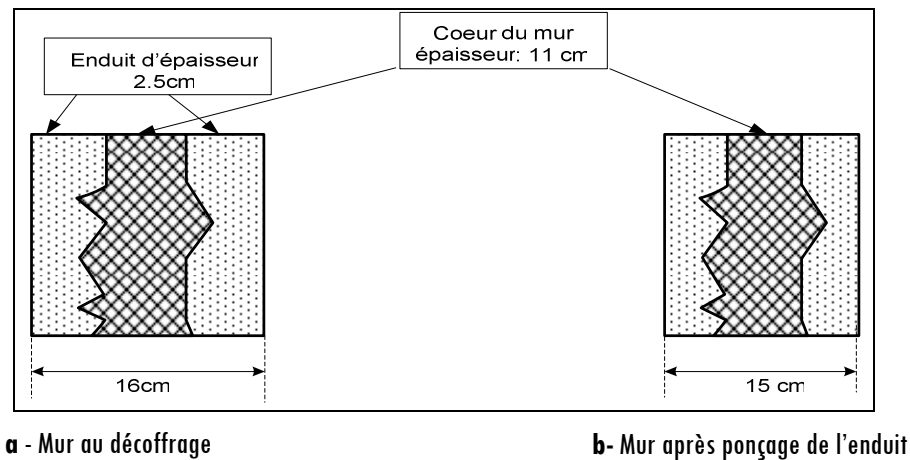
### 2-2. Structure porteuse

La structure porteuse est constituée : des poteaux en bois de section égale à  $5 \times 15 \text{ cm}^2$  scellés à la base du dallage par des longrines en béton armé hydrofugé. Espacés de 60cm environ, ils sont munis de deux tasseaux verticaux en bois dont la section est de  $4 \times 4 \text{ cm}^2$ . Ces poteaux sont chaînés à deux niveaux : à la base sur le dallage par une longrine en béton armé et en partie supérieure, à une hauteur de 2m50 au-dessus du niveau du dallage par des bastaings de section égale à  $5 \times 15 \text{ cm}^2$ . C'est le bois de bubinga (bastaings, poteaux, tasseaux) qui a été utilisé pour la construction de la structure porteuse.

### 2-3. Murs

L'innovation réside dans le fait que la mise en place de l'ensemble des murs qui sont non porteurs et de l'enduit se fait simultanément en utilisant la technique du pisé modifiée. L'enduit qui se trouve sur les deux faces du mur présente une surépaisseur de 5 mm qui sera par la suite enlevée par un ponçage. Au

décoffrage, l'épaisseur brute du mur avec l'enduit est de 16cm et après ponçage de celui-ci, elle sera réduite à 15cm (**Figure 4**).



**Figure 4 : Épaisseur du mur au décoffrage et après ponçage**

#### 2-4. Charpente et couverture :

La charpente est en bois et la couverture constituée par des contre-plaqués traités contre l'humidité, au-dessus desquels des nattes de raphia ont été fixées. Les travaux de construction de la charpente et de la couverture n'interviennent qu'après la mise en œuvre de l'ensemble des murs de la maison. Le ponçage de l'enduit en place ne se faisant qu'à la fin des travaux.

### 3. Conception du coffrage et mise en œuvre des murs

La mise en œuvre des murs par la technique du pisé; exige l'utilisation d'un coffrage principal dont le principe de fonctionnement ressemble à celui d'un coffrage grim pant. Le coffrage principal (**Figure 5**) est constitué de deux éléments :

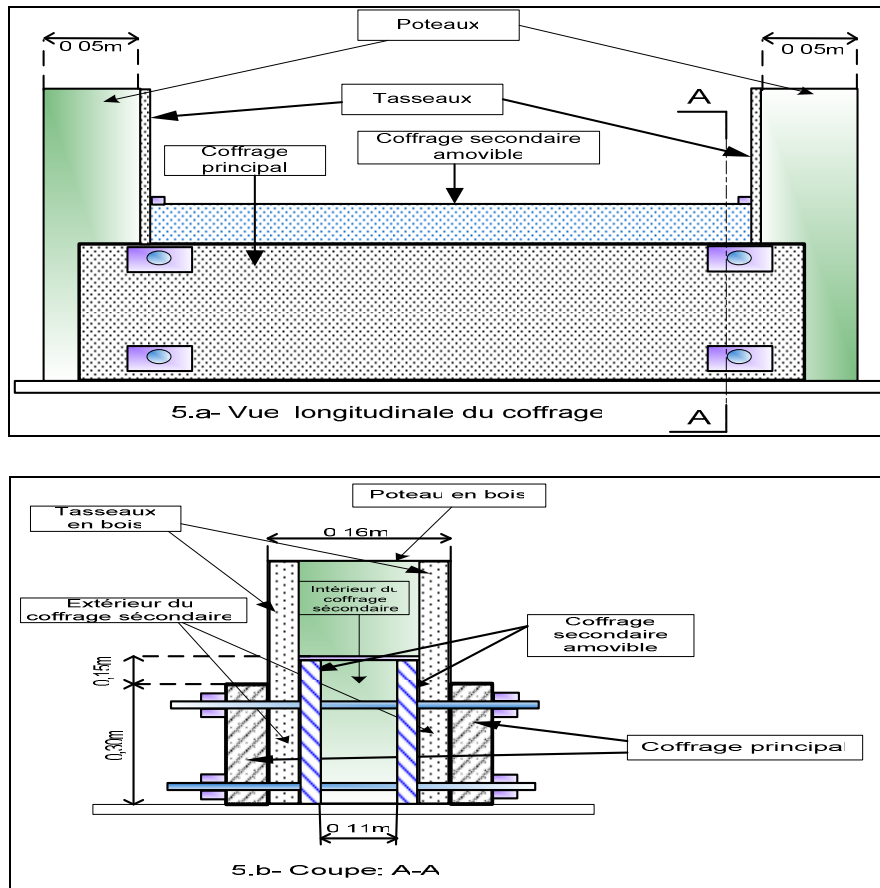
- la peau de coffrage ; réalisée à l'aide de deux planches ou banches en bois soigneusement rabotées dont la section est de  $3 \times 30 \text{ cm}^2$ . L'espace libre laissé par les deux planches du coffrage principal étant de 16 cm.
- Le dispositif qui maintient le coffrage principal en place est constitué des tiges filetées en acier inoxydable de 1,5 cm de diamètre.

Les banches en bois sont fixées à la structure (ou murs sous jacent) grâce à un système d'écrous-tiges filetées.

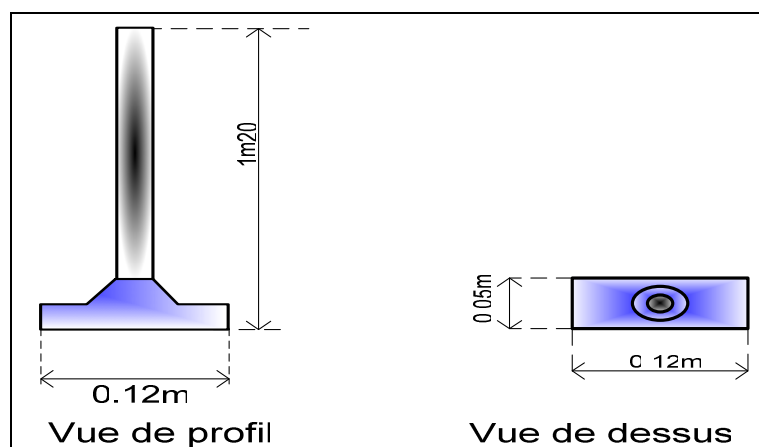
Les joues du coffrage secondaire, sont constituées par deux plaques en acier inoxydable d'épaisseur  $7/10^{\text{ème}}$  de mm ; maintenues par deux raidisseurs fixés sur leurs parties supérieures. Mis à l'intérieur du coffrage principal, le coffrage secondaire divise celui-ci en trois parties (c'est la principale innovation) :

- La partie intérieure du coffrage secondaire matérialise le volume à l'intérieur duquel on introduira le béton de terre qui constituera le cœur du mur (d'épaisseur 11 cm).
- Les parties extérieures de ce coffrage secondaire matérialise les deux volumes à l'intérieur desquels on introduira le mortier de terre qui jouera le rôle de l'enduit (l'épaisseur avant ponçage de chaque enduit étant de 2,5 cm).

- Pour éviter des problèmes liés au décompactage des murs sous jacents, il a été décidé que; pendant le compactage des couches du dernier coffrage, les coffrages des 60 cm du mur sous jacent devront rester en place. Le compactage du matériau s'est fait à l'aide deux dames manuelles. Le poids de chaque dame étant de 5 kg (*Figure 6*).



**Figure 5 :** Principe du coffrage pour la mise en œuvre simultanée du mur et de l'enduit



**Figure 6 :** Dame métallique de 5 kg utilisée pour le compactage du sol

### 3-1. Mise en œuvre des murs

La mise en œuvre d'un mur (*Figure 7*) se fait par déplacement vertical des banches. Le compactage des matériaux à proximité des poteaux ou en dessous des tiges filetées doit se faire avec soin afin d'éviter de les heurter. Les parties du mur où le coffrage est enlevé sont recouvertes par un film de polyane et humidifié de temps en temps afin d'éviter leur dessiccation.

Pour accélérer la vitesse de mise en œuvre, nous avons utilisé les coffrages permettant de compacter le matériau sur la longueur totale des murs : des façades, des pignons ou des refends.

L'exécution des murs s'est fait en au moins 13 phases :

- *Phase 1.* Mise en place du premier coffrage principal et stabilisation de celui-ci.
- *Phase 2.* Le coffrage secondaire est posé à l'intérieur du coffrage principal.
- *Phase 3.* Remplissage, enlèvement du coffrage secondaire et compactage des matériaux. Le remplissage d'un coffrage et son compactage se fait en trois couches. Pour chaque couche on procède de la manière suivante : le matériau constitutif du cœur du mur est mis à l'intérieur du coffrage secondaire. Le matériau constitutif de la couche d'enduit est mis à l'extérieur du coffrage secondaire qui se trouve à l'intérieur du coffrage principal. Le coffrage secondaire est enlevé. A l'aide d'une dame manuelle on compacte les matériaux qui se trouvent à l'intérieur du coffrage principal. La première couche étant compactée, On introduit à nouveau le coffrage secondaire afin de procéder à la mise en place de la couche suivante et l'on recommence la procédure précédente jusqu'à la mise en place de l'ensemble des trois couches.
- *Phase 4.* Mise en place du deuxième coffrage principal au-dessus du premier et stabilisation de celui-ci.
- *Phase 5.* Le coffrage secondaire est posé à l'intérieur du deuxième coffrage principal.
- *Phase 6.* Remplissage, enlèvement du coffrage secondaire et compactage des matériaux dans le deuxième coffrage.
- *Phase 7.* Mise en place du troisième coffrage principal au-dessus du second et stabilisation de celui-ci.
- *Phase 8.* Le coffrage secondaire est posé à l'intérieur du troisième coffrage principal.
- *Phase 9.* Remplissage, enlèvement du coffrage secondaire et compactage des matériaux dans le troisième coffrage.
- *Phase 10.* En comptant à partir du haut ; enlever le dernier coffrage principal (qui correspond au coffrage principal de la Phase 1). L'installer sur le dernier coffrage de la Phase 7 et le stabiliser. Les 60 cm du mur qui se trouvent en dessous du coffrage principal mis en place restent alors sous coffrage.
- *Phase 11.* Le coffrage secondaire est posé à l'intérieur du quatrième coffrage principal.
- *Phase 12.* Remplissage puis compactage du sol à l'intérieur du quatrième coffrage principal.
- *Phase 13.* Si la hauteur finale du mur n'est pas atteinte, recommencer la procédure à la Phase 10. Dans le cas contraire, toute une partie du mur est finie ; on enlève l'ensemble des coffrages et l'on recommence la procédure à la Phase 1, jusqu'à ce que l'ensemble des murs du prototype soit en place.
- *Phase 14.* Démarrage des travaux d'exécution de la charpente et de la couverture.
- *Phase 15.* Après la mise en place de la couverture, les travaux de ponçage des murs peuvent démarrer.

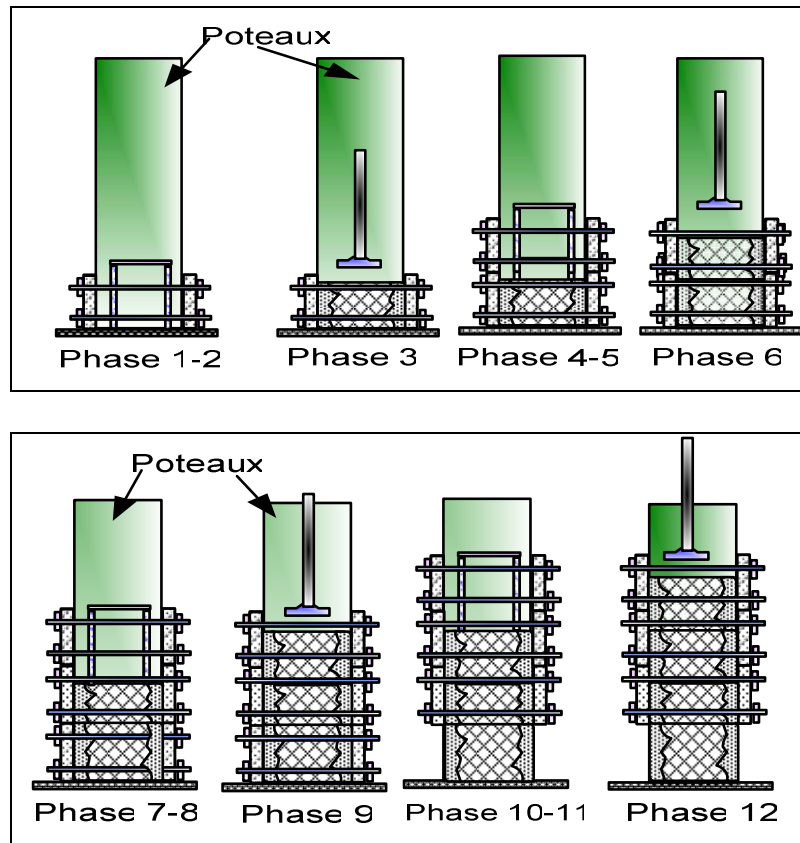


Figure 7 : Différentes phases de construction d'un mur

### 3-2. Formulation du béton et mortier de terre

#### 3-2-1. Principes à respecter

La démarche que nous avons adoptée pour la formulation du béton de terre pour le cœur du mur et du mortier de terre pour l'enduit s'est faite dans le respect scrupuleux des règles ci après :

- La courbe granulométrique [3] des matériaux utilisés ne doit pas être en dehors du fuseau des matières premières utilisables pour la construction des murs par la technique du pisé (**Figure 9**).
- En plus du critère précédent, nous devons veiller à ce que la quantité d'argile contenue dans la terre soit la plus faible possible afin de minimiser les retraits, mais suffisante pour donner de la cohésion au sol compacté (cette teneur en argile doit être déterminée par les essais de retrait linéaire).
- Les teneurs en eau du béton et mortier de terre doivent être faibles afin de minimiser les retraits superflus dus à l'excès d'eau introduite dans la terre et suffisante pour faciliter leur mise en œuvre (leur valeurs sont déterminées par les essais de retrait linéaire).
- Les dimensions maximales  $d_{max}$  des grains constitutifs des matières premières utilisées pour la mise en œuvre des murs et de l'enduit doivent être compatibles avec leurs épaisseurs [6]. Pour le béton de terre on doit avoir :  $d_{max} \leq 2cm$  et pour l'enduit  $d_{max} \leq 2mm$ .
- Les valeurs du retrait linéaire au séchage des matériaux utilisés doivent être inférieures à 1 % [3].
- Les règles citées plus haut, nous obligent à connaître : la granulométrie, la plasticité et les courbes de retrait linéaire en fonction des teneurs en eau et en argile des sols des sites potentiellement utilisables.

### 3-2-2. Matériaux et essais réalisés

#### 3-2-2-1. Matériaux

Comme matériaux, nous avons utilisé les sols et le ciment comme liant.

#### Le Liant

Le liant que nous avons utilisé pour la stabilisation des sols ; est un ciment CPJ35, fabriqué par la société camerounaise CIMENCAM dont les caractéristiques moyennes sont résumées par le **Tableau 1**. L'intérêt pour lequel nous l'avons choisi, réside sur le fait que ce stabilisant augmente la résistance à la compression et diminue le retrait [1,3] des sols traités.

**Tableau 1 : Caractéristiques du ciment utilisé**

Liant et fabricant	Temps de prise	Surface spécifique	Classe
Ciment CIMENCAM	3 heures	2800 $cm^2/g$	CPJ35

#### Les sols

Les sols étudiés (**Tableau 2**) sont des latérites qui proviennent de deux carrières et d'un dépôt situés à proximité du site qui doit accueillir le prototype. Les sols S1 et S3 ont été prélevés dans les carrières qui se trouvent à 15m et 20m du site. Le sol S2 provient d'un dépôt situé à une vingtaine de mètre du même site. Le sable Sanaga qui sera éventuellement utilisé pour corriger la granulométrie des matières premières a été acheté dans un dépôt de la ville de Yaoundé. Il est extrait du fleuve Sanaga.

**Tableau 2 : Échantillons de sol**

Échantillons	Origine	Couleur
S1	Carrière	Rouge
S2	Dépôts	Rouge clair
S3	Carrière	Rouge
Sable	Sanaga	Rougeâtre

#### 3-2-2-2. Essais réalisés

Sur l'ensemble des sols (S1, S2, S3 et le sable Sanaga) nous avons réalisé les essais granulométriques conformément aux procédures préconisées par la norme ASTM D 422-63 [7].

Les essais de plasticité effectués sur les sols S1, S2 et S3 ont été réalisés conformément à la procédure préconisée par la norme ASTM D4318 [8].

En ce qui concerne les essais de retrait linéaire effectués sur les sols S1, S2, S3 ; nous avons utilisé la procédure qui est décrite au paragraphe ci-après.

#### 3-2-2-3. Essais de retrait linéaire (**Figure 8**)

Un sol sec préalablement séché à l'étuve est mélangé avec un poids déterminé d'eau. Lorsque le mélange sol-eau est homogène, on l'introduit manuellement à l'intérieur d'un moule en bois de forme



parallélépipédique préalablement graissé dont le volume utile est de 44 x 4 x 2 cm<sup>3</sup>. Le moule contenant la terre humide est séché à l'air libre, au laboratoire, pendant sept jours (car au delà de ce délai, nous avons constaté que la valeur des retraits linéaires restent constantes). Après ce délai de séchage, on procède à la mesure du retrait linéaire (dans le sens longitudinal) en prenant soin de pousser à l'une des extrémités du moule, la masse de terre sèche et durcie.

Le retrait linéaire  $R_L$  ainsi mesuré est très pessimiste ; parce que la terre mise à l'intérieur du moule n'est pas compactée, et sa valeur est donnée par la relation (1):

$$R_L = \frac{44 - L_1}{44} \times 100 \quad (1)$$

où  $L_1$  est la longueur finale de la brique de terre séchée en cm.

En faisant varier les quantités d'eau ou d'argile du mélange, on obtient pour un sol donné ; les courbes de retrait linéaire en fonction de sa teneur en eau ou en argile.

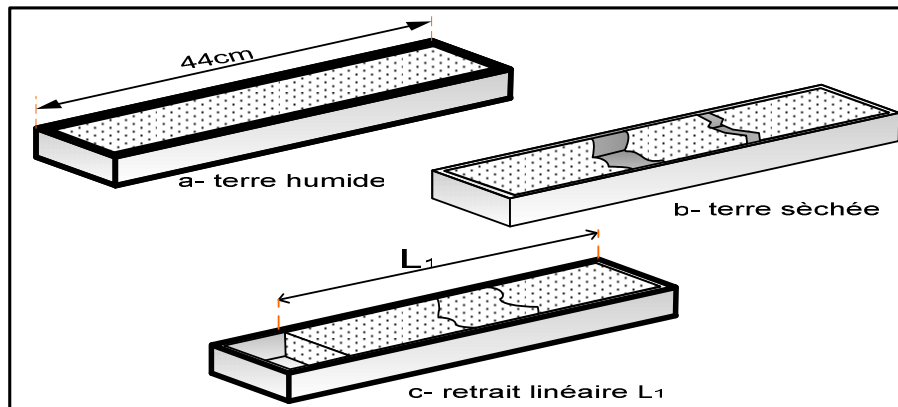


Figure 8 : Mesure du retrait linéaire d'un sol

## 4. Résultats des essais

### 4-1. Matériaux destinés pour le cœur du mur

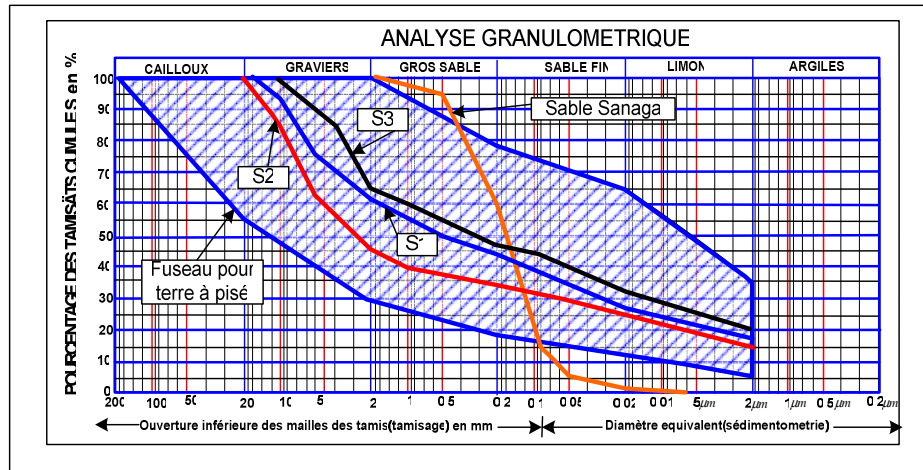
Les résultats des essais d'analyses granulométriques et de plasticité réalisés sur ces échantillons et qui sont résumés par la **Figure 9** et le **Tableau 3** montrent que : les sols S1, S2 et S3 sont des graves latéritiques plus ou moins argileuses et leurs courbes granulométriques se trouvent à l'intérieur du fuseau pour matières premières, destinées à la construction des murs en pisé [6].

Tableau 3 : Limites de plasticité des sols S1, S2 et S3

Échantillons	LP (Limite de plasticité en %)	LL (Limite de Liquidité en %)	IP (Indice de plasticité en %)
S1	36,00	61,00	25,00
S2	25,46	43,20	20,74
S3	30,95	47,57	16,62

L'étude du retrait linéaire au séchage en fonction de la teneur en eau initiale (**Figure 9**) nous indique que :

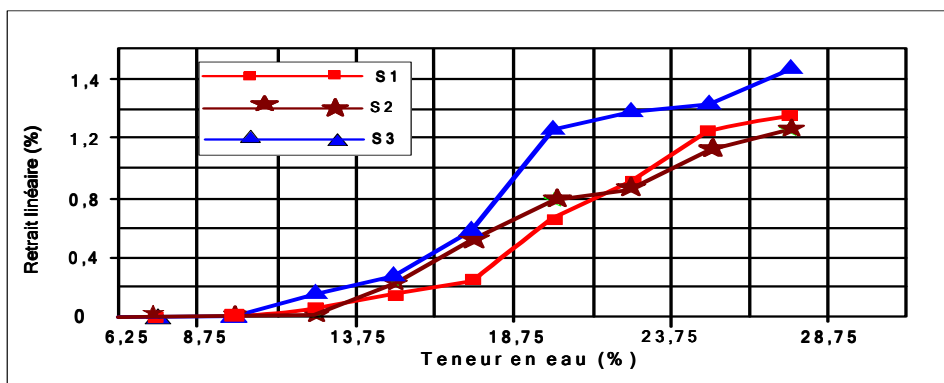
- les retraits dus au séchage augmentent quand la teneur en eau croît.
- Les retraits nuls sont obtenus pour des teneurs en eau inférieures à 10,5 % (resp. 12,50 %) pour les sols S1 et S3 (resp. S2).
- Lorsque ces retraits existent ; les valeurs les plus élevées sont obtenues avec les échantillons de sol S3 et ce pour toutes les teneurs en eau supérieures à 10,0 %. Pour des teneurs en eau comprises entre 12,0 % et 16,0 % qui correspondent aux quantités d'eau utilisées pour la mise en œuvre des murs en pisé, nous constatons que les retraits linéaires les plus faibles sont donnés par les échantillons provenant du sol S1.



**Figure 9 :** Courbes granulométriques du Sable Sanaga et des sols S1, S2 et S3

#### 4-2. Choix du matériau pour le cœur du mur

Dans le cadre du projet de construction de la maison témoin, les matériaux viendront exclusivement donc du sol S1. Car les matériaux constitutifs de ce sol ont la courbe granulométrique la plus régulière et du fait que celle-ci soit étalée, il faut s'attendre à obtenir des densités sèches élevées après compactage [6]. De plus le critère le plus important est que ; pour des teneurs en eau de mise en œuvre comprises entre 12,0 % et 16,0 %, ces matériaux donnent les retraits linéaires (**Figure 10**) les plus faibles (inférieurs à 0,2 %).



**Figure 10 :** Courbes de retrait en fonction de la teneur en eau

### 4-3. Matériau destiné pour l'enduit

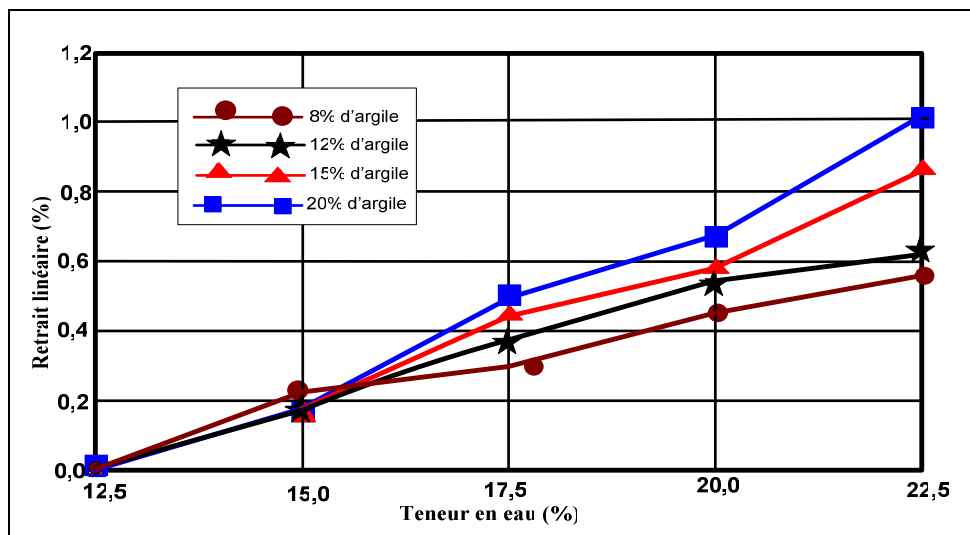
En construction en terre, la règle selon laquelle le matériau constitutif de l'enduit doit avoir la même origine minéralogique que celui employé dans la mise en œuvre des murs (béton de terre) [3] ; nous impose d'utiliser comme matériau de base pour l'enduit le sol S1 écrêté au tamis de 2 mm.

Afin d'examiner la compatibilité des retraits entre l'enduit et le mur en béton de terre ; nous avons étudié les variations des retraits linéaires des enduits fabriqués en fonction des teneurs en eau et en argile. Les enduits sont obtenus en mélangeant le sol S1 écrêté avec du sable Sanaga (*Tableau 4*). La variation de la proportion du sable dans le mélange ayant comme conséquence la variation de la teneur en argile de l'enduit.

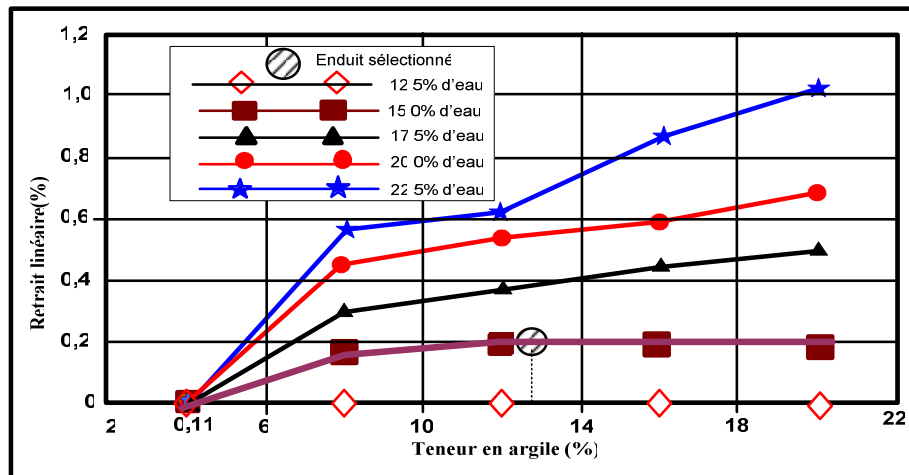
**Tableau 4 : Composition des enduits testés**

Enduits	Pourcentage de sol S1 écrêté à 2 mm	Pourcentage de Sable Sanaga
Enduit1 (8 % d'argile)	25,0	75,0
Enduit2 (12 % d'argile)	37,5	62,5
Enduit3 (15 % d'argile)	46,9	53,1
Enduit4 (20 % d'argile)	62,5	37,5

Les teneurs en argile des enduits étudiés sont respectivement de : 8 %, 12 %, 15 % et 20 % pour des valeurs des teneurs en eau de : 12,5 %, 15 %, 17,5 %, 20 % et 22,5 %. Les résultats des essais de retrait linéaire qui ont été obtenus sont résumés par les *Figures 11 et 12*.



**Figure 11 : Courbe retrait linéaire en fonction de la teneur en eau et pour différentes valeurs de teneur en argile contenue dans un mortier de terre**



**Figure 12 :** Courbes retrait linéaire en fonction de la teneur en argile et pour différentes valeurs de teneur en eau contenue dans un mortier de terre.

L'examen attentif de ces résultats montrent que :

- Dans l'ensemble ; le retrait linéaire augmente quand les teneurs en eau et en argile croissent et que globalement, il existe une teneur en eau (qui est de 12,5 %) en dessous de laquelle le retrait est nul et ce, quelle que soit la valeur de la teneur en argile.
- Il existe également une valeur de teneur en argile (0,11 %) en dessous de laquelle le retrait linéaire est nul quelle que soit la valeur de la teneur en eau.

En tenant compte du fait que l'enduit et le béton de terre mis en œuvre ont une teneur en eau comprise entre 12 % - 16 % et doivent avoir la même valeur de retrait linéaire (0,2 %), en utilisant les résultats donnés par la **Figure 9**, nous en déduisons que la teneur en argile de l'enduit à utiliser doit être de 12,8 % ; ce qui correspond à un mortier de terre de formule pondérale : 0,40 S1 (écrêté à 2 mm) + 0,60 Sable Sanaga.

## 5. Construction du prototype

La construction de la maison témoin (ou du prototype) a débuté par la mise en place de la structure porteuse (fondation en béton armé, poteaux en bastinges, longrines en béton armé, dallage en béton et chaînage haut en bois). Pour la mise en œuvre des murs, nous avons décidé afin d'augmenter la résistance des matériaux précédemment sélectionnés (béton de terre, enduit) de les mélanger avec 10 % de teneur en ciment. La teneur en eau utilisée a été fixée à 15 %.

Peu de temps avant l'exécution des travaux de construction des murs par la technique du pisé ; nous avons été confrontés aux difficultés suivantes :

- il fallait connaître la teneur en eau initiale des sols utilisés à tout moment.
- Les deux manœuvres sélectionnés pour la mise en œuvre des murs en pisé n'étaient pas au courant de la technique utilisée.
- Nous avons cerné les difficultés auxquelles ont pu être confrontés pour le compactage des couches de sol lorsque le niveau supérieur des murs dépasse la hauteur de 1,00 m.

Nous avons levé la première difficulté en stockant la terre en plusieurs tas correspondant chacun à une journée de travail. 24 heures avant l'utilisation d'un tas, nous y prélevons des échantillons de sol

représentatif pour la mesure de la teneur en eau qui était communiquée aux ouvriers quelques heures avant le début des travaux. Immédiatement après le prélèvement des échantillons de sol sur le tas, des dispositions pour empêcher la variation de son état hydrique étaient immédiatement prises.

La deuxième et troisième difficulté ont été successivement levées par une séance de formation d'une durée de 2 heures avant le début des travaux et par l'utilisation de deux échelles qui nous permis d'éviter la construction d'échafaudages coûteux (**Figure 13**).

L'ensemble des murs du prototype a été réalisé en 18 heures de travaux. La mise en place de la charpente et de la couverture n'ayant posé aucune difficulté. 21 jours après la mise en œuvre des murs (ce délai d'attente est justifié par le fait que les matériaux constitutifs du cœur du mur et de l'enduit ont été stabilisés au ciment), nous avons procédé au ponçage de l'enduit et à la mise en place des battants, des portes et des persiennes des fenêtres.

En définitive, une fois les travaux de construction du prototype terminés, nous avons été surpris par l'esthétique de ses murs (**Figure 14**). Après 9 années d'observations (**Figures 15 et 16**); nous avons constaté l'absence des pathologies sur les murs qui ont gardé leurs aspects d'origines.



**Figure 13 :** *Mise en œuvre des murs et leur protection*



**Figure 14 :** *Le prototype quelques jours après sa construction*



**Figure 15 :** *Le prototype 9 ans après*



**Figure 16 :** *Détails des murs à l'intérieur du prototype 9 ans après*

## 6. Conclusion

En définitive, nous venons de montrer que la technique du pisé peut être utilisée : pour la mise en œuvre des murs moins épais (jusqu'à 16cm d'épaisseur), à condition qu'ils soient non porteurs et pour la mise en œuvre simultanée des murs avec leur enduit. De plus, les procédures indiquées dans cet article ; peuvent être utilisées par d'autres ingénieurs ou chercheurs, pour la formulation des bétons ou mortiers de terre mise en œuvre selon la technique du pisé.

Lors de la mise en œuvre des murs, nous avons utilisé un équipement rudimentaire qui peut être à la portée de toutes les bourses. De plus nous pensons que cette technique de construction des murs mérite d'être vulgarisée dans les pays subsahariens qui sont souvent confrontés à des sérieux problèmes de logement. Lorsque la sélection des matières premières est rigoureusement faite, la technique de construction des murs en pisé permet de réaliser des gains à plusieurs niveaux :

- On élève directement les murs avec des matériaux humides ; on ne perd pas de temps pour le séchage où le stockage des produits comme dans le cas des : agglomérés de ciment ou blocs de terre.
- Le temps de construction d'un bâtiment peut être sensiblement réduit.
- Le confort et l'aspect esthétique des bâtiments construits avec cette technique sont au moins équivalents à celles des maisons en agglomérés de ciment.

## Références

- [1] - H. HOUGBEN et H. GUILLAUD, « Traité de construction en terre, » Édition Parenthèses Paris (1989).
- [2] - DOAT P., HAYS A., HOUGBEN H. MATUK S. VITOUX F., « Construire en terre », Paris éditions alternatives (1985).
- [3] - M. MAMBA, « Cours de construction en Terre », École Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, (1995).
- [4] - I. TSOMGME, « Maison terre bois à structure améliorée, construction d'un prototype et étude du confort thermique ». Mémoire de fin d'études d'Ingénieur, École Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé. (1999).
- [5] - R. NZENGWA et M. MAMBA, « Habitât terre bois ». Séminaire sur les matériaux SEMAT 2004 du 22 au 25 juillet (2004) à Douala.
- [6] - M. MAMBA, « Quelques propriétés des latérites du Cameroun et critères à appliquer aux matières premières pour la fabrication des blocs de terre ». *Journal of Cameroun building materials*, ISSN 1027-7781 V1 N°2 (1997) p19-23.
- [7] - D. ASTM « Standard Test Method for Particles Size Analysis of soils». Vol. 04(08) (2002) 422-463.
- [8] - D. ASTM « Standard Test Method for liquid Limit Plastic limit and Plasticity Index of Soils». Vol. 04(08), American Society for testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, PA 19428 USA (2006) 4318-05.