

PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE  
SUR LA CONNAISSANCE ET LA CONSERVATION DES MATERIAUX DU PATRIMOINE CULTUREL  
(PNRCC)

Appel à projets de recherche 2011

Ministère de la Culture et de la Communication



**PaTerre+**

Interactions argiles/biopolymères :  
Patrimoine architectural en Terre et stabilisants naturels d'origine animale et végétale  
09/2011-09/2013

---

**Groupe de travail 1**

**Recettes traditionnelles  
&  
Classification  
des stabilisants d'origine animale ou végétale**

---

Avril 2012



Aurélié Vissac, Laetitia Fontaine, Romain Anger  
Laboratoire CRAterre-ENSAG  
60, avenue de Constantine - BP2636  
38036 Grenoble Cedex 2

Le projet **Interactions argiles/biopolymères : Patrimoine architectural en Terre et stabilisants naturels d'origine animale et végétale (PaTerre+)** est financé par le Ministère de la Culture et de la Communication (MCC) dans le cadre de l'appel à projets de recherche 2011 du PNRCC (Programme National de Recherche sur la Connaissance et la Conservation des Matériaux du Patrimoine Culturel).

Ce projet, initié en septembre 2011 et qui se poursuivra jusqu'en septembre 2013, rassemble 3 partenaires de recherche :

- CRATERRE-ENSAG
- l'unité de recherche AE&CC de l'ENSA Grenoble
- le laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH)

Le présent document correspond au rapport du groupe de travail 1, intitulé « Recettes traditionnelles & Classification des stabilisants d'origine animale ou végétale ». Ce groupe de travail est piloté par AE&CC, avec la participation de CRATERRE-ENSAG.

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Polysaccharides</b>	<b>2</b>
<b>Cellulose et lignine</b>	
Bouse de vache et crottin	3
Balle de riz	6
Autres fibres fermentées	9
Papier washi	10
Méthylcellulose	11
Terre de termitière	12
<b>Jus végétaux gélatineux</b>	
Tiges et feuilles de bananier	13
Eau gluante	14
Cactus	16
Agave	18
Aloe Vera	18
Algue	19
<b>Amidon</b>	
Farine de blé	21
Fécule de pomme de terre	22
Riz gluant	23
Résidus de distillation de manioc et de maïs fermentés	23
<b>Gommes naturelles</b>	
Gomme arabique	24
Gomme de guar	25
Gomme xanthane	25
<b>Lipides</b>	<b>26</b>
<b>Huiles et graisses</b>	
Huile de lin	26
Beurre de karité	27
Huile de kapok	29
Huile de poisson	30
Huile de raisins sauvages	30
Graisses animales	31
<b>Cires</b>	
Cire de carnauba	32
<b>Protéines</b>	<b>33</b>
<b>Protéines globulaires</b>	
Caséine	33
Albumine	35
<b>Protéines fibreuses</b>	
Collagène	36
<b>Autres Molécules</b>	<b>37</b>
<b>Tanins</b>	
Décoction de cosses de néré	37
Gousses d'Acacia	39
<b>Résines</b>	
Dammar	41
Latex	41
<b>Conclusion</b>	<b>42</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>43</b>
<b>Annexe</b>	<b>49</b>

## INTRODUCTION

Il existe une multitude de recettes traditionnelles utilisant des composés organiques naturels pour stabiliser la terre crue comme matériau de construction. Ces ingrédients très divers, parfois semblables d'un continent à l'autre, d'origine animale ou végétale, apportent à la terre une meilleure résistance à la fissuration lors du séchage, une meilleure résistance à l'eau de pluie ou à l'érosion, une meilleure résistance mécanique, ou encore ils peuvent en faciliter l'application, par une texture plus souple ou une meilleure capacité d'adhésion.

Ce sont ces biopolymères, issus du vivant, qui font l'objet de ce cahier de recettes. Afin de mieux comprendre, dans une prochaine étape, leur interaction avec la terre à l'échelle des particules, ils sont regroupés en quatre parties distinctes : les polysaccharides, les lipides, les protéines et enfin une catégorie comprenant d'autres molécules complexes.

Ce document n'aborde pas les enduits en terre stabilisés avec des grains (sables, graviers, etc.) ou des fibres (paille, chènevotte, etc.) macroscopiques. Ces apports sont connus pour réduire la fissuration au séchage et dans le cas des fibres, pour augmenter la résistance à la traction. Ils apportent donc une contribution à la résistance de l'enduit en terre à l'échelle du grain, c'est-à-dire de l'ordre du millimètre ou du centimètre. Cependant, ils n'interagissent pas directement avec les plaquettes d'argile, à l'échelle microscopique.

Les substances organiques décrites dans ce rapport libèrent des molécules qui, elles, interagissent avec les argiles.

**En d'autres termes, seront recensées dans le présent document, les différentes préparations qui sont à l'origine d'interactions supposées ou vérifiées entre des biopolymères et les feuilletts d'argile, à une échelle invisible à nos yeux.**

Le rapport est structuré de la manière suivante :

### Le cahier de recette :

- les recettes, numérotées de 1 à 29, sont visibles dans des encadrés de couleur verte
- des explications sur les matières premières employés, les polymères qui interagissent avec les argiles ou encore sur les techniques de préparation ou de mise en œuvre, sont mises en relief dans les paragraphes intitulés "matériaux", "molécules", "mise en œuvre" ou "technique"
  - les paroles d'artisans ou d'autres témoignages écrits et oraux et qui font souvent référence à des propriétés de la terre supposées mais non vérifiées par les auteurs de ce document sont retranscrits en italique, de même que les appellations locales
  - chaque groupe de recettes (classées par ingrédient principal) est complété par une sélection de quelques références bibliographiques.

Cette partie est suivie par une bibliographie globale qui recense, par ordre alphabétique, toutes les références qui abordent le sujet de la stabilisation traditionnelle de la terre par des composés organiques d'origine animale ou végétale, consultées lors de l'écriture de ce rapport.

Enfin, figure en annexe, un exemplaire du questionnaire à la base de l'enquête sur la stabilisation traditionnelle, menée dans le cadre de leur doctorat, par Laetitia Fontaine et Romain Anger.

## POLYSACCHARIDES

**[Molécules]** Les polysaccharides sont des glucides, de longues chaînes carbonées. Selon la structure des monomères qui les constituent, ces macromolécules ont des propriétés bien distinctes. Les principaux polysaccharides sont des molécules de structure, comme la cellulose (végétaux) et la chitine (principal composant de l'exosquelette des insectes ou d'autres arthropodes) ou stockant de l'énergie comme l'amidon (végétaux) et le glycogène (animaux).

### CELLULOSE ET LIGNINE

**[Molécules]** La cellulose et la lignine sont les principaux composants du bois. Elles représentent à elles deux plus de 70% de la biomasse. La **cellulose**, la **matière organique la plus abondante** sur terre, est une **macromolécule en forme de fibre**, une longue chaîne dont les maillons sont des sucres.

La **lignine** est un biopolymère formant un **réseau tridimensionnel** complexe qui n'appartient pas à la famille des polysaccharides. Etant fabriquée par la grande majorité des plantes, la lignine est décrite ici, car elle va de paire avec la cellulose. Quantitativement, la lignine est très présente dans le bois, lui apportant sa **rigidité**. Elle l'est déjà moins dans les tiges de plantes et moins encore dans les feuilles.

Les fibres végétales interagissent avec les argiles - à l'échelle microscopique - à partir du moment où elles entrent en **décomposition**. Un moyen simple d'obtenir des fibres décomposées est la **fermentation**. Des végétaux sont enfermés dans un milieu chaud et humide où ils macèrent pendant au moins plusieurs jours. Une autre façon consiste à utiliser les **excréments** de certains animaux. En effet, les mammifères **ruminants** - contrairement à ceux qui ne possèdent qu'un seul estomac (chien, cochon, homme !) - **digèrent la cellulose** grâce à des micro-organismes présents dans leur panse : c'est leur principale source de nutriments. En revanche, la **lignine n'est pas décomposée** ; elle est alors rejetée dans leurs excréments.

**Les processus de fermentation ou de digestion sont longs et dépendent des conditions de température et d'humidité. C'est pourquoi ils ne sont généralement pas totalement achevés lorsque l'enduit est complètement sec, si bien qu'il reste encore des fibres dans la terre qui continuent de jouer un rôle d'armature.**

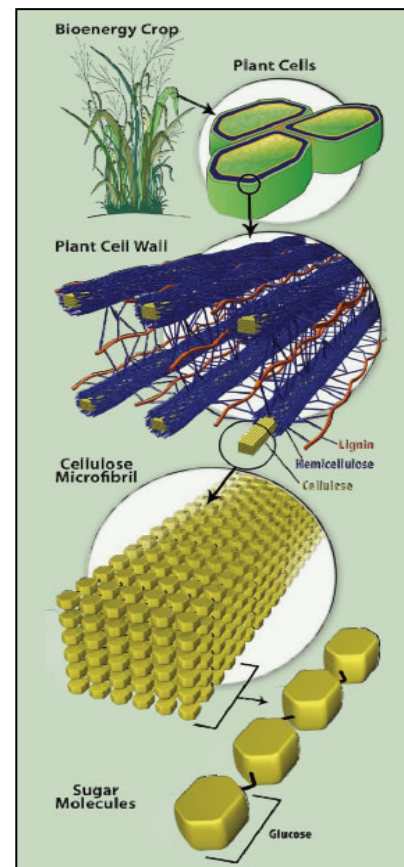


Schéma représentant la lignine (rouge) et la cellulose (jaune) d'une plante.  
[www.lbl.gov/Publications/YOS/Feb/](http://www.lbl.gov/Publications/YOS/Feb/)

**En résumé,** lorsque l'on utilise des fibres ayant fermenté comme stabilisants organiques, on retrouve dans la terre de la cellulose libre ainsi que des sucres issus de sa décomposition (échelle microscopique), de la lignine et des fibres encore intactes : fibres de cellulose liées par la lignine (échelle macroscopique).

### Bouse de vache et crottin

◆ Basile Kéré<sup>1</sup> décrit les différentes étapes de la préparation d'un **enduit en terre**, à base d'excréments d'animaux, communément utilisé au Burkina Faso. Selon lui, *la bouse de vache permettrait à l'enduit d'acquies sa dureté rapidement une fois mis en œuvre*. En outre, *elle limiterait les fissures de l'enduit et rendrait les argiles peu sensibles à l'absorption d'eau et donc au retrait et au gonflement*.



Bouse de vache [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cow\\_bouse\\_de\\_vache.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cow_bouse_de_vache.JPG)

#### RECETTE N° 1 : ENDUIT – BOUSE DE VACHE – BURKINA FASO

- Mettre de la bouse de vache à macérer dans l'eau pendant deux semaines.
- Concasser la terre, mélanger à de l'eau et pétrir jusqu'à ce qu'elle soit plastique comme pour de la bauge.
- Mélanger les deux préparations, pétrir et ajouter de l'eau.

**[Mise en œuvre]** Le support est aspergé d'eau, puis l'enduit est appliqué à la main et lissé sur une épaisseur qui peut aller jusqu'à 5 cm. En général, après une ou deux journées de séchage, une deuxième couche d'enduit est passée. On laisse sécher cette dernière couche d'enduit au moins 5h avant de lisser avec une pierre (qui permet de densifier l'enduit et de boucher les fissures de retrait dues au séchage). Après plusieurs jours de séchage, le mur est aspergé à l'aide d'un faisceau de paille fine trempé dans du jus de néré (cf. recette n°29).

◆ Au Cameroun, les Mousgoums construisent leurs cases aux formes à la fois étonnantes et monumentales avec des matériaux locaux, de la « brousse », façonnant les murs par couches successives. **La pâte est minutieusement préparée à partir d'un mélange de terre, contenant beaucoup d'argile, une herbe locale et de la bouse de vache ou du crottin de chèvre**. Lazare Eloundou et Haman Mohaman<sup>2</sup> témoignent des différentes étapes de l'édification des murs façonnés à la main.



Case Obus des Mousgoums.  
© Lazare Eloundou/CRAterre-ENSAG

#### RECETTE N°2 : BAUGE, CASE OBUS – BOUSE DE VACHE, HERBES – CAMEROUN

- Piocher la terre, répartir en plusieurs petits tas ; mouiller, puis malaxer pour avoir une consistance visqueuse.
- Mélanger à de la bouse de vache ou du crottin de chèvre.
- Couper l'herbe finement, la répartir sur le mélange de terre et d'excréments.
- Arroser l'ensemble et malaxer jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène.
- Laisser pourrir pendant sept à huit jours, en l'arrosant pour éviter qu'il ne sèche.

**[Matériaux]** Appelée *moumouss* par certains ou *sousouki* par d'autres, l'herbe particulière utilisée par les Mousgoums est fine, de petite taille et pousse naturellement dans cette région. Elle est reconnaissable par sa couleur rougeâtre en saison sèche.

<sup>1</sup> Kéré, B., 1995. Architecture et cultures constructives du Burkina Faso. Ed. CRAterre-ENSAG.

<sup>2</sup> Mohaman, H., Eloundou, L., 1996. "La case obus, témoignage d'une intelligence constructive". In : L'Anonyme Distingué, n°XV, p. 24-25. Ed. ENSAG.

**[Mise en œuvre]** Pendant la dernière étape de pétrissage, le mélange prend une couleur plus sombre. La pâte est ainsi homogénéisée jusqu'à ce qu'elle devienne noire et qu'une **forte odeur** s'en dégage : la **macération** est alors suffisante, le mélange prêt à être utilisé. Lazare Eloundou affirme que **s'il n'y a plus de brins d'herbe visibles dans la pâte**, on peut en déduire que cette dernière a été bien préparée. Les maçons peuvent alors commencer à empiler des boules de pâte, tout en les ajustant avec précision pour former les parois dont l'épaisseur varie d'une vingtaine de centimètres à la base pour n'être plus que de 5 à 8 cm au sommet. La construction de la case se fait par étapes : une seule assise est montée par jour ; elle doit sécher au moins pendant 24 h. Des mouleurs sont réalisées au fur et à mesure de manière à servir d'échafaudage pour la suite du chantier. L'inclinaison des parois s'accroît jusqu'à ce que le cercle qu'elles forment se referme.

**[Technique]** La **macération** est une opération qui consiste à laisser séjourner un solide dans un milieu humide pour en extraire les composés solubles.

Pour mieux les protéger des pluies, tous les deux ans, un enduit est appliqué sur les murs extérieurs. Cette couche protectrice est faite à partir de terre fine, de bouse de vache ou de crottin de chèvre ainsi que d'huile de poisson pour les parties les plus abîmées. L'intérieur des cases est décoré avec des enduits dont les couleurs sont obtenues avec des feuilles de Quinquéliba, de l'argile blanche, de la cendre ou encore des scories brûlées.

◆ Une autre technique utilise des excréments d'animaux : l'adobe. Omar<sup>3</sup>, chef d'équipe de Marcelo Cortes, témoigne de la méthode traditionnelle de fabrication des adobes au Pérou (au centre du pays, région littorale). Après avoir préparé le mélange de terre et excréments selon la recette n°3, les adobes, briques de terre crue, sont moulées.



Mur d'adobes  
© Aurélie Vissac/CRAterre-ENSAG

### RECETTE N°3 : ADOBE – CROTTIN DE CHEVAL ET D'ÂNE – PEROU

- Mélanger la terre prélevée sur les lieux à du crottin de cheval et d'âne additionné d'eau.
- Laisser reposer une nuit.
- Le lendemain, piétiner longuement ; puis retourner.
- Laisser reposer une nuit supplémentaire et répéter les mêmes gestes (piétiner et retourner).

*L'artisan insiste sur le fait que les temps d'attente sont très importants pour que les adobes acquièrent une bonne résistance.*

La bouse de vache mélangée à de la terre est également utilisée traditionnellement au Maroc dans la poterie. Bien que cet exemple sorte du thème de la construction en terre, ces réalisations sont moulées à la main, comme la bauge à une plus petite échelle.



Poterie traditionnelle du Maroc,  
tc.revues.org/240

<sup>3</sup> Omar. Recette du Pérou : à base de crottin de cheval et d'âne. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.



**Bibliographie – excréments d'animaux**

- Béton de terre | Recette dalle en terre, 2012. . URL <http://www.systemed.fr/forum-bricolage/b-t-111-n-terre-t39726.html> <consulté en 02/2012>
- Bouaré, N., 1983. Raw earth techniques (banco) used in Mali.
- Chamodot, M., Cloquet, B. Recettes du Mali. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.
- Collectif, 2010. Les enduits de façade : Chaux, plâtre, terre. Connaître, exécuter, restaurer. Eyrolles.
- Joffroy, T., 1997. Navrongo-Ghana conservation of the our lady of seven sorrows cathedral.
- Joffroy, T., 2005. Les pratiques de conservation traditionnelle en afrique.  
*p. 156*
- Joffroy, T., Taxil, G., Moriset, S., 2004. Conservation of "Our Lady of Seven Sorrows Cathedral", Navrongo, Ghana: final report 1996-2004. Navrongo Catholic Mission.  
*p. 69*
- Kéré, B., 1995. CRATERRE-ENSAG : Architecture et cultures constructives du Burkina Faso. Ed. CRATERRE-ENSAG-ENSAG.**  
*p. 34*
- Lefèbvre, M. Recette du Burkina Faso : à base de racine gluante, karité, bouse. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.
- Lefèbvre, M. Recette du Mali : à base de balle de riz. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.
- Manu, F.W., 2006. "The forgotten hands" - documentation of Ghanaian indigenous knowledge and skills in earth construction-case study of kogle, upper west region, ghana. Mémoire DPEA. CRATERRE-ENSAG.  
*p. 56-58*
- Merschmeyer, G., 1991. Recipes for the making of wall paint, wall plaster, non-cement concrete. Ed. MISEREOR.
- Minke, G., 2004. Das neue Lehm-Bau-Handbuch. Baustoffkunde. Konstruktionen. Lehmarchitektur, 6., verb. u. erw. A. ed. Ökobuch.
- Mohaman, H., Eloundou, L., 1996. La case obus, témoignage d'une intelligence constructive. Ed. ENSAG, L'Anonyme Distingué.**
- Moriset, S., 2009. Reconstruction of the Wa Naa Yiri, Ghana. Second mid-project. Ed. CRATERRE-ENSAG.
- Niazi, Z., 1992. Soil-based plasters. Low cost option for protection of earth walls. Development Alternatives 2.
- Omar. Recette du Pérou : à base de crottin de cheval et d'âne. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.**
- Schreckenbach, H., Abankwa, J.G.K., 1983. Construction technology for a tropical developing country. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit for the Dept. of Architecture, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana.  
*p. 27-28 ;30*
- Weismann, A., Bryce, K., 2008. Using Natural Finishes: Lime and Clay Based Plasters, Renders and Paints - A Step-by-step Guide, illustrated ed. Green Books.  
*p. 162*



## Balle de riz

**[Matériaux]** La balle de riz constitue l'enveloppe protectrice qui entoure les grains.

Au Mali, le riz est cultivé dans la plaine inondée du delta du Niger. De la balle de riz est utilisée dans les enduits pour protéger les constructions en terre. L'enduit extérieur traditionnel des architectures de terre de la région de Mopti est appelé *banco pourri*. Il est réalisé à partir de *banco noir* et de balle de riz décortiquée à la main.



Balle de riz provenant des rizières de Bargodaga, Nord de Mopti  
© Gisèle Taxil/CRAterre-ENSAG

◆ Lors de la rénovation de la Grande Mosquée de Mopti<sup>4</sup>, le *banco noir* utilisé est une **terre argileuse noire** qui provient d'une carrière proche de la ville ; il est extrait en surface à la main, puis avec des pioches plus en profondeur. Cette argile noire est extraite de la carrière à la saison sèche. Pendant la saison des pluies la carrière n'est pas exploitable : les eaux du fleuve montent et la recouvrent entièrement jusqu'à la fin du mois de février.



Grande Mosquée de Mopti © DR



Banco noir © Gisèle Taxil/CRAterre-ENSAG

La balle de riz décortiquée à la machine, qui se trouve communément à Mopti, *n'est pas appropriée à la préparation de cet enduit, car elle est trop fine, gonfle au contact de l'eau, rendant l'enduit trop fragile. La balle de riz recherchée est celle qui provient des villages où le décorticage du riz est encore manuel, pratiqué au pilon dans un mortier.*

**[Matériaux]** « Le *banco noir* [...] est composé essentiellement d'une argile très grasse, qui ne comprend ni sable, ni limon. Quasiment pure de toute saleté (sacs plastiques, déchets divers rejetés dans le fleuve), elle est fine, très collante et cohésive [...]. Cette argile est reconnue comme étant la moins sensible à l'eau [de la région], ce qui rend d'ailleurs la préparation de l'enduit laborieuse [...], elle opère un retrait en séchant (création de fissures) qu'il faut absolument maîtriser, car sans cela les qualités de cette terre deviennent un grave inconvénient. »<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Aga Khan Trust for Culture (AKTC), Ministère de la Culture du Mali, 2007. Grande Mosquée de Mopti. Ed. AKTC

**RECETTE 4 : ENDUIT – BALLE DE RIZ FERMENTEE – MALI**

La préparation de l'enduit de banco pourri nécessite **trois à quatre semaines** de temps de **macération**.

- Verser le banco noir dans des grands bassins.
- Briser les mottes de terre à la pioche, puis recouvrir totalement d'eau.
- Laisser reposer trois jours.
- Remuer et briser les mottes restantes, laisser reposer une nuit.
- Malaxer en piétinant, casser à la main les derniers agrégats ; le mélange obtenu doit avoir la consistance d'une boue liquide.
- Verser trois sacs de balle de riz tamisée à 2 mm par bassin.
- Pétrir à la main au moins une fois par semaine, jusqu'à ce la couleur vire au gris foncé.
- Ajouter régulièrement de l'eau pour compenser l'évaporation.

**[Technique]** La **fermentation** est le phénomène qui est à l'origine, en plus du changement de **couleur**, d'une **augmentation du volume** et d'une forte **odeur** de pourriture.

**[Mise en œuvre]** Le jour de l'application de l'enduit, environ cinq sacs de balle de riz sont ajoutés dans chaque bassin afin d'obtenir la consistance d'une boue très chargée en fibres. Jusqu'au dernier moment avant l'application, le mélange de banco pourri est pétri à la main pour que ne subsiste aucun agrégat d'argile ou de balle de riz.

La couche d'accroche, de 5 à 7 mm, est constituée d'un mélange de banco blanc (terre argileuse blanche amendée de sable pour les enduits intérieurs) et d'eau, de balle de riz grossière, de balle de riz décortiquée à la main. Cette mixture nécessite seulement trois ou quatre jours de préparation pour obtenir la consistance fine d'un mortier de terre. Elle permet de reprendre les irrégularités de la maçonnerie. Elle présente moins de retrait que le banco pourri, offrant ainsi une meilleure transition entre la maçonnerie et les couches d'enduit. Les deuxième et troisième couches en banco pourri sont appliquées en plus fine épaisseur, après le séchage complet de la couche sous-jacente.



Pétrissage du banco pourri, Mopti<sup>4</sup>

La balle de riz est mélangée au banco noir afin d'accroître sa résistance et d'en limiter le retrait. **Elle sert d'armature à l'enduit**. Selon les auteurs du rapport sur la Grande Mosquée de Mopti, **la macération de l'argile et de la balle de riz modifie certaines caractéristiques du mélange**. Pour les maçons, l'enduit aurait « moins de force », son **retrait serait moins important** et l'**adhésion au mur** de maçonnerie de terre en serait **améliorée**.

◆ Les excréments d'animaux étant *considérés comme impurs*, ils ne sont pas employés pour la construction de mosquée. Mais il est fréquent de trouver des recettes de *banco pourri* auquel, en plus de la terre et des apports végétaux, de la bouse de vache est ajoutée avant macération.

**RECETTE N°5 : ENDUIT – PAILLE DE RIZ FERMENTEE, BOUSE DE VACHE – MALI**

- Mélanger une quinzaine de sacs (type sac de riz de 100 kg) remplis de paille de riz et de litière animale tassée à la main pour environ 6 m<sup>3</sup> de terre du fleuve ; ajouter de la bouse de vache.
- Ne pas découper la paille de riz, la longueur des brins de paille oscille entre 30 et 60 cm
- Pour la préparation, procéder selon la recette précédente.

Dans cette autre recette du Mali<sup>5</sup> utilisant paille de riz et bouse de vache, la terre employée, dite *Isa Laboo* (signifiant « terre du fleuve ») est disponible une partie de l'année uniquement puisqu'il s'agit de la terre des plaines rizicoles accessibles lors de la décrue du fleuve et inondées le reste de l'année. La préparation du mortier est très similaire à celle utilisée pour la Grande Mosquée de Mopti. *Cet enduit, préparé avec des excréments d'animaux, fissurerait peu et pourrait tenir deux voire trois saisons des pluies avant d'être refait.*

**[Matériaux]** Le **foin de fonio**, selon certains témoignages, remplace parfois la balle de riz dans le *banco pourri*.

◆ Au Japon, une technique d'enduit<sup>6</sup> (*arakabe*) rappelle celle utilisée à Mopti : **deux volumes de terre** (amendée de sable si elle est trop argileuse) pour **un volume de paille de riz trempent dans l'eau pendant sept jours**.

Une fois le processus de fermentation enclenché, de la paille de riz sèche est ajoutée au mélange. La pâte fibreuse est appliquée en une épaisse première couche d'enduit.



Enduit japonais première couche "Arakabe" © Masako Isomura

### Bibliographie – balle de riz

- Aga Khan Trust for Culture (AKTC), Ministère de la Culture du Mali, 2007. Grande Mosquée de Mopti. Ed. AKTC.
- Chamodot, M., Cloquet, B. Recettes du Mali. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.
- Isomura, M., 1998. Le mur en terre japonais. Mémoire CEAA-Terre. CRAterre-ENSAG.**
- Lefèbre, M. Recette du Mali : à base de balle de riz. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.**
- Moles, O., 2007. Principales pathologies (en particulier sur les enduits extérieurs) et suggestions d'améliorations. DRAFT. Ed. CRAterre-ENSAG.
- Moles, O. Recettes du Mali à base de cosses de riz, et de karité. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.
- Scherrer, O., 2006. Informations recueillies lors d'un séjour au Mali. URL <http://www.djenne-patrimoine.asso.fr/racine/dp21.htm>

<sup>5</sup> Lefèbre, M. Recette du Mali : à base de balle de riz. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.

<sup>6</sup> Isomura, M., 1998. Le mur en terre japonais. Mémoire CEAA-Terre. Ed. CRAterre-ENSAG.



### Autres fibres fermentées

◆ A l'instar des techniques anciennes de stabilisation des enduits en terre, Tom Rijven<sup>7</sup> utilise des **fibres végétales qu'il laisse fermenter**. Selon lui, cette méthode apporterait *plus de dureté et une bonne résistance à l'eau de pluie*. Les enduits sont réalisés directement sur les bottes de paille en trois couches : la couche d'accroche, la couche de corps plus épaisse et enfin la couche de finition. Les bottes de paille sont préalablement trempées très rapidement dans une barbotine d'argile.

C'est un **jus de fermentation** qui **amorce le processus de décomposition des fibres végétales**. Pour cela, Tom Rijven enferme dans une poubelle noire exposée au soleil pendant plusieurs jours, de l'ensilage de maïs, en phase avancée de décomposition. *Une odeur de choucroute annonce le début du processus de fermentation*.

Le dosage des matériaux varie selon les qualités de la terre employée. La paille sert d'armature à l'enduit tandis que les autres fibres végétales utilisées, comme le foin, servent à la fermentation.



Réalisation de Tom Rijven,  
[www.botmobil.org/230#](http://www.botmobil.org/230#)

#### RECETTE N°6 : ENDUIT – FIBRES VEGETALES FERMENTEES – FRANCE

- Préparer le jus de fermentation à base d'ensilage de maïs (comme décrit ci-dessus).
- Verser dans un grand contenant (dosage pour environ 50 L de mélange final): 3 seaux (de 10 L) de barbotine épaisse ; 0,5 L de jus de fermentation; 1,5 seau de paille hachée ; 1,5 seau de foin haché ; 0,5 à 1 seau de sable (0-4 mm) ; 1 seau de sciure de bois.
- Mélanger, puis laisser fermenter, pendant quelques jours, dans un endroit à l'abri de l'air, chaud et humide (grande bâche noire fermée à l'intérieur d'une caisse).

**[Mise en œuvre]** Les matériaux sont versés dans un ordre précis, le plus liquide au fond, avant d'être mélangés. La cohésion de la préparation est testée en projetant une poignée de mélange sur une paroi verticale : *elle est prête lorsqu'il est possible de faire une couche de 15 cm d'épaisseur*. *Durant les quelques jours où la pâte repose, le processus de fermentation démarre, amorcé par le jus de macération de l'ensilage*.

Ensuite, la surface des murs est *humidifiée avec une grosse brosse, ce qui permet une meilleure adhésion de la couche d'accroche*.

**[Mise en œuvre]** La couche d'accroche, qui joue le rôle de colle, est composée de barbotine d'argile et de brins de paille, ramassés sur le chantier. Tous les espaces laissés entre les bottes de paille sont comblés de ce mélange de terre et de fibres.

Avant que la couche d'accroche ne sèche, la couche de corps doit être appliquée ; l'enduit est réalisé à la main, sur une épaisseur d'environ 2,5 cm, en partant en haut du mur jusqu'en bas.



Pose de l'enduit, © Tom Rijven



Maison octogonale réalisée par Tom Rijven, [www.botmobil.org/106](http://www.botmobil.org/106)

<sup>7</sup> Rijven, T., 2009. Entre paille et terre : Edition bilingue français-anglais. Ed. Goutte de sable.

Le **séchage complet** de la couche de corps nécessite **entre deux semaines et deux mois**. Selon Tom Rijven, *il est inutile de bâcher les murs. La surface devient résistante à la pluie grâce à la fermentation qui continuerait durant le séchage. Une fois séchée, la couche de corps devient très dure. Il est courant que l'enduit fissure pendant le séchage, surtout si la proportion de sciure est importante*. Les fissures sont rebouchées avant l'application de la couche de finition.

**[Matériaux]** D'autres végétaux peuvent amorcer le processus de décomposition à la place de l'ensilage de maïs. Tom Rijven préconise l'emploi de *tout végétal qui développe une bonne fermentation*, comme du marc de raisin ou de pomme suivant la région ou la saison, ou encore de la bouse de vache.

La couche de finition est composée d'un mélange de sables (tamisés à 1,5 mm, 2,5 mm ou 2,9 mm), et de barbotine d'argiles de diverses couleurs (tamisées à 5mm) ainsi que de fromage blanc 0% de matières grasses (250g pour 30 L d'enduit). *Le fromage blanc servirait de colle et rendrait le mélange plus onctueux et plus agréable à poser.*

*Pour protéger l'enduit des murs intérieur, pour éviter qu'il ne farine, Tom Rijven pulvérise du petit lait ou une solution de fromage blanc 0% dilué dix fois dans l'eau. Il utilise, de la même façon, sur les murs extérieurs, un fixatif à base d'acrylate qui créerait « un film avec des petits trous [...] trop petits pour laisser passer des gouttes d'eau mais suffisamment grands pour permettre la perspiration. »*

Tom Rijven utilise également pour rendre plus résistantes à la pluie les parties des enduits les plus sensibles, une « *mayonnaise* » à base de jaune d'œuf et d'huile de lin (recette n°19).

**[Molécules]** Lors de la fermentation de fibres végétales, ces dernières se décomposent en libérant la cellulose. Celle-ci est donc libre d'interagir avec la matière. D'après K.D. Politis<sup>8</sup>, *les polysaccharides extracellulaires que produisent certains micro-organismes lors de cette étape de fermentation sont connus pour lier les particules des sols entre elles.*

## Papier washi

◆ C'est un papier qui provient de petits arbres sauvages du Japon, Chine, Corée et Népal : le *Mitsumata*, le *kouzo* et le *Ganpi*. Les Japonais utilisent des fibres de papier dans les enduits en terre, ce qui leur apporte une texture particulière. Masako Isomura<sup>6</sup> évoque l'utilisation du papier *washi*. Celui-ci est trempé dans l'eau et frappé jusqu'à ce que les fibres se séparent. Ces fibres très fines sont longues de 5 à 30 mm. Néanmoins, les proportions, les étapes de préparation de l'enduit ainsi que la mise en œuvre ne sont pas rapportées dans son mémoire.



Papier avant transformation utilisé dans un enduit © Laetitia Fontaine/ CRAterre-ENSAG

<sup>8</sup> Politis, K.D., 1995. "An Ethnoarchaeological Study on the Technology and Use of Adobe in the Jordan Rift Valley". In : Department of Antiquities, Amman, Jordan Studies in the History and Archaeology of Jordan V : art and technology throughout the ages. p. 321–324.

### **Bibliographie – autres fibres**

Buson, M.A., 2009. Kraftterra. Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes de reciclagem de sacos de cimento para vedação certical.

*Papier kraft*

**Isomura, M., 1998. Le mur en terre japonais. Mémoire CEAA-Terre. CRAterre-ENSAG.**

*Papier washi*

Politis, K.D., 1995. "An Ethnoarchaeological Study on the Technology and Use of Adobe in the Jordan Rift Valley". In : Department of Antiquities, Amman, Jordan Studies in the History and Archaeology of Jordan V : art and technology throughout the ages. p. 321–324.

**Rijven, T., 2009. Entre paille et terre : Edition bilingue français-anglais. Goutte de sable.**

*Fibres fermentées : ensilage de maïs*

Even H., Guernoc E., 1988. "enduits à la terre et à la balle d'avoine" In : Tiez Breiz, Maisons et paysages de Bretagne n°8. p 32-34.

*Bale d'avoine*

Velasco De Pedro, F., 1987. "Consideraciones científicas sobre la incorporacion de materiales organicos en la preparacion de adobes". Presented at the Navapalos 1987. III encuentro de trabajo sobre la tierra como material de construction. Año internacional de las personas sin hogar. p. 103-106.

## Méthylcellulose

La méthylcellulose est obtenue par une modification chimique de la cellulose. Plus précisément, elle s'obtient par l'action d'une base alcaline et du chlorométhane sur la cellulose.



Méthylcellulose en poudre et en gel  
[www.indiana.edu/~libpres/manual/materials/methyl.html](http://www.indiana.edu/~libpres/manual/materials/methyl.html)

**[Molécules]** La méthylcellulose est un additif alimentaire (E461). Sous forme de poudre blanche, elle se dissout dans l'eau froide (mais pas dans l'eau chaude) et forme un gel. Elle est utilisée comme épaississant dans l'industrie alimentaire (alternative végétale à la gélatine) et dans les produits cosmétiques.

◆ Des produits du commerce, comme Tierrafino Fix, Tierrafino IPaint, Tierrafino Contact, ou encore Tierrafino Listro<sup>9</sup>, utilisés comme couche de finition, peinture à l'argile, couche d'accroche ou stuc à l'argile, contiennent de la méthylcellulose.

◆ Bruno Gouttry<sup>10</sup> utilise une peinture à base d'argile et de méthylcellulose :

### RECETTE N°7 : PEINTURE – METHYLCELLULOSE – FRANCE

- Mélanger petit à petit 10 g de méthylcellulose en poudre dans 1 L d'eau, en formant un tourbillon.
- Battre jusqu'à l'obtention d'une mousse sans grumeaux.
- Recouvrir avec 0,25 L d'eau ; laisser reposer plusieurs heures voire une nuit.
- Mélanger vigoureusement cette mixture.
- Ajouter de l'eau pour obtenir la consistance d'un sirop épais.
- Tamiser l'argile (elle doit être aussi fine que de la farine), environ 1 à 2 kg.
- Préparer la fécule de pomme de terre (cf. recette n°16), sans attendre qu'elle ne refroidisse, la mélanger à la méthylcellulose.
- Petit à petit incorporer l'argile. Lorsque le mélange devient trop épais, additionner lentement 0,5 L d'eau.
- Laisser reposer au moins 30 min (le temps que l'argile se gorge d'eau) ; filtrer l'ensemble.

*L'auteur de cette recette conseille de ne pas rajouter d'eau si le mélange doit être conservé, car il s'altérerait moins sous forme de pâte (qu'il conviendra de diluer lors d'une prochaine utilisation).*

## Bibliographie – méthylcellulose

Achard, P., 2008. Stabilisation organique de la terre comme matériau de construction. Rapport de PFE. INSA de Lyon.

*Protocole expérimental mélange de méthylcellulose et de terre + essais méca (farine de caroube et agar-agar)*

**Gouttry, B., 2010. Peintures et enduits bio : Conseils, recettes de fabrication et mise en oeuvre. Terre Vivante Editions.**

*Peinture à l'argile p. 47*

Fiche technique. « Nature et Harmonie ». Colle à papier peint. URL [http://www.natureetharmonie.fr/media-doc/La-Colle-Papier-Peint-Nature-et-Harmonie\\_10.pdf?PHPSESSID=56d5e0f774e09a5af393a2d9de267be5](http://www.natureetharmonie.fr/media-doc/La-Colle-Papier-Peint-Nature-et-Harmonie_10.pdf?PHPSESSID=56d5e0f774e09a5af393a2d9de267be5) <consulté en 02/2012>

Fiches techniques. « TierraFino ». URL <http://www.tierrafino.fr/> <consulté en 02/2012>

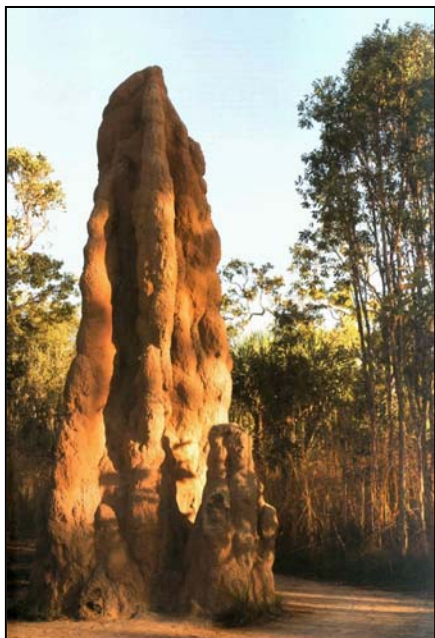
<sup>9</sup> <http://www.tierrafino.fr/> <consulté en 02/2012>

<sup>10</sup> Gouttry, B., 2010. Peintures et enduits bio : Conseils, recettes de fabrication et mise en oeuvre. Ed. Terre Vivante Editions.



## Terre de termitière

◆ La terre de termitière<sup>11</sup> est utilisée comme stabilisant de la terre pour la construction en Afrique. Le bois mort est l'aliment principal des termites.



Termitière de plusieurs mètres de haut !  
© Radius Images/CORBIS



Termites en plein effort de construction  
© Maurice Leponce/IRSNB

Gunther Becker<sup>12</sup> explique leur fonctionnement : « *La digestion, chez le termite, est un processus biologique compliqué. Pour décomposer la cellulose, il a besoin d'organismes symbiotiques qui vivent dans ses intestins [...]. En dehors de la cellulose du bois, les termites digèrent également les autres hydrates de carbone - hémicelluloses, amidon et sucres. Au cours de la digestion, 90 pour cent environ des hydrates de carbone peuvent disparaître [...]. La lignine, qui représente environ un tiers du bois, est moins catabolisée (probablement par les bactéries intestinales) au cours du processus digestif. Les excréments des termites sont donc surtout composés de lignine; c'est le matériau de construction de l'un des types de termitières et des galeries.* »

La terre de termitière<sup>13</sup> est un savant mélange de matières minérales et organiques. Les termites construisent leurs édifices en collant des petits agrégats (de l'ordre du millimètre) les uns aux autres, composés d'excréments, de débris végétaux et de particules de sols.

## Bibliographie – terre de termitière

Anger, R., Fontaine, L. 2009. Bâtir en terre. Ed. Belin.

Becker, G., 2012. - "Les termites" In : Unasyva - No. 111 URL <http://www.fao.org/docrep/h2575f/h2575f01.htm> <consulté en 02/2012>

Doat, P., 1991. Etude sur les savoirs constructifs au Burkina Faso. Ed. CRATERRE-ENSAG.

Eschenbrenner, V., 1986. Contribution des termites à la microagrégation des sols tropicaux. Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, 22 (4), p. 397-408.

<sup>11</sup> Doat, P., 1991. Etude sur les savoirs constructifs au Burkina Faso. Ed. CRATERRE-ENSAG.

<sup>12</sup> Becker, G., 2012. - "Les termites" In : Unasyva - No. 111

URL <http://www.fao.org/docrep/h2575f/h2575f01.htm> <consulté en 02/2012>

<sup>13</sup> Eschenbrenner, V., 1986. Contribution des termites à la microagrégation des sols tropicaux. Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, 22 (4), p. 397-408.

## JUS VÉGÉTAUX GÉLATINEUX

Pour stabiliser la terre, de nombreux ajouts végétaux sont utilisés sous des formes variées. Parmi eux, les jus gélatineux sont obtenus par trempage dans l'eau de certaines plantes (tiges, feuilles, racines ou écorces). Au contact de l'eau, ces extraits végétaux, constitués de polysaccharides, forment quasiment instantanément une solution visqueuse.

La liste suivante tente d'être exhaustive, mais s'appuyant sur la littérature et sur quelques témoignages, il est très probable que d'autres extraits végétaux soient les ingrédients de nouvelles et d'anciennes recettes.

### Tiges et feuilles de bananier

Les **déchets issus de l'agriculture** sont parfois utilisés dans la construction. C'est le cas des feuilles et des tiges de bananier.<sup>14</sup>

◆ Au Ghana, le bananier (*Musa Paradisiaca*<sup>15</sup>) est un arbre tropical très largement cultivé pour la consommation locale. Les feuilles et les tiges bouillies dans l'eau sont utilisées pour la stabilisation de la construction en terre : le **liquide épais** issu de cette préparation est utilisé comme badigeon *pour la résistance à l'eau qu'il apporterait à la terre*. Selon Maria Isabela G. Beas, *les fibres présentes dans cette décoction empêcheraient l'apparition des fissures pendant le séchage*.

Le processus d'obtention de ce liquide qui *rendrait l'enduit résistant à l'eau de pluie* est simple :



Bananier, en.wikipedia.org/wiki/Banana

#### RECETTE N°8 : BADIGEON – TIGES ET FEUILLES DE BANANIER – GHANA

- Couper finement les tiges et feuilles de bananier.
- Remplir un bidon (180 L) au 2/3 avec des tiges et feuilles coupées et 1/3 d'eau.
- Mettre à bouillir, écraser régulièrement, jusqu'à ce que le liquide épaississe.
- Filtrer.

**[Mise en œuvre]** Ce liquide est enfin appliqué sur les enduits en terre. Généralement, *il n'est nécessaire de renouveler cette opération que tous les trois ans pour que l'enduit résiste bien à l'eau de pluie*.

### Bibliographie – tiges et feuilles de bananier

Schreckenbach, H., Abankwa, J.G.K., 1983. Construction technology for a tropical developing country. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit for the Dept. of Architecture, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana.

Beas, M.I.G., 1991. Traditional architectural renders on earthen surfaces. University of Pennsylvania. (thèse)

<sup>14</sup> Schreckenbach, H., Abankwa, J.G.K., 1983. Construction technology for a tropical developing country. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit for the Dept. of Architecture, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana.

<sup>15</sup> Beas, M.I.G., 1991. Traditional architectural renders on earthen surfaces. University of Pennsylvania. (thèse)



### Eau gluante

Plusieurs témoignages rapportent l'utilisation d'eau gluante comme badigeon ou mélangée à la terre, remplaçant l'eau de gâchage. Il s'agit tantôt de feuilles, de tiges, de branches, de morceaux d'écorces ou même de racines qui, trempés dans l'eau, forment un liquide épais dit « eau gluante ».

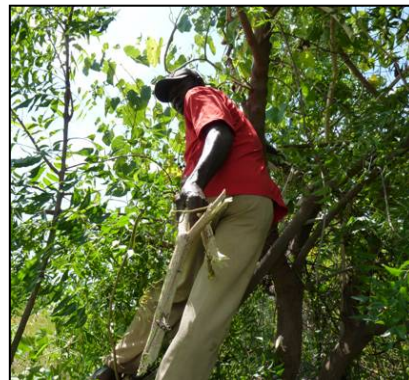
♦ Au Ghana, lors de la restauration du Wa Naa Yiri<sup>16</sup> de Kokologho, l'eau gluante est mélangée à de la bouse de vache puis à de la terre locale pour la préparation de l'enduit.



Wa Naa Yiri, © CRAtterre-ENSAG

#### RECETTE N°9 : ENDUIT – EAU GLUANTE A PARTIR DE BRANCHES – GHANA

- Couper en tronçons d'environ 30 cm, 50 m linéaires de branches *hilampo*.
- Les écraser à l'aide d'un marteau.
- Les tremper dans l'eau (1000 L), cette dernière devient gluante (nom local : *vuolu*)
- Séparément, diluer 300 L de bouse de vache dans 1000 L d'eau.
- Mélanger les deux liquides ; utiliser l'ensemble comme eau de gâchage.



Banches de *hilampo*, quantité nécessaire pour les 2000 L de mixture. © Sébastien Moriset/CRAtterre-ENSAG



Préparation du *vuolu* et de la bouse de vache. © Sébastien Moriset/CRAtterre-ENSAG

**[Mise en œuvre]** Les deux liquides sont ensuite mélangés, avant d'être versés sur la terre. Le tout est malaxé afin d'obtenir une pâte dont la consistance permet de l'utiliser comme enduit. Avant d'appliquer la première

<sup>16</sup> Moriset, S., 2009. Reconstruction of the Wa Naa Yiri, Ghana : Second mid-project report. Ed. CRAtterre-ENSAG



*couche d'enduit, les murs sont brossés et badigeonnés de la solution d'eau gluante et de bouse de vache. L'enduit est appliqué à la main sur une épaisseur de 3 cm. Quand il commence à durcir, il est frappé et compressé avec un outil plat en bois. Le lendemain, de la bouse de vache fraîche est passée sur l'enduit, qui est à nouveau frappé.*



Préparation du mélange de *vuolu*, bouse de vache et terre. © Sébastien Moriset/CRAterre-ENSAG



Mise en œuvre de l'enduit : pose, frappe et badigeon de bouse de vache. © Sébastien Moriset/CRAterre-ENSAG

◆ Frederick Wireko Manu<sup>17</sup>, retranscrit une recette similaire à base d'eau gluante également pratiquée au Ghana. Les **branches** nommées *Yellampour* sont **écrasées** et mises à **trempier dans l'eau toute une nuit**. Séparément, de la bouse de vache est préparée de la même façon (broyée, diluée, laissée au repos). Le lendemain, les deux solutions sont mélangées dans des proportions identiques, de la cendre de bois est ajoutée. La préparation de la pâte, ainsi que la mise en œuvre de l'enduit, est similaire à celle employée dans la conservation du Naa-Yiri, décrite précédemment.

◆ Au Burkina Faso<sup>18</sup>, l'eau gluante s'obtient à partir de **racines** qui **trempent dans l'eau**. L'**enduit**, fait à partir de terre locale, de bouse de vache fermentée et d'eau de karité, est **aspergé d'eau gluante avant qu'il ne sèche**. *Pour que le liquide gluant pénètre bien dans l'enduit, celui-ci est frotté à la main. Le produit obtenu est assez brillant une fois sec. Les fissures sont très peu présentes car la mise en oeuvre de l'eau gluante à la main permet de les refermer ; l'application de l'eau gluante permet d'obtenir une bonne résistance à la pluie.*



Branche de liane « vounou » qui donne une eau gluante, Burkina Faso  
© Laetitia Fontaine/ CRAterre-ENSAG

<sup>17</sup> Manu, F.W., 2006. "The forgotten hands" - documentation of Ghanaian indigenous knowledge and skills in earth construction-case study of kogle, upper west region, Ghana. Mémoire DPEA Terre. Ed. CRAterre-ENSAG.

<sup>18</sup> Lefèbvre, M. Recette du Burkina Faso : à base de racine gluante, karité, bouse. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.



A gauche: morceaux de liane « *vounou* » avant et après avoir été écrasés et trempés dans l'eau, donne le gluant.  
 Au centre : des feuilles sèche « *fouga* » puis trempées dans l'eau. A droite : ces même feuilles donne une eau très gluante.  
 Burkina Faso © Laetitia Fontaine/CRAterre-ENSAG

◆ Hammond<sup>19</sup> précise qu'au Nigeria, cette eau gluante, appelée *dafara*, est obtenue à partir d'une **vigne sauvage** (*Vitis Pallida*).

### Bibliographie – eau gluante

- Dmochowski, Z.R., 1990. An Introduction to Nigerian Traditional Architecture: Northern Nigeria. Ed. Ethnographica. p. 1.7
- Hammond, A.A., 1973. "Prolonging the life of earth buildings in the tropics". In : Building Research and Practice 1, p.154–163.
- Langlois, O., Otto, T. The building of a down-draft furnace at Molkwo (Mandara Mountains, Northern Cameroon) in 1989 : description od a particularly sophisticated pattern of furnace. p. 25 photo d'eau gluante à partir de *Cissus Populnea*
- Lefèbvre, M. **Recette du Burkina Faso : à base de racine gluante, karité, bouse.** In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. **Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle.** NP.
- Manu, F.W., 2006. "The forgotten hands" - documentation of Ghanaian indigenous knowledge and skills in earth construction-case study of kogle, upper west region, ghana. Mémoire DPEA Terre.Ed. CRAterre-ENSAG. Eau gluante à partir de racine "yellampour"**
- Moriset, S., 2009. Reconstruction of the Wa Naa Yiri, Ghana : Second mid-project report. Ed. CRAterre-ENSAG. Photos et recette p.51-52**

<sup>19</sup> Hammond, A.A., 1973. "Prolonging the life of earth buildings in the tropics". In : Building Research and Practice 1, p.154–163.



## Cactus

Utilisé traditionnellement en Amérique latine, le jus de cactus fait l'objet de recherches depuis une trentaine d'années. Il a été notamment employé dans les années soixante lors de la rénovation du site de Chan-Chan.<sup>14</sup>

**[Matériaux]** Les cactus, appelés *Nopal* sur le continent Américain, de la famille des **Cactacées**, du genre *Opuntia*, sont utilisés pour stabiliser la terre. Il en existe plusieurs sortes :

- le *figuier de barbarie* : **Opuntia Ficus Indica**, très répandu, est natif du Mexique. *Prickly pear* (Anglais)
- le cactus *tuna* : **Opuntia Tuna** est un genre d'Amérique centrale.

### RECETTE N°10 : ENDUIT – JUS DE CACTUS FERMENTE – PEROU

- Couper les feuilles de cactus en petits morceaux
- Laisser tremper dans l'eau (à proportions égales en poids) pendant cinq jours.

◆ Plus récemment, Julio Vargas Neumann, Heredia Zavoni et al.<sup>20</sup> ont notamment expérimenté des enduits stabilisés au jus de cactus. En suivant la recette n°10, on obtient un **liquide épais et gluant de couleur verte dégageant une forte odeur**. *A noter que, si le cactus trempe trop longtemps, la couleur devient sombre, le mélange perd de sa consistance et aurait une moins bonne efficacité.*

Même si toutes les recettes connues s'accordent sur le fait que ce jus est utilisable uniquement dans les premiers jours qui suivent sa préparation, son état plus ou moins avancé de décomposition diffère selon les sources.

**[Mise en œuvre]** *Après avoir nettoyé et badigeonné le mur de jus de cactus, une première couche d'enduit, épaisse d'un 1 cm, est appliquée : mélange traditionnel de terre, paille et sable où le jus de cactus fermenté remplace l'eau de gâchage. Une couche de finition, plus fine, recouvre la première qui a séché. Après son application, cette dernière couche est polie à l'aide d'une pierre plate tout en étant régulièrement humidifiée avec le jus de cactus. Une couche finale de ce dernier est passée comme une peinture visant à améliorer, selon l'auteur, la résistance à l'eau de l'enduit.*

◆ Ana Maria Hoyle<sup>14</sup> présente une recette différente pour extraire le jus :



Opuntia Ficus Indica, [http://fr.wikipedia.org/wiki/Figuier\\_de\\_Barbarie](http://fr.wikipedia.org/wiki/Figuier_de_Barbarie)



Opuntia Tuna, [fr.wikipedia.org/wiki/Opuntia\\_tuna](http://fr.wikipedia.org/wiki/Opuntia_tuna)

### RECETTE N°11 : ENDUIT – JUS DE CACTUS FERMENTE – MEXIQUE

- Extraire 350 g de pulpe de feuilles, couper en petits morceaux.
- Mettre à tremper dans 0,5 L d'eau à température ambiante pendant 24 h.
- Ajouter 5 à 10% d'eau pour rendre cette solution visqueuse plus fluide.

Appliqué comme peinture, il pénètre en moyenne de 3 cm dans la terre. Le jus de cactus ne se conserverait qu'un jour après sa préparation ; passé ce délai, les cellules entreraient en état de décomposition et il perdrait 85% de sa viscosité.

<sup>20</sup> Heredia Zavoni, E.A., Bariola Bernales, J.J., Neumann, J.V., Mehta, P.K., 1988. "Improving the moisture resistance of adobe structures". In : *Materials and Structures* 21, p. 213–221.

## Bibliographie – cactus

Chandra S., Eklund L., Villarreal R.R., 1998. "Use of Cactus in Mortars and Concrete". In : Cement and Concrete Research 28, p 41–51.

*Méthode d'extraction du jus de cactus –essais stabilisation du béton*

Heredia Zavoni, E.A., Bariola Bernales, J.J., Neumann, J.V., Mehta, P.K., 1988. 'Improving the moisture resistance of adobe structures". In : Materials and Structures 21, p. 213–221.

**Hoyle, A.M., 1990. "Chan-Chan : Aportes para la conservacion de la arquitectura de tierra". Presented at the 6th international conference on the conservation of earthen architecture : Adobe 90 Preprints, Las Cruces, New Mexico : The Getty Conservation Institute.**

Neumann, J.V., Bariola Bernales, J.J., 1990. « Construcciones de tierra, en el Peru de hoy ». Presented at the 6th international conference on the conservation of earthen architecture : Adobe 90 Preprints, Las Cruces, New Mexico : The Getty Conservation Institute.

**Neumann, J.V., Heredia Zavoni, E.A., Bariola Bernales, J.J., 1986. "preservation of adobe construction in rainy areas". Presented at the CIB.86: advancing building technology : proceedings of the 10th Triennial Congress of the International Council for Building Research, Studies and Documentation, The Council.**

Omar. Recette du Pérou : à base de crottin de cheval et d'âne. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.

## Agave

Plusieurs espèces d'agave sont originaires des régions arides et semi-arides du continent américain, surtout du Mexique et du sud-ouest des Etats-Unis. Leur pulpe s'utilise comme stabilisant des enduits en terre.

◆ Michael Romero Taylor<sup>21</sup> utilise une préparation à base d'agave comme revêtement final d'un pan de mur en terre de Fort Selden, dans l'état du Nouveau Mexique. *Le jus d'agave utilisé tel quel ou dilué dans l'eau n'a pas eu, selon l'auteur, d'effet protecteur convaincant, les murs ayant subi une érosion de modérée à sérieuse.*



Agave,  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Agave>

### RECETTE N°12 : ENDUIT – JUS D'AGAVE – MEXIQUE

- Extraire la pulpe des feuilles d'agave, les faire bouillir dans l'eau, écraser régulièrement.
- Laisser fermenter pendant deux à trois semaines, puis utiliser comme eau de gâchage.

**[Matériaux]** Les agaves, de la famille des Agavacées et les aloes, de la famille de Aloeacées, appartiennent toutes deux à l'ordre des liliales. L'aloë la plus connue est l'aloë vera (Aloe Barbadensis).

## Bibliographie – agave

Oliver, A., 2000. Adobe test wall project. Phase I Final report. Fort Selden State Monument. Radium springs, New Mexico.

**Taylor, M.R., 1986. Fort Selden test wall status report.** Ed. Museum of New Mexico Press.

<sup>21</sup> Taylor, M.R., 1986. Fort Selden test wall status report. Ed. Museum of New Mexico Press.



## Aloe Vera

L'aloë vera est également utilisée dans la stabilisation.

◊ Au Mexique<sup>22</sup>, elle s'emploie comme les cactus. Au Brésil, Marcio Albuquerque Buson<sup>23</sup> a réalisé une étude sur l'incorporation de **pulpe d'aloë vera** et de fibres de papier kraft dans des blocs de terre comprimée. Le procédé pour extraire la pulpe de l'aloë vera est simple (cf. illustrations page suivante). La **substance gélatineuse** obtenue représente entre 1 et 4% de la composition totale de l'enduit.



Aloe,  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Aloe>

### RECETTE N°13 : ENDUIT – JUS D'ALOE VERA – BRESIL

- Retirer la pulpe de l'intérieur des feuilles, malaxer jusqu'à obtenir un liquide visqueux homogène.
- Diluer à l'eau pour utiliser le tout comme eau de gâchage.



Morceaux de feuilles d'aloë vera ; intérieur de la feuille coupée en deux ; extraction de la pulpe.<sup>23</sup>

## Bibliographie – aloë vera

Buson, M.A., 2009. *Krafterra. Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes de reciclagem de sacos de cimento para vedação certical.*

Aranda, J., 2010. "Características del BTC ante diferentes concentraciones de mucílago de nopal y sábila agregadas al agua de mezclado". *TURevista Digi.U@T* Julio 2011. Año 5 Núm. 19. URL [www.turevista.uat.edu.mx](http://www.turevista.uat.edu.mx) <consulté en 02/2012>

<sup>22</sup> Aranda, J., 2010. "Características del BTC ante diferentes concentraciones de mucílago de nopal y sábila agregadas al agua de mezclado". *TURevista Digi.U@T* Julio 2011. Año 5 Núm. 19. URL [www.turevista.uat.edu.mx](http://www.turevista.uat.edu.mx) <consulté en 02/2012>

<sup>23</sup> Buson, M.A., 2009. *Krafterra. Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes de reciclagem de sacos de cimento para vedação certical.* Universidade de Brasília. (thèse)

## Algue

◆ Au Japon, il existe une très ancienne tradition d'enduit en terre, un savoir-faire unique pour lisser les enduits. Masako Isomura<sup>6</sup> rapporte l'évolution de ces techniques dans son mémoire. Elle évoque notamment l'utilisation de la colle de riz comme stabilisant de la terre. Cette tradition s'est peu à peu effacée au profit de l'utilisation de la colle d'algue. *Mélangée à la terre, la colle d'algue apporterait à l'enduit une meilleure ouvrabilité et une bonne résistance à l'érosion.*



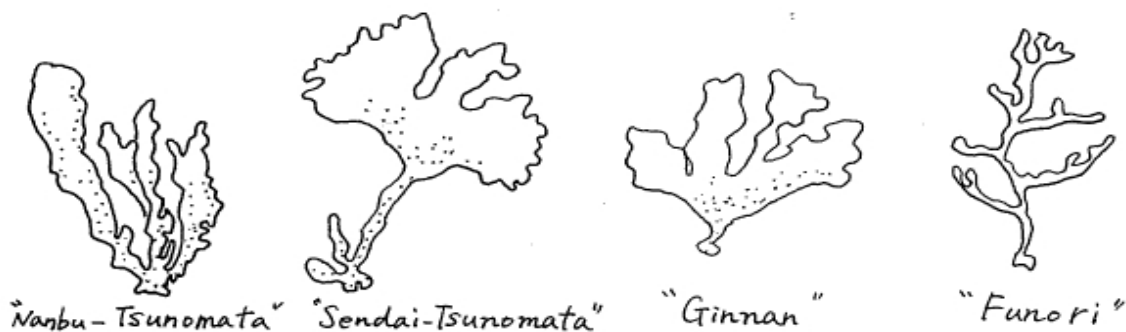
A gauche : algues brunes © A. Le Maguèresse/Ifremer. A droite : algues rouges © Wilfried Bay-Nouailhat

### RECETTE N°14 : ENDUIT – COLLE D'ALGUE – JAPON

- Ajouter un seau d'eau à 1 kg d'algue séchée en poudre, laisser bouillir pendant une heure.
- Filtrer le liquide visqueux obtenu, laisser refroidir. Utiliser comme eau de gâchage.

**[Mise en œuvre]** Le refus de tamis peut être réutilisé. Additionné d'eau, il est de nouveau mis à chauffer. Il se forme alors une colle bien plus visqueuse que la première. Dans des proportions qui ne sont pas indiquées, de la terre de rizière tamisée à 1 mm mélangée à du sable très fin (1 mm) et de la paille de riz hachée finement (5 mm) sont malaxés puis humidifiés avec de l'eau. Après l'obtention d'un mélange homogène, la colle d'algue est ajoutée. L'enduit est ensuite appliqué à la truelle.

**[Matériaux]** Selon Masako Isomura, différents types d'algues sont utilisés, notamment les algues « tsunomata » et « ginnan » qui ont des petites feuilles épaisses. Leur poudre, soluble dans l'eau bouillante, forme une solution très visqueuse. L'extraction de l'algue pendant le printemps donnerait de meilleures propriétés. Après deux ou trois ans de séchage, cette algue serait davantage soluble dans l'eau. Les algues « funori » sont réservées aux travaux de grande qualité. La solution que forment ces algues est plus transparente que la première.



Dessins d'algues extraits du mémoire de Masako Isomura<sup>6</sup>

◆ Tom Rijven<sup>8</sup> évoque également l'utilisation d'algues bretonnes pour rendre résistants à l'eau certains enduits en terre. Ni la préparation des algues, ni le rôle qu'elles jouent en tant que stabilisant ne sont pourtant précisés. La seule information réside dans le fait que les algues trempent dans un seau d'eau.

**[Molécules]** D'autres extraits d'algues font leur apparition dans la littérature :

L'alginate<sup>24</sup> de sodium, additif alimentaire (E401), est un polysaccharide extrait d'algues brunes. Elle est utilisée dans l'alimentaire comme émulsifiant et gélifiant.



A gauche : poudre d'alginate, [fourchettesetmolecules.files.wordpress.com/2012/01/alginate-de-sodium1.jpg](http://fourchettesetmolecules.files.wordpress.com/2012/01/alginate-de-sodium1.jpg).

A droite : perles d'alginate (gel) [cuisine-passion.blogspot.fr/2007/11/perles-dalginates.html](http://cuisine-passion.blogspot.fr/2007/11/perles-dalginates.html)

L'agar-agar<sup>25</sup>, gélifiant alimentaire (E406), est issu d'une algue rouge appartenant aux familles des Gelidiacées ou des Gracilariacées. Le liquide visqueux extrait à chaud de ces algues donne après purification, déshydratation et broyage la poudre d'agar-agar.



A gauche : poudre d'agar-agar, [www.les-recettes-d-hugo.com/blog/lire-article-452189-2267819-agar\\_agar.html](http://www.les-recettes-d-hugo.com/blog/lire-article-452189-2267819-agar_agar.html). Au centre et à droite : solution chaude d'agar-agar liquide et gel (après refroidissement) en forme de spaghetti © Aurélie Vissac/CRAterre-ENSAG

## Bibliographie – algue

Achenza, M., Fenu, L., 2006. On Earth Stabilization with Natural Polymers for Earth Masonry Construction. *Materials and Structures* 39, 21–27.

**Isomura, M., 1998. Le mur en terre japonais. Mémoire CEA-Terre. CRAterre-ENSAG-EAG.**

Rijven, T., 2009. *Entre paille et terre : Edition bilingue français-anglais. Goutte de sable.*

*Algues bretonnes*

<sup>24</sup> s. n., 1994. Earth makes waste materials useful. In: *BASIN - News* 7.

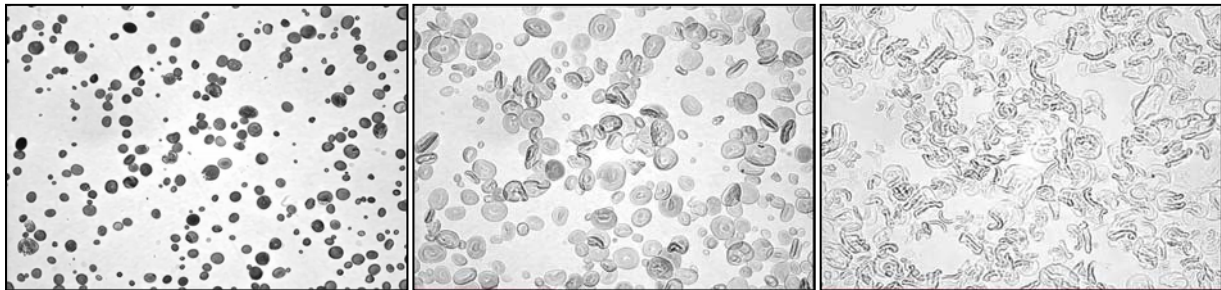
<sup>25</sup> Achard, P., 2008. Stabilisation organique de la terre comme matériau de construction. Rapport de PFE. INSA de Lyon.



**AMIDON**

De gauche à droite : épi de blé © Serge AGOMBART ; maïs, [techno-science.net/illustration/Autres/Botanique/mais.jpg](http://techno-science.net/illustration/Autres/Botanique/mais.jpg) ; riz © Hungry Mouse ; pommes de terre, [www.plantes-et-jardins.com/atologue/catalogue4.asp?idvariation](http://www.plantes-et-jardins.com/atologue/catalogue4.asp?idvariation)

**[Molécules]** Ce polysaccharide est la principale réserve nutritive du monde végétal ; il est emmagasiné dans les graines, les tubercules et les racines. Les grains de céréales en contiennent 40 à 90 % de leur poids sec et les tubercules comme la pomme de terre entre 65 et 85 %. Les grains d'amidon ont la particularité d'éclater lorsqu'ils sont en présence d'eau et chauffés à 70°C. Il se forme alors un empois, dispersion colloïdale plus ou moins visqueuse qui gélifie en refroidissant (phénomène qui provoque l'épaississement de la sauce béchamel).



Grains d'amidons (microscope optique), gonflant dans l'eau chaude, [www.youtube.com/watch?v=L6VYxYE1jOg](http://www.youtube.com/watch?v=L6VYxYE1jOg)

**Farine de blé**

On retrouve dans des ouvrages récents, la recette de la colle de farine utilisée comme couche d'accroche de l'enduit, ou bien mélangée directement dans le corps d'enduit. Il s'agit de farine classique (pas de farine complète), non blanchie, contenant du gluten. En voici un exemple par Cedar Rose Guelberth et Dan Chiras<sup>26</sup> :

Mélange de farine et d'eau qui épaissit en chauffant © Aurélie Vissac/ CRAterre-ENSAG

**RECETTE N°15 : ENDUIT – COLLE DE FARINE – CANADA**

- Faire bouillir 3 L d'eau dans une grande casserole, au dessus d'un feu puissant.
- Remplir la moitié d'un seau de 10 L avec de l'eau froide, ajouter doucement de la farine jusqu'à obtenir une pâte blanche, fluide et un peu épaisse (type pâte à crêpe).
- Mélanger jusqu'à ce que les grumeaux disparaissent.
- Verser peu à peu (pour ne pas perdre l'ébullition) la pâte dans l'eau qui boue sans cesser de remuer : la pâte devient translucide au fur et à mesure qu'elle est mélangée à l'eau bouillante.
- Continuer de chauffer jusqu'à ce que la pâte ait la consistance d'une sauce épaisse.
- La retirer du feu, enlever les grumeaux.

<sup>26</sup> Guelberth, C.R., Chiras, D., 2002. The Natural Plaster Book: Earth, Lime, and Gypsum Plasters for Natural Homes. New Society Publishers.

**[Mise en œuvre]** Les auteurs de cette recette conseillent de verser la colle de farine d'un récipient à un autre en la faisant s'écouler sur une vitre en verre pour enlever facilement les grumeaux. La pâte se conserve un jour sans réfrigération et de une à deux semaines au frais.



Trois étapes de la préparation de la colle de farine : un mélange d'eau et de farine est versé doucement dans l'eau bouillante ; cette mixture épaissit sur le feu ; enfin, elle est diluée dans l'eau pour être plus fluide.

[www.canousbotte.net/index.php/post/2011/04/29/Recette-de-la-colle-%C3%A0-farine-pour-enduit-terre-sur-mur-en-paille](http://www.canousbotte.net/index.php/post/2011/04/29/Recette-de-la-colle-%C3%A0-farine-pour-enduit-terre-sur-mur-en-paille)

### Bibliographie – colle de farine

Fabriquer soi-même ses peintures et enduits, 2011. . URL <http://www.bourgogne-nivernaise.com/Des-outils-pour-communiquer-et.html> <consulté en 02/2012>

Guelberth, C.R., Chiras, D., 2002. *The Natural Plaster Book: Earth, Lime, and Gypsum Plasters for Natural Homes*. New Society Publishers.

Minke, G., 2004. *Das neue Lehm-bau-Handbuch. Baustoffkunde. Konstruktionen. Lehmarchitektur*, 6., verb. u. erw. A. ed. Ökobuch.

*Enduit finition farine de seigle*

Weismann, A., Bryce, K., 2008. *Using Natural Finishes: Lime and Clay Based Plasters, Renders and Paints - A Step-by-step Guide*, illustrated ed. Green Books.

### Fécule de pomme de terre

◆ A partir de féculé, amidon **extrait des pommes de terre**, Bruno Gouttry<sup>11</sup> prépare une peinture qui se détrempe au contact de l'eau pour un support minéral, stable et légèrement poreux.

**[Technique]** La **détrempe** est une technique ancienne de peinture constituée de pigments, de liant et d'eau. Les liants peuvent être des polysaccharides (exemple de la gomme arabique) ou issus du collagène (comme la colle de peau). Cette peinture étant une solution aqueuse, elle est sensible à l'eau et s'utilise à l'intérieur.

Dans le cas d'emploi direct de pommes de terre, il faut en éplucher 1 kg, les faire cuire à la vapeur puis les écraser. La moitié de l'eau, comme pour la féculé, est également chauffée, sans qu'elle ne boue, avant d'être ajoutée à la purée.



Fécule de pomme de terre © Isabelle



Application de la détrempe à la pomme de terre © Bruno Gouttry



Préparation de la détrempe à la fécule de pomme de terre © Bruno Gouttry

### RECETTE N°16 : PEINTURE – FECULE DE POMME DE TERRE – FRANCE

- Chauffer 4 L d'eau sans la faire bouillir (proportions pour 40 m<sup>2</sup> en une couche)
- Incorporer en pluie 500 g de fécule de pomme de terre, en remuant vigoureusement pour éviter la formation de grumeaux.
- Parallèlement, faire tremper dans 4 L d'eau la craie + les pigments (2 kg au total) en évitant les grumeaux.
- Réunir les deux préparations, battre l'ensemble, puis tamiser.

**[Mise en œuvre]** Cette **détrempe** ne se conserve pas. En quelques jours, la fécule pourrit. L'application doit être assez rapide avec une brosse large car la peinture sèche rapidement. Pour un résultat plus uniforme, une deuxième couche peut être appliquée, après 6 à 12 h de séchage de la première. La peinture à la fécule est relativement transparente.

### Bibliographie – fécule de pomme de terre

Gouttry, B., 2010. *Peintures et enduits bio : Conseils, recettes de fabrication et mise en oeuvre*. Terre Vivante Editions.

Gouttry, B., 2011b. *Ma peinture à la patate. Les 4 saisons du jardin bio* 190, p.68–69.

Recettes de fabrication de peinture, 2012. . URL <http://www.ideesmaison.com/Decorer/Les-murs/Peinture/Faire-soi-meme-ses-peintures-et-enduits-naturels-2-2.html> <consulté en 02/2012>

### Riz gluant

◆ Le **riz gluant** est une variété de riz à teneur élevée en amylopectine, une des composantes de l'amidon. *Associé à de la chaux, il est été utilisé comme excellent mortier<sup>27</sup> dans la Chine d'il y a plus de 1500 ans.* Masako Isomura<sup>6</sup> évoque la colle de riz, très employée dans les enduits en terre au Japon avant que la colle d'algue ne la remplace.



Riz gluant © iStock

<sup>27</sup> Mangin, L., 2010. "Le riz gluant fait le mur". In : Pour la Science – Actualité URL [http://www.pourlascience.fr/ewb\\_pages/a/actualite-le-riz-gluant-fait-le-mur-25276.php](http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/actualite-le-riz-gluant-fait-le-mur-25276.php). <consulté en 02/2012>

## Résidus de distillation de manioc et de maïs fermentés

◆ Olivier Moles<sup>28</sup> a réalisé au Congo-Kinshasa un enduit en terre stabilisé aux résidus de distillation d'un alcool de maïs et de manioc.



Racines de manioc, fr.wikipedia.org/wiki/Manioc

### RECETTE N°17 : ENDUIT – RESIDUS DE DISTILLATION DE MANIOC ET DE MAÏS FERMENTE – CONGO

- Préparer la farine de maïs :

Mettre du maïs mûr dans l'eau ; laisser fermenter une semaine ; sécher et piler.

- Préparer le manioc frais (sinon utiliser de la farine de manioc)

Eplucher du manioc mûr ; sécher sur une grille au dessus d'un feu  
(méthode de cuisson qui permet de le manger)

Enlever la couche externe ; la mélanger à de l'eau.

Faire bouillir jusqu'à l'obtention d'une pâte épaisse.

Verser dans un fût, ajouter un peu d'eau ; malaxer ; laisser fermenter deux à trois jours.

- Mélanger un volume de farine de maïs pour quatre volumes de bouillie de manioc.

- Fermer hermétiquement ; laisser fermenter pendant sept à dix jours : le produit fermenté devient liquide.

- Distiller pour obtenir de l'alcool et récupérer le résidu de distillation.

**[Mise en œuvre]** On obtient 80 L de résidus pour 200 L distillés. C'est le résidu de la distillation, appelé *bitibi* qui sert à l'enduit. La terre amendée de ce résidu de distillation donnerait *un enduit très résistant aux intempéries qui, selon le témoin de cette recette, tiendrait jusqu'à deux décennies !*

### Bibliographie – autres sources d'amidon

Mangin, L., 2010. "Le riz gluant fait le mur". In : Pour la Science – Actualité URL [http://www.pourlascience.fr/ewb\\_pages/a/actualite-le-riz-gluant-fait-le-mur-25276.php](http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/actualite-le-riz-gluant-fait-le-mur-25276.php). <consulté en 02/2012>

Moles, O. Recette du Congo : à base de maïs et manioc. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.

Venkatarama Reddy, B.V., 1985. "Partial stabilization of soils using organic binders". In : Proceedings of the ASTRA seminar. p. 55-57.

<sup>28</sup> Moles, O. Recette du Congo : à base de maïs et manioc. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.



## GOMMES NATURELLES

**[Matériaux]** Les gommés naturelles sont des substances amorphes, composées de polysaccharides. Excepté la gomme xanthane, toutes les gommés sont des exsudats produits par des plantes, ce qui les différencie des jus végétaux qui sont extraits de l'intérieur des plantes. Pour cicatriser leurs plaies, certains arbres produisent ces tissus pour se protéger de l'intrusion d'insectes, de champignons ou de micro-organismes qui se retrouvent alors englués.

### Gomme arabique

La gomme arabique<sup>29</sup> est produite par des arbres de la famille des Fabacées, famille des acacias. Le *gommier blanc* (*Acacia Senegal*), très répandu de l'Afrique de l'Ouest à la mer Rouge au sud des régions désertiques, est le plus important d'entre eux ; il donne la gomme arabique officinale. Polysaccharide acide, la gomme arabique se dissout lentement mais facilement dans l'eau, jusqu'à un peu plus de 50%, formant des solutions visqueuses.

◆ Diluée dans l'eau, elle est parfois mélangée à la terre *pour rendre l'enduit plus souple à l'application et plus résistant au retrait pendant le séchage*. Au Mali, malgré son prix, elle est quelquefois utilisée dans les enduits intérieurs. Pour la restauration de l'enduit de la mosquée de Djingarey Ber<sup>30</sup>, de la terre de Bourem, 20% de sable et 3% de gomme arabique ont été utilisés.

◆ Selon Joseph M. Tibbets<sup>31</sup>, lorsqu'elle est ajoutée à une terre sableuse, la gomme arabique donne un **enduit intérieur de finition dure, sans fissures et qui adhérerait bien au mur**. Cependant, elle n'améliorerait pas la résistance à l'érosion des enduits extérieurs, notamment à cause de sa **sensibilité à l'humidité**.



Exsudat d'acacia,  
fr.wikipedia.org/wiki/Gomme\_arabique

### Bibliographie – gomme arabique

- Joffroy, T., Moriset, S., 1996. Chantiers pilotes de formation à la conservation des mosquées de Tombouctou. Rapport de mission. Tombouctou, Mali. Ed. ICCROM, CRAterre-ENSAG, UNESCO.
- Tibbets, J.M., 1989. The earthbuilders' encyclopedia: the master alphabetical reference for adobe & rammed earth. Southwest Solaradobe School.

<sup>29</sup> Perego, F., 2005. Dictionnaire des matériaux du peintre. Ed. Belin.

<sup>30</sup> Joffroy, T., Moriset, S., 1996. Chantiers pilotes de formation à la conservation des mosquées de Tombouctou. Rapport de mission. Tombouctou, Mali. Ed. ICCROM, CRAterre-ENSAG, UNESCO.

<sup>31</sup> Tibbets, J.M., 1989. The earthbuilders' encyclopedia: the master alphabetical reference for adobe & rammed earth. Southwest Solaradobe School.

### Gomme de guar

**[Matériaux]** La farine de guar<sup>29</sup>, *Cyamopsis tetragonolobus*, arbre de la famille des Fabacées originaire de l'Inde, proche du caroubier, est extraite des graines. Son utilisation industrielle est très récente (années 1950). C'est un additif alimentaire (E412) utilisé comme **épaississant, stabilisant et émulsifiant**.

La gomme de guar entre dans la composition de certaines peintures actuellement vendues dans le commerce. Une étude<sup>32</sup> a été menée sur l'amélioration des propriétés mécaniques de la terre comme matériau de construction par l'ajout de gomme de guar. Cette dernière est additionnée à la terre jusqu'à hauteur de 0,1% en masse en vue de renforcer les propriétés mécaniques.

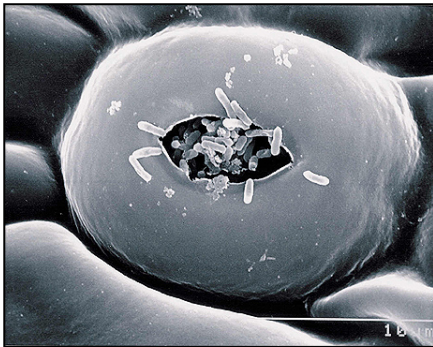


*Cyamopsis tetragonolobus*, fr.wikipedia.org/wiki/Cyamopsis\_tetragonoloba

### Gomme Xanthane

**[Matériaux]** Cette gomme est **produite par une bactérie** : *Xanthomonas Campestris*. C'est un polysaccharide ramifié soluble dans l'eau. C'est un **épaississant alimentaire** (E415), très stable de 0 à 80°C et de pH 2 à 10.

Cette bactérie est à l'origine de maladie de plantes alimentaires tels que le poivre, le citron, la tomate ou encore le riz. Elle provoque l'apparition de taches brunes sur les feuilles ou les fruits, semblables à des brûlures.



A gauche : bactéries *Xanthomonas* sur une feuille de pamplemousse © J. Cubero.  
A droite : une feuille de citron attaquée par ces bactéries ©Tim R. Gottwald

Utilisée dans certaines peintures commerciales (pour support minéral) en petites quantités, elle a été également utilisée dans les enduits comme l'évoquent Cedar Rose Guelberth et Dan Chiras<sup>26</sup> dans leur livre.

### Bibliographie – gommes de guar et xanthane

- Achard, P., 2008. Stabilisation organique de la terre comme matériau de construction. Rapport de PFE. INSA de Lyon.
- Fiche technique Nature et Harmonie 2010. Liant pour glacis et patines incolores ou teinté. URL [http://www.mbetoulouse.fr/pdf/NATURE\\_Liant\\_Glacis.pdf](http://www.mbetoulouse.fr/pdf/NATURE_Liant_Glacis.pdf) <consulté en 02/2012>
- Gagnière, P. 2012. Amélioration et fiabilisation des propriétés mécaniques des bétons d'argiles par ajout de gomme de guar. Rapport de PFE. INSA de Lyon. Programme de recherche C2D2-BAE.
- Guelberth, C.R., Chiras, D., 2002. The Natural Plaster Book: Earth, Lime, and Gypsum Plasters for Natural Homes. New Society Publishers.

<sup>32</sup> Gagnière, P. 2012. Amélioration et fiabilisation des propriétés mécaniques des bétons d'argiles par ajout de gomme de guar. Rapport de PFE. INSA de Lyon. Programme de recherche C2D2-BAE.

## LIPIDES

**[Molécules]** Les lipides constituent la matière grasse des être vivants. Ce sont des **molécules hydrophobes**, insolubles dans l'eau, en raison de la présence de longues chaînes hydrocarbonnées d'acides gras ou de dérivés. Les huiles sont liquides à température ambiante, les cires quant à elles sont solides, enfin les graisses ont une consistance intermédiaire.

### HUILES ET GRAISSES

**[Matériaux]** Les huiles végétales sont extraites des graines, excepté l'huile d'olive qui, elle, est extraite de la pulpe du fruit.

#### Huile de lin

**[Matériaux]** Cette huile est extraite des graines de lin (*Linum usitatissimum*) ; elle fonce en s'oxydant à l'air.



Graines de lin © Tim Pohl

◆ Selon la fiche technique M1.D5.i2 des recettes d'enduit du projet ECVET Aquis.Terre<sup>33</sup>, l'huile de lin qui s'utilise dans les couches d'enduits les plus exposées, permettrait de **renforcer la résistance à l'eau et la dureté de l'enduit** :

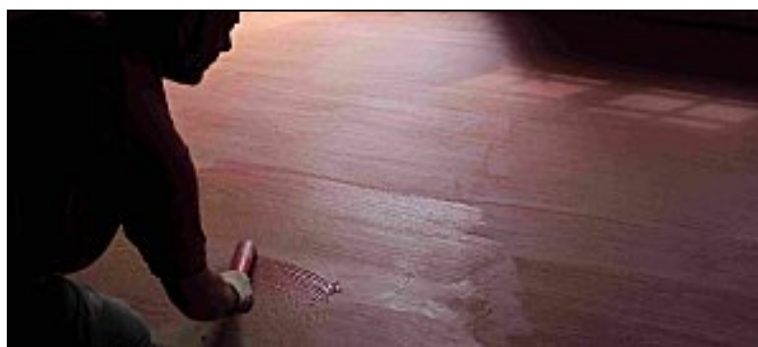
#### RECETTE N°18 : ENDUIT DE FINITION – HUILE DE LIN – FRANCE

- D'abord gâcher l'enduit à l'eau.
- Puis, ajouter une cuillère à soupe de lin pour 5 L d'enduit.

La quantité d'huile de lin peut aller jusqu'à 1% par volume. Il faut veiller à bien gâcher d'abord à l'eau, car l'huile enroberait les grains et empêcherait l'eau de les lier. Elle s'utilise également en imprégnation, appliquée au chiffon ou au pinceau, de préférence diluée. Le changement de couleur est important ; appliquée sur de grandes surfaces, l'effet est irrégulier. Cette recette utilise de l'huile crue de première pression à froid.

◆ Un revêtement extérieur à l'huile de lin diluée par 5 dans un solvant (type essence) a été expérimenté à Fort Selden<sup>34</sup>, sans grands résultats d'après Anne Oliver.

◆ L'huile de lin s'utilise également sur les sols en terre en couche d'imprégnation, seule ou mélangée à du savon noir, de la chaux, du sable et du talc



Pose de la couche de finition de la couche de finition à base de chaux, huile de lin, sable très fin, talc, savon noir et oxyde de fer, <http://rouletabosse.over-blog.fr/article-un-sol-en-terre-crue-57613966.html>

<sup>33</sup> FAL.ev, 2005. M1-D5-i2 in : CD «les enduits en terre». Projet Européen Leonardo da Vinci

<sup>34</sup> Oliver, A., 2000. Adobe test wall project. Phase 1 : Final report. Ed. Getty Conservation Institute.

◆ Tom Rijven<sup>8</sup> utilise une émulsion **d'huile de lin et de jaune d'œuf** pour **rendre résistants à l'eau de pluie les enduits extérieurs** les plus exposés :

**RECETTE N°19 : ENDUIT DE FINITION – HUILE DE LIN, OEUF – FRANCE**

- Mélanger 5 jaunes d'œufs avec 0,5 L d'huile de lin (proportions pour un volume final de 30 L d'enduit).
- Gâcher l'enduit à l'eau ; mélanger cette « mayonnaise » dans la masse.

**Bibliographie – huile de lin**

- Béton de terre | Recette dalle en terre [WWW Document], 2012. . URL <http://www.systemed.fr/forum-bricolage/b-t-111-n-terre-t39726.html>
- Fabriquer soi-même ses peintures et enduits, 2011. . URL <http://www.bourgogne-nivernaise.com/Des-outils-pour-communiquer-et.html> <consulté en 02/2012>
- FAL.ev, 2005. M1-D5-i2 in : CD «les enduits en terre». Projet Européen Leonardo da Vinci**  
*Recette huile de lin. Fiche M1.i2.D5*
- Recettes de fabrication de peinture, 2012. . URL <http://www.ideesmaison.com/Decorer/Les-murs/Peinture/Faire-soi-meme-ses-peintures-et-enduits-naturels-2-2.html> <consulté en 02/2012>
- Rijven, T., 2009. Entre paille et terre : Edition bilingue français-anglais. Goutte de sable.**  
*« mayonnaise » huile de lin et jaune d'œuf*
- Taylor, M.R., 1986. Fort Selden test wall status report. New Mexico State Monuments.  
*Huile de lin diluée*
- Un sol en terre crue, 2010. URL <http://rouletabosse.over-blog.fr/article-un-sol-en-terre-crue-57613966.html> <consulté en 06/2012>
- Weismann, A., Bryce, K., 2008. Using Natural Finishes: Lime and Clay Based Plasters, Renders and Paints - A Step-by-step Guide, illustrated ed. Green Books.  
*Huile de lin p. 162*



## Beurre de karité

**[Matériaux]** Le beurre de karité est une graisse végétale issue des fruits du karité (*Vitellaria Paradoxa*), arbre des savanes soudaniennes à guinéennes.

Comestible, utilisé dans la cuisine traditionnelle, il entre également dans la composition de nombreux produits cosmétiques.



A gauche : l'arbre à karité, [fr.wikipedia.org/wiki/Karit%C3%A9](http://fr.wikipedia.org/wiki/Karit%C3%A9).

Au centre et à droite : beurre de karité fondant avec la chaleur © Laetitia Fontaine/CRAterre-ENSAG

◆ Le **beurre de karité** est parfois utilisé dans la **couche de finition** des enduits, comme par exemple lors du crépissage annuel de certaines maisons à Djenné<sup>35</sup>, au Mali. La préparation de l'enduit est très proche de celle du *banco pourri* (cf. recette n°5) effectué pour la Grande Mosquée de Mopti.

### RECETTE N°20 : ENDUIT DE FINITION – BEURRE DE KARITE – DJENNE, MALI






- Faire tremper 20 charrettes de banco dans de l'eau (une charrette représente entre 300 et 500 L).
- Ajouter 10 sacs de balle de riz (sacs de 100 L) ; malaxer.
- Laisser macérer plusieurs semaines jusqu'au pourrissement.
- Le jour du crépissage, faire fondre 45 kg de beurre de karité en le mélangeant.
- Mélanger le beurre de karité fondu au *banco pourri* ; appliquer à la main



Préparation d'un enduit à base de terre rouge et de beurre de karité fondu, Ségou, Mali © Laetitia Fontaine/CRAterre-ENSAG

<sup>35</sup> Scherrer, O., 2006. Informations recueillies lors d'un séjour au Mali. URL <http://www.djenne-patrimoine.asso.fr/racine/dp21.htm>.

La méthode d'obtention du beurre de karité<sup>4</sup> est décrite en images :  
(extraits du compte rendu final des travaux de restauration de la grande mosquée de Mopti)

<p>Préparation du beurre de karité par l'Union Locale des Productrices de Karité, Dioïla, Mali</p> <p>Les fruits de karité sont récoltés et mis en tas pendant deux à cinq jours.</p>		
<p>Le nettoyage des fruits consiste à enlever la pulpe du fruit pour y dégager la noix de karité.</p> 	<p>Les noix sont ébouillantées pour enlever le latex contenu dans l'amande, puis séchées au soleil pendant une semaine.</p> 	<p>Les noix sont concassées pour dégager les amandes qui sont ensuite triées, lavées et séchées au soleil pendant deux heures.</p> 
<p>Les amandes sont broyées au mortier puis moulues manuellement (ou au moulin) afin d'obtenir une pâte brune.</p> 	<p>La pâte est malaxée jusqu'à l'obtention d'une émulsion de corps gras.</p> 	<p>L'émulsion récoltée est alors lavée à l'eau propre cinq à sept fois.</p> 
<p>L'émulsion propre est bouillie pendant une heure environ pour la déshydrater et obtenir l'huile de karité.</p> 	<p>L'huile de karité est versée dans une bassine pour la laisser refroidir et la filtrer.</p> 	<p>L'huile filtrée se solidifie, refroidissant complètement pour donner un beurre de karité homogène et blanc.</p> 

◆ A Ségou, au Mali, Olivier Moles<sup>36</sup> témoigne d'une recette de couche de finition, très similaire, utilisant le **beurre de karité fondu** mélangé à de la terre rouge.

#### **RECETTE N°21 : ENDUIT DE FINITION – BEURRE DE KARITE – SEGOU, MALI**

- Tamiser 60 L de terre rouge (Bojobleuv) à 1 mm ; humidifier à l'état plastique.
- Faire fondre 5 à 6 L de beurre de karité.
- Mélanger ; ajouter de l'eau pour ajuster la consistance.

◆ D'autres recettes existent suivant les régions et les terres disponibles. Généralement le beurre de karité fondu est uniquement ajouté à la terre de la couche de finition, on en trouve rarement dans le corps d'enduit.

**[Matériaux]** Très probablement pour des raisons économiques, certaines recettes ne mentionnent pas l'utilisation du beurre de karité en tant que tel, mais celle des **résidus**<sup>37</sup> ou de l'eau issus de son procédé de fabrication. L'**eau de karité**<sup>5</sup> peut être utilisée comme **eau de gâchage**.

#### **Bibliographie – beurre de karité**

- Aga Khan Trust for Culture (AKTC), Ministère de la Culture du Mali, 2007. Grande Mosquée de Mopti. Ed. AKTC
- Chamodot, M., Cloquet, B. Recettes du Mali. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.
- Bouaré, N., 1983. "Raw earth techniques (banco) used in Mali". In : Adobe international symposium and training workshop on the conservation of adobe. Proceedings of the international symposium. Lima-Cusco Peru. Final report and majors papers, p. 117-120.
- Lefèbvre, M. **Recette du Burkina Faso : à base de racine gluante, karité, bouse.** In : **Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.**  
*Eau de karité*
- Merschmeyer, G., 1991. Recipes for the making of wall paint, wall plaster, non-cement concrete.  
*Résidus de karité*
- Moles, O., 2007. Principales pathologies (en particulier sur les enduits extérieurs) et suggestions d'améliorations.
- Moles, O. Recettes du Mali à base de cosses de riz, et de karité.** In : **Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.**
- Scherrer, O., 2006. Informations recueillies lors d'un séjour au Mali. URL <http://www.djenne-patrimoine.asso.fr/racine/dp21.htm>.
- Schreckenbach, H., Abankwa, J.G.K., 1983. Construction technology for a tropical developing country. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit for the Dept. of Architecture, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana.

<sup>36</sup> Moles, O. Recettes du Mali à base de cosses de riz, et de karité. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.

<sup>37</sup> Chamodot, M., Cloquet, B. Recettes du Mali. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.



## Huile de kapok

**[Matériaux]** Le kapokier ou fromager, *Ceiba Guineensis*, fait partie de la famille des Malvacées. C'est un arbre géant des zones tropicales, originaire d'Amérique du Sud, d'Amérique Centrale, implanté en Afrique de l'Ouest. Ses fruits sont des cabosses qui renferment des graines.



Fruits du kapokier, <http://jardin-de-ville.over-blog.com/article-1-en-foret-tropicale-humide-a-paris-61314980.html>



Kapokier, Sénégal, [www.c3ed.ird.sn/biodiversite/spip.php?article68](http://www.c3ed.ird.sn/biodiversite/spip.php?article68)

Pour rendre les maisons en terre moins vulnérables aux intempéries, Foli Ephoevi-Ga<sup>38</sup> a mené une recherche sur la stabilisation des adobes à l'huile de kapok au Togo.

L'huile de kapok, pourtant comestible, n'est que très peu utilisée au Togo. Elle s'obtient après **torréfaction des graines**.

### RECETTE N°22 : ENDUIT – HUILE DE KAPOK – TOGO

- Obtention de l'huile de kapok :

Moudre les graines de kapok pour obtenir une poudre fine.

Délayer 10 kg de cette poudre dans 20 à 25 L d'eau ; faire bouillir pendant au moins 6 h (ajouter de l'eau pour compenser une trop forte évaporation) ; laisser reposer une nuit.

La bouillie se sépare en trois phases : de larges gouttes d'huile à la surface, une émulsion eau - huile en dessous et un dépôt d'amandes et de téguments formant une boue noirâtre au fond du récipient. Récupérer l'émulsion.

Mettre à bouillir cette émulsion jusqu'à évaporation de l'eau. Collecter l'huile après filtration.

- Préparation de l'enduit :

Mélanger de la terre de Kouloumi avec du sable et 2% en poids d'huile de kapok.

Ajouter l'eau de gâchage.

**[Mise en œuvre]** Après application de l'enduit, ce dernier reçoit deux couches d'huile supplémentaires, pour s'assurer qu'elle imprègne bien le mur. Selon Foli Ephoevi-Ga, l'issue des tests de résistance à l'eau serait favorable à l'enduit à l'huile de kapok.

<sup>38</sup> Ephoevi-Ga, F., 1978. La protection des murs en banco. In : Bulletin d'information n°9. Ed. CCL, Ministère des Travaux Publics, Togo. p. 44-57.

### Huile de poisson

Juste avant la saison des pluies, un enduit de protection est appliqué sur les cases obus des Mousgoums<sup>2</sup>. *Il est fait à partir de terre fine et de bouse de vache. Lorsque les parois sont vraiment dégradées, de l'huile de poisson (capitaine ou silure) est ajoutée dans la préparation de l'enduit.* Ce **liant d'origine animal** est obtenu soit en versant de l'eau bouillante sur des poissons qui macèrent ensuite quelques jours, soit par extraction à la vapeur.



Poissons et huile de poisson, <http://www.info-alzheimer.net/%E2%80%99huile-de-poisson-a-un-impact-sur-le-fonctionnement-cognitif.html>

### Huile de raisins sauvages

Du pays Dogon, au Mali, Mathile Chamodot et Basile Cloquet<sup>37</sup> ont rapporté la recette suivante : pour la réalisation d'un enduit extérieur, de la terre de mare (naturellement sableuse) est mélangée à de l'eau et à de **l'huile issue des résidus de la production du jus de raisin** (1 seau d'huile de raisin, *réputée anti-termite*, pour 2 brouettes de terre). On laisse pourrir deux jours, on mélange bien, on mouille de nouveau si besoin.

D'autres huiles sont évoquées succinctement dans certains livres, rapports ou autres supports : l'huile de coco, l'huile issues des résidus de pressage d'olives, l'huile de kaki, etc.

### Graisses animales

**[Technique]** Les graisses animales sont préparées en chauffant les tissus adipeux à 70-80°C avec de l'eau parfois salée. Après filtration, la graisse surnageante subie une étape de purification par de l'eau acide ou alcaline.

Deng Qisheng<sup>39</sup> mentionne l'utilisation de ce type de graisses dans l'architecture de la Chine ancienne sans plus de détails.

### Bibliographie –huiles et graisses (sauf huile de lin et beurre de karité)

Chamodot, M., Cloquet, B. Recettes du Mali. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.

*Huile de raisins sauvages*

Ephoevi-Ga, F., 1978. La protection des murs en banco. In : Bulletin d'information n°9. Ed. CCL, Ministère des Travaux Publics, Togo. p. 44-57.

*Huile de kapok*

Qisheng, D., 1985. Traditional measures of moistureproof in raw soil architecture in China. In : Architectural Society of China, Beijing, pp. 64–68

*Graisses animales*

Mohaman, H., Eloundou, L., 1996. La case obus, témoignage d'une intelligence constructive. Ed. ENSAG, L'Anonyme Distingué.

*Huile de poisson*

<sup>39</sup> Qisheng, D., 1985. Traditional measures of moistureproof in raw soil architecture in China. In : Architectural Society of China, Beijing, pp. 64–68.

## CIRES

**[Matériaux]** Les cires « vraies », cires naturelles d'origine animale ou végétale, appartiennent à la classe des lipides. Solides et doux au toucher, ces matériaux sont insolubles dans l'eau, même bouillante (ils se dissolvent dans les essences ou les huiles végétales à chaud).

### Cire de carnauba

**[Matériaux]** La cire de carnauba est exsudée par les feuilles d'un palmier sud-américain, *Copernicia Cerifera*<sup>33</sup>. Elle se présente sous la forme de paillettes opaques blanc-jaunâtre ; cassante, de structure très fine. Elle fond aux alentours de 85°C. Le point de fusion est relié au taux de pureté. Plus le taux de cire est élevé, plus cette température est basse.



Cire de carnauba, [www.mon-droguiste.com/boutique/images\\_products/cire\\_carnauba\\_zoom-z.jpg](http://www.mon-droguiste.com/boutique/images_products/cire_carnauba_zoom-z.jpg)

**[Technique]** Pour utiliser la cire à l'état liquide à température ambiante, on peut préparer une **émulsion** avec une solution alcaline. Un mélange d'eau et d'ammoniaque permet d'obtenir une cire émulsifiée qui se présente comme un lait de particules solides qui ne coalescent pas.

◆ Anne Lemarquais<sup>40</sup> a expérimenté plusieurs ajouts et recettes pour la réalisation de sols en terre crue. Elle utilise, comme **traitement de finition d'une dalle en terre**, une émulsion de cire de carnauba sur un échantillon et du savon noir sur un autre. *D'après ce mémoire, ce traitement de surface semblerait apporter au sol une bonne résistance.*

#### RECETTE N°23 : SOL, TRAITEMENT DE SURFACE – CIRE DE CARNAUBA – FRANCE

- Après 18 jours de séchage de la dalle en terre, passer au pinceau une émulsion de cire de carnauba en deux passes à 3 jours d'intervalle.

◆ Sylvie Wheeler utilise pour le traitement des sols en terre, différentes huiles et cires naturelles. Plus précisément, il s'agit de produits commercialisés chez *Nature et Harmonie* :

- *l'imprégnation aux plantes*, à base, entre autres, d'huile de lin cuite et d'huiles essentielles
- *l'huile dure brillante*, mélange d'huiles (lin, bois de chine, ricin, etc.)
- *la cire durcissante*, mélange d'huiles végétales et de cire de carnauba.

#### RECETTE N°24 : SOL, TRAITEMENT DE SURFACE – HUILES ET CIRES – FRANCE

- Appliquer l'imprégnation aux plantes jusqu'à saturation ; laisser sécher pendant 24h.  
 - Passer une couche d'huile dure ; laisser sécher pendant 24 h.  
 - Appliquer la cire durcissante.

Selon les fabricants de ces produits, il faut attendre une quinzaine de jours avant que ce traitement de surface n'atteigne toute sa dureté.

<sup>40</sup> Lemarquais, A., 2008. Etude sur les sols intérieurs en terre crue. Mémoire de DSA-Terre. Ed. CRATERRE-ENSAG.

## Cire d'abeille

La cire d'abeille est très probablement utilisée dans le traitement de surface des sols en terre de la même façon que la cire de carnauba. Cependant, les sources d'informations consultées sont assez réduites et ne permettent pas de rédiger une recette précise.



Dernière couche sur un sol en terre : mélange de cire d'abeille, essence de térébenthine, huile de lin, savon noir et pigments, <http://rouletabosse.over-blog.fr/article-un-sol-en-terre-crue-57613966.html>



Traitement de surface du sol : mélange de cire d'abeille et de cire de carnauba, [brindibule.blogspot.fr/2011/01/dalle-en-terre-couche-de-finition.html](http://brindibule.blogspot.fr/2011/01/dalle-en-terre-couche-de-finition.html)

## Bibliographie – cires

Lemarquis, A., 2008. Etude sur les sols intérieurs en terre crue. Mémoire de DSA-Terre. Ed. CRAterre-ENSAG.

Fiches techniques Nature et Harmonie 2010. Liant pour glacis, huile dure, cire durcissante et imprégnation au plantes consultable : URL <http://www.natureetharmonie.fr/index.php?act=fmp&id=5> <consulté en 06/2012>

Sengupta, R., 1968. The use of Dammar as a waterproofing medium at Bayiman. The Indo-Asian culture XVII.

## PROTEINES

**[Molécules]** Les protéines sont des macromolécules du vivant, composées d'une ou plusieurs chaînes d'acides aminés. Les protéines comportent **une partie hydrophobe** (non soluble dans l'eau) **ainsi qu'une partie hydrophile** (soluble dans l'eau) : elles sont dites **amphiphiles**, ce qui en fait de très bons tensioactifs. Il existe deux grandes classes de protéines : celles dites globulaires et les protéines fibreuses.

### PROTEINES GLOBULAIRES

**[Molécules]** La plupart du temps solubles dans l'eau, les protéines globulaires jouent plusieurs rôles au sein de l'organisme. Elles peuvent assurer la catalyse de certaines réactions (enzymes), faire circuler des informations (hormones) pour réguler d'autres fonctions, transporter d'autres molécules à travers des membranes (hémoglobine) ou encore stocker des acides aminés.

### Caséine

C'est une protéine extraite du lait par différents procédés. Il s'agit d'un émulsifiant qui donne des solutions (du type huile dans l'eau) très stables. La colle de caséine est connue depuis longtemps pour **coller le bois**. Lors de la Première Guerre Mondiale et jusqu'en 1939 (arrêt pour cause de pénurie), la caséine est employée pour assembler les carcasses des avions.



A gauche : lait, <http://www.pampillebarbichette.com/lait-chevre/>.

A droite : Micelles de caséines vues au microscope, <http://www.sciencephoto.com/media/7240/enlarge>.

◆ Gisèle Taxil<sup>41</sup> utilise la caséine pour protéger les murs en pisé par un badigeon à base de **fromage blanc à 0% de matières grasses**.

#### RECETTE N°25 : BADIGEON – FROMAGE BLANC, AMMONIAC – FRANCE

- Mélanger 1 L de fromage blanc 0% de matières grasses et un petit verre à digestif d'ammoniac.
- Laisser reposer une nuit entière ; le lendemain, on obtient un **liquide translucide**.
- Ajouter à cette préparation le même volume d'eau ; des pigments et/ou des argiles peuvent être additionnés.

<sup>41</sup> Taxil, G. Recette de France à base de colle de caséine. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.



**[Mise en œuvre]** Cette peinture s'utilise dans les deux ou trois jours, avant qu'elle ne dégage une odeur très forte. Elle s'applique à la brosse ; contrairement à une détrempe, elle ne peut pas être délavée, **la prise est irréversible.**

Sylvie Wheeler utilise une variante de cette recette. Elle remplace la totalité de l'ammoniac par 1 cuillère à soupe de chaux grasse ou de bicarbonate alimentaire pour 250 g de fromage blanc 0%.

◆ Bruno Gouttry<sup>11</sup> fabrique une colle similaire à base de **caséine en poudre**, de **carbonate d'ammonium**, de craie et d'eau.

#### RECETTE N°26 : BADIGEON – CASEINE, CARBONATE D'AMMONIUM – FRANCE

- Laisser gonfler, pendant 2 h, 360 g de caséine et une quantité de carbonate d'ammonium égale à la moitié du volume de caséine, le tout dans 2 L d'eau.
- Parallèlement, laisser gonfler 5 kg de craie additionnée éventuellement de pigments, dans 2,5 L d'eau.
- Une fois la caséine gonflée d'eau, mélanger les deux préparations.
- Laisser reposer encore 30 minutes.

Les photos suivantes illustrent différents exemples d'utilisation de la caséine. La recette exacte de cet enduit, de même que celle de la peinture de la porte, n'est pas connue.



La chapelle de la Réconciliation, Berlin, Martin Rauch

A gauche : enduit de terre blanche à la caséine ; à droite : porte en bois recouverte d'une peinture noire à base d'argile et de caséine.

© Grégoire Paccoud/CRAterre-ENSAG

◆ Une autre variante<sup>42</sup> de la colle de caséine utilise de la **poudre de borax** (les quantités précisées sont pour environ 10 L de peinture couvrant entre 80 m<sup>2</sup> et 100 m<sup>2</sup>) :

#### **RECETTE N°27 : BADIGEON – CASEINE, BORAX – FRANCE**

- Dans un petit seau ou une casserole, verser 2 L d'eau ; mélanger avec un fouet 300 g de caséine afin de bien dissoudre les éventuels grumeaux.
- Ajouter, en pluie, 80 g de poudre de borax en agitant vigoureusement avec la spatule ; le mélange s'épaissit et devient translucide.
- Laisser reposer pendant 2 h.
- Pendant ce temps verser 2,5 L d'eau dans un grand seau avec 6 kg de craie en poudre et mélanger (utilisez un mélangeur à peinture monté sur une perceuse), le mélange sera très épais ; ne pas ajouter d'eau.
- Mélanger les deux préparations.
- Ajouter les pigments préalablement mouillés à l'eau et mélanger pour obtenir une couleur bien homogène (pour obtenir des couleurs plus soutenues, diminuer la dose de craie).
- Laisser reposer 30 minutes.
- Le mélange est prêt : appliquer une ou deux couches au pinceau large ou au rouleau.

#### **Bibliographie – caséine**

Bosse-Platière, A., 2012. "Faites votre peinture à la caséine". URL <http://www.terrevivante.org/222-faites-votre-peinture-a-la-caseine.htm> <consulté en 02/2012>

*Colle de caséine en poudre + borax*

Fabriquer soi-même ses peintures et enduits, 2011. . URL <http://www.bourgogne-nivernaise.com/Des-outils-pour-communiquer-et.html> <consulté en 02/2012>

FAL.ev, 2005. M1-D5-i2 in : CD «les enduits en terre». Projet Européen Leonardo da Vinci

*Plusieurs variantes de la recette de la colle de caséine*

**Gouttry, B., 2010. Peintures et enduits bio : Conseils, recettes de fabrication et mise en oeuvre. Terre Vivante Editions.**

*p. 46-47*

La maison durable: Enduit terre, une recette de Gernot Minke, 2012. URL <http://www.lamaisondurable.com/2008/11/enduit-terre-une-recette-de-gernor-minke.html> <consulté en 02/2012>

Pacocho, M., 2006. Le binôme terre/caséine. Performances de la caséine en comparaison aux liants traditionnels : chaux et ciment. Rapport de TFE. ENTPE.

Recettes de fabrication de peinture, 2012. . URL <http://www.ideesmaison.com/Decorer/Les-murs/Peinture/Faire-soi-meme-ses-peintures-et-enduits-naturels-2-2.html> <consulté en 02/2012>

**Taxil, G. Recette de France à base de colle de caséine. In : Fontaine, L., Anger, R., 2007. Série de questionnaires sur la stabilisation traditionnelle. NP.**

*Fromage blanc et ammoniac*

---

<sup>42</sup> Bosse-Platière, A., 2012. "Faites votre peinture à la caséine". URL <http://www.terrevivante.org/222-faites-votre-peinture-a-la-caseine.htm> <consulté en 02/2012>

## Albumine

**[Molécules]** Le **blanc d'œuf** et le jaune ont des compositions bien différentes. Mise à part l'eau, le blanc d'œuf est essentiellement composé de protéines, dont l'albumine. Le jaune d'œuf, quant à lui est divisé en deux : la partie grasse et la partie aqueuse. La première contient essentiellement des lipides, la deuxième de l'eau et quelques protéines, différentes de celles du blanc d'œuf.



Œufs, sante-  
medecine.Commentcamarche.net/



Gouttes d'eau sur un enduit de terre rouge de Royan avec  
du blanc d'œuf  
© Aurélie Vissac/CRAterre-ENSAG

◆ Le **blanc** a longtemps été utilisé en peinture comme **verniss**. Selon les fiches recettes d'enduit du projet ECVET Aquis.Terre<sup>32</sup>, *un blanc d'œuf pour 5 L d'enduit permettrait de **réduire la fissuration***. De plus, on peut lire que *\*le blanc d'œuf jouerait le rôle de lubrifiant entre les feuillets d'argile et économiserait l'eau de gâchage\**. Ainsi la terre présenterait moins de retrait au séchage. Combiné à la bouse de vache, les fibres de celle-ci seraient particulièrement favorables dans les enduits car le blanc d'œuf s'opposerait à la moisissure lors du séchage. Il augmente la résistance aux intempéries et diminue le retrait. **S'il est vrai que dans la pratique le blanc d'œuf apporte des modifications à la terre, cette tentative d'explication du comportement du blanc d'œuf à l'échelle des argiles (phrase entre \* \*) est incorrecte : le blanc d'œuf ne disperse pas les argiles !**

◆ Le sang :

**[Molécules]** Le sang contient de l'albumine (plasma) et de l'hémoglobine (globules rouges) parmi d'autres composés. L'hémoglobine est responsable du transport de l'oxygène, tandis que l'albumine est présente pour le maintien de la pression osmotique.

Plusieurs auteurs (cf. partie bibliographie) rapportent l'utilisation du sang dans la construction en terre et son effet protecteur. Erhard M. Winkler<sup>43</sup> affirme qu'un **badigeon** de sang appliqué sur un mur d'adobes améliorerait grandement sa **durabilité**.

## Bibliographie – albumine

Béton de terre | Recette dalle en terre, 2012. . URL <http://www.systemed.fr/forum-bricolage/b-t-111-n-terre-t39726.html> <consulté en 02/2012>

FAL.ev, 2005. M1-D5-i2 in : CD «les enduits en terre». Projet Européen Leonardo da Vinci  
*Blancs d'oeuf*

Rijven, T., 2009. *Entre paille et terre : Edition bilingue français-anglais*. Ed. Goutte de sable.  
*Utilise les blancs et les jaunes d'œufs séparément*

Winkler, E.M., 1956b. *The effect of blood on clays*. *Soil Science* 82, 157.

*sang*

<sup>43</sup> Winkler, E.M., 1956. "The effect of blood on clays". In : *Soil Science* 82, p. 157-164.

## PROTEINES FIBREUSES

**[Molécules]** Les protéines fibreuses sont de longues chaînes d'acides aminés en forme de filaments. Pratiquement insolubles dans l'eau, elles ont un rôle de structure. Parmi elles, la kératine (que l'on retrouve dans les tissus protecteurs : épiderme, poils, ongles, plumes, etc.) les collagènes (matrice extracellulaire, protéines les plus abondantes dans le corps humain), les fibroïnes (soie, cocon, toile d'araignée), etc.

### Collagène

**[Matériaux]** Du grec ancien *kolla*, colle et *gennan*, engendrer, le collagène est très présent chez les mammifères, notamment dans les os, les cartilages et la peau. C'est la matière première de la **gélatine** et **des colles d'origine animale**. Les colles d'os, dérivées du collagène, sont utilisées par l'homme depuis plusieurs millénaires, par exemple, pour assembler des pièces de bois ou lier des pigments. Tous ces produits ont la capacité de gonfler dans l'eau froide sans se dissoudre. L'augmentation de la température entraîne leur dissolution. Une gélatine est capable d'absorber environ 10 fois son poids d'eau.

◆ Bruno Gouttry<sup>11</sup> se sert de la **colle de peau** comme base d'une peinture qu'il applique sur un enduit en terre intérieur. Cette détrempe, peinture sensible à l'eau, peut se recouvrir d'une cire dans les endroits soumis aux frottements. Les proportions indiquées correspondent à la quantité couvrant 10 m<sup>2</sup> en une seule couche.



A gauche : colle de peau en paillettes, [www.mon-droguiste.com/colle-de-peau-de-lapin](http://www.mon-droguiste.com/colle-de-peau-de-lapin).  
A centre et à droite : étapes de préparation et d'application de la peinture © Bruno Gouttry

#### RECETTE N°28 : PEINTURE – COLLE DE PEAU – FRANCE

- Dissoudre 100 g de colle de peau dans 1 L d'eau froide ; attendre un petit moment avant de remuer.
- Laisser reposer pendant plusieurs heures.
- Saupoudrer 300 à 400 g de Blanc d'Espagne (craie) dans 0,5 L d'eau sans remuer ; laisser reposer.
- Faire chauffer la colle au bain marie sans la faire bouillir.
- Mélanger la colle encore chaude au Blanc d'Espagne (après avoir éliminé l'eau claire au-dessus) en remuant constamment.
- filtrer l'ensemble avant de l'utiliser, maintenir tiède en bain marie.

**[Mise en œuvre]** Selon Bruno Gouttry, *il faut, en moyenne, trois à quatre fois plus de pigments que de colle. Lorsque le mélange est homogène, on peut ajouter les pigments préparés eux aussi dans l'eau. La colle étant très claire, l'ajout de pigments permet de mieux voir le travail déjà effectué. L'application en une seule couche est conseillée. Une deuxième couche a tendance à détremper la première. Si la peinture refroidit avant d'être appliquée, il faut la remuer régulièrement pour éviter qu'elle ne gélifie.*

### Bibliographie – protéines fibreuses

Gouttry, B., 2011a. La détrempe ou peinture à la colle. Les 4 saisons du jardin bio 186, p.66–67.

*Colle de peau (collagène)*

Colles animales, 2012. . URL [http://www.meublepeint.com/colles\\_animales.htm](http://www.meublepeint.com/colles_animales.htm) <consulté en 02/2012>

*Informations sur les colles animales et leur utilisation en peinture*

Minke, G., 2004. Das neue Lehbau-Handbuch. Baustoffkunde. Leharchitektur, 6., verb. u. erw. A. ed. Ökobuch.

*Utilise des cheveux dans le corps d'enduit*

**N.B. : La kératine** est une protéine fibreuse qui constitue les poils et les plumes, les ongles, les sabots, les cornes, etc. La kératine est insensible à l'eau ainsi qu'aux solutions saline, alcaline ou acide à température ambiante. Mais, elle est altérée par les bases fortes surtout à chaud. Il y a donc peu de chance que cette protéine d'origine animale se décompose rapidement dans la terre en général – il existe des insectes, comme les mites, dits k ratophages qui sont capables de digérer la kératine. Ces fibres animales (surtout les poils et les cheveux) jouent plus probablement un rôle d'armature, augmentant la résistance à la fissuration du matériau terre.

**En résumé,** Les poils, fourrures, cheveux et autres fibres animales n'ont pas d'interaction directe avec les argiles. Ces stabilisants jouent un rôle sensiblement identique à celui de la paille sèche.



## AUTRES MOLECULES

### TANINS

Les tanins forment un groupe de molécules très répandues dans le règne végétal. On les trouve en quantités importantes chez les arbres, notamment dans l'écorce de chêne ou d'acacia, mais aussi dans beaucoup d'autres végétaux, que ce soit dans les feuilles (thé), les fruits (peau des raisins), les racines, etc.

La source la plus riche est la noix de galle ; il s'agit d'une excroissance tumorale produite sur les tiges ou les feuilles des végétaux suite aux piqûres d'animaux parasites. Les noix de galle ont été historiquement utilisées dans le tannage des cuirs ou pour fabriquer de l'encre.



Noix de galles, [www.couleurgarance.com](http://www.couleurgarance.com)

**[Molécules]** Les tanins sont solubles dans l'eau, ils sont composés de polyphénols de structure plus ou moins complexe suivant leur masse moléculaire.

**Les tanins des vins.** On dit d'un vin qu'il est tannique lorsqu'il procure une sensation d'assèchement dans la bouche. Le vin contient des tanins apportés par la peau des raisins ou les rafles (partie boisée de la grappe) ainsi que par le contact prolongé avec le bois, lors de l'élevage en fûts de chêne. Ces polyphénols sont à l'origine de cette sensation de sécheresse dans la cavité buccale : l'astringence. En effet, **les tanins ont la capacité de coaguler les protéines salivaires**, entraînant avec elles des molécules d'eau de la muqueuse buccale. La nature exacte de ces mécanismes au niveau moléculaire est assez floue car elle reste, pour le moment, non expliquée.

### Décoction de cosses de néré

◆ Lors de la rénovation de la cathédrale de Navrongo<sup>44</sup>, des techniques traditionnelles s'appuyant sur les savoir-faire locaux ont été utilisées. Navrongo se situe dans le Nord Ghana près de la frontière du Burkina Faso, c'est la capitale du district Kassena-Nankani. Dans cette région, les femmes ont la responsabilité de la décoration de leurs habitations. Elles réalisent de magnifiques peintures qui servent de protection pour les enduits en terre qui recouvrent les murs. Une décoction de cosses de néré est appliquée comme un vernis protecteur sur ces décorations.



Cosses de néré, [www.metafro.be/prelude/preludepic/Parkia\\_biglobosa.jpg](http://www.metafro.be/prelude/preludepic/Parkia_biglobosa.jpg)

**[Matériaux]** Le **néré**, de son nom anglais *Locust bean pods tree*, est arbre de la famille des **fabacées**. Les cosses de néré sont utilisées dans plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest pour stabiliser la terre. Ce sont de longues gousses suspendues en grappe et contenant de nombreuses graines noires enrobées de pulpe jaune. La **décoction de cosses de néré séchées** est désignée par différents noms locaux : *dawa-dawa* au Nord Ghana, les fruits sont appelés *assansi*, *brâa* au sud du Burkina Faso où le néré est connu sous le nom de *tiapogo*, *makuba* ou *iru* et *dorowa* au Nigeria, etc.

<sup>44</sup> Joffroy, T., Taxil, G., Moriset, S., 2005. Conservation of "Our Lady of Seven Sorrows Cathedral", Navrongo, Ghana: final report 1996-2004. Ed. CRAterre-ENSAG.



Cosses de néré ; décoction ; application du vernis protecteur © Gisèle Taxil/CRAterre-ENSAG

**RECETTE N°29 : BADIGEON – COSSSES DE NERE – GHANA**

- Tremper dans l'eau les cosses de néré séchées au moins une nuit.
- Puis, le lendemain les faire bouillir ; on obtient une eau de cuisson dont la couleur très foncée se situe entre le rouge et le noir.

**[Mise en œuvre]** Une fois l'enduit en terre posé, il est lissé à l'aide du côté plat et lisse d'une pierre. Au cours de cette opération, l'enduit est régulièrement mouillé en projetant de l'eau. Avant que l'ensemble ne sèche, la surface est polie avec une pierre dure : c'est l'étape qui correspond au « serrage » de l'enduit.

Enfin, le **vernis protecteur** est passé : le mur est aspergé de jus de néré à l'aide un petit balai végétal. Le film protecteur sèche vite et donne un aspect lisse et homogène à l'ensemble.

Cette décoction s'utilise également comme finition des sols en terre. En effet, le sol en terre de la cathédrale de Navrongo, après avoir été tassé en cadence par les femmes munies d'outils en bois, puis lissé avec une pierre lisse, est aspergé de jus de néré. Ce dernier est appliqué en deux couches successives sur toute la surface du sol.



Le sol en terre est aspergé de jus de néré © Gisèle Taxil/CRAterre-ENSAG

♦ Il existe une variante de cette recette dont la consistance finale n'est pas liquide mais assez visqueuse.

Plusieurs auteurs, comme Jacques Pibot<sup>45</sup> ou Zbigniew R. Dmochowski<sup>46</sup>, qui rapportent des recettes similaires, attribuent, à tort, la consistance visqueuse de la décoction aux cosses de néré. Or, c'est l'ajout, dans cette préparation, d'un autre produit qui lui donne cet aspect gluant : les écorces *ampoa* ou les feuilles gluantes.

Ecorces *ampoa*, feuilles gluantes, écorces *ampoa* et cosses de néré © Gisèle Taxil/CRAterre-ENSAG

<sup>45</sup> Pibot, J., 2003. Les peintures murales des femmes Kasséna du Burkina Faso, L'Harmattan. Ed. L'Harmattan.

<sup>46</sup> Dmochowski, Z.R., 1990. An Introduction to Nigerian Traditional Architecture: Northern Nigeria. Ed. Ethnographica.

Selon le rapport de la rénovation de la cathédrale de Navrongo<sup>44</sup>, les femmes de Sigiru réalisent leur décoction à partir de cosses de néré et d'écorce, dans les mêmes proportions. Celles de Navrongo n'ont pas coutume d'utiliser cette écorce rendant l'eau gluante.

**[Matériaux]** On trouve parmi les différentes espèces d'arbres proches du *néré* (*Parkia Biglobosa*), traditionnellement employés (graines et cosses) dans la construction en terre, le *nitta tree* (*Parkia Filicoidea*), le *caroubier* (*Ceratonia Siliqua*) et l'*algarrobo* (*Hymenaea Courbaril*).



A gauche : *Parkia Biglobosa*, [fr.wikipedia.org/wiki/Parkia\\_biglobosa](http://fr.wikipedia.org/wiki/Parkia_biglobosa) ; au centre : *Ceratonia Siliqua*, [fr.wikipedia.org/wiki/Ceratonia](http://fr.wikipedia.org/wiki/Ceratonia) ; à droite : *Hymenaea Courbaril*, [www.achetudoeregiao.com.br/arvores/jatoba.htm](http://www.achetudoeregiao.com.br/arvores/jatoba.htm).

### Bibliographie – cosses de néré

- Bourgès, A., 2002. Contribution aux recherches pour la préservation d'enduits de terre stabilisés au bitume et de décors polychromes : cathédrale de Navrongo, Nord Ghana. Mémoire de DEA Terre. Ed. CRAterre-ENSAG.
- Bourgès, A., 2004. Conservation of our lady of seven sorrows cathedral and safeguarding the tradition of decoration of the nankani women. part 2 : analytical research on Nankani Polychrome decoration. Presented at the The Conservation of Decorated Surfaces on Earthen Architecture.  
*Texte issu de son mémoire de DEA*
- Dmochowski, Z.R., 1990. An Introduction to Nigerian Traditional Architecture: Northern Nigeria. Ed. Ethnographica.  
*p. 1.7*
- Joffroy, T., Taxil, G., Moriset, S., 2005. Conservation of "Our Lady of Seven Sorrows Cathedral", Navrongo, Ghana: final report 1996-2004. Ed. CRAterre-ENSAG.
- Kéré, B., 1995. Architecture et cultures constructives du Burkina Faso. CRAterre-ENSAG.  
*p. 40*
- Merschmeyer, G., 1991. Recipes for the making of wall paint, wall plaster, non-cement concrete.
- Pibot, J., 2003. Les peintures murales des femmes Kasséna du Burkina Faso. Ed. L'Harmattan.**
- Schreckenbach, H., Abankwa, J.G.K., 1983. Construction technology for a tropical developing country. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit for the Dept. of Architecture, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana.  
*p. 27-38;30*
- Shekede, L., Rickerby, S., 2004. Theory into Practice : Establishing compatibility in Earth-Based Repair Materials. Presented at the The Conservation of Decorated Surfaces on Earthen Architecture.  
*Analyse des composants de peinture*



## Gousses d'Acacia

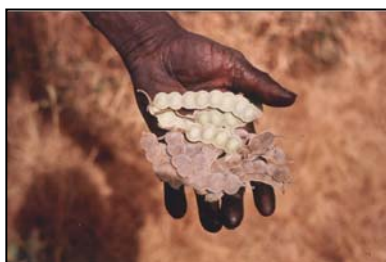
**[Matériaux]** Le *Gonakié*, ou *Gommier rouge*, de son nom latin *Acacia Nilotica*, est un arbre qui pousse du Sénégal au Soudan. Il fait partie de la famille des **Fabacées**.

◆ L'obtention du jus des cosses d'acacia<sup>47</sup> est proche de la recette précédente à base de cosses de néré.

### RECETTE N°30 : BADIGEON, EAU DE GACHAGE – GOUSSES D'ACACIA– BURKINA

- Collecter un seau de gousses d'acacia séchées au soleil et trois ou quatre poignées de pierres de limonite.
- Les faire bouillir dans un volume d'eau équivalent à quatre seaux, pendant 2 h.
- Filtrer

**[Mise en œuvre]** Le jus des cosses d'acacia est appliqué comme un **badigeon** ou bien mélangé dans la masse de l'enduit (type terre-paille).



En haut : quelques cosses d'acacia, pierres de limonite (quantité nécessaire) ;

En bas à gauche : étape de préparation du jus d'acacia ; en bas à droite : application du badigeon. © Hugo Houben/ CRAterre-ENSAG.

## Bibliographie – gousses d'acacia

Houben, H., 1996. Recherche sur la stabilisation des enduits (et mortiers) avec du jus d'acacia. Reportage photographique sur une expérimentation empirique menée à Kamboincé (30kms de Ouagadougou) au Burkina Faso en 1979. Ed. CRAterre-ENSAG.

*Recette en photos*

Doat, P., 1991. Etude sur les savoirs constructifs au Burkina Faso. Ed. CRAterre-ENSAG.

Complémentaire du reportage d'Hugo Houben : même lieu, mêmes essais p. 72

<sup>47</sup> Houben, H., 1996. Recherche sur la stabilisation des enduits (et mortiers) avec du jus d'acacia. Reportage photographique sur une expérimentation empirique menée à Kamboincé (30kms de Ouagadougou) au Burkina Faso en 1979. Ed. CRAterre-ENSAG.

## RESINES

**[Matériaux]** Les résines naturelles sont majoritairement d'origine végétale. Sécrétées par les plantes, elles ont un rôle répulsif pour les prédateurs et cicatrisant pour elles-mêmes. Selon François Perego<sup>33</sup>, est classée parmi les résines naturelles « toute **sécrétion organique, transparente, amorphe, dure, cassante, non volatile, insoluble et ne gonflant pas dans l'eau (ce qui les distingue des gommes), solubles dans l'alcool (ce qui les différencie des cires) et fusible. Toutefois, souffre nombre d'exceptions : ainsi l'ambre ne respecte pas les deux derniers points dans un traitement préalable et la résine dammar comprend un important insoluble dans l'alcool [...].** »

Au niveau de la **composition chimique**, il est difficile d'y voir clair : **les résines sont complexes**, elles comportent une fraction résineuse et une autre non résineuse. De plus, la composition d'une résine varie suivant le sol, le climat, l'insolation, l'altitude, l'exposition au vent, l'âge et la santé de l'arbre, la période, les conditions de récolte, etc. Deux grands groupes se distinguent : les résines à esters et les résines terpéniques.

### Dammar

Les dammars sont des résines (terpènes) naturelles sécrétées par différents arbres de la famille des Diptérocarpacées du Sud-Est asiatique. Maria Isabel Beas<sup>19</sup> évoque son utilisation traditionnelle dans les enduits en terre pour son excellente capacité d'**adhésion**.



Résine dammar,  
<http://www.beaux-arts.eu.com/index.php?cPath=53>

De même, sont évoquées dans la littérature les **résines de copal et de manille**<sup>48</sup>.

### Latex

De nombreuses plantes contiennent des latex. La plus exploitée est l'hévéa, *Hevea Brasiliensis*, originaire d'Amérique intertropicale. Actuellement 95% du caoutchouc naturel utilisé dans le monde vient de l'hévéa.

**[Molécules]** Le caoutchouc est un polyterpène de masse moléculaire importante. Ces molécules sont comme de très longs spaghettis enchevêtrés dans tous les sens. Le latex se présente sous la forme d'un sérum contenant en suspension des molécules de caoutchouc. La proportion d'eau est d'environ 65%.

Le latex<sup>49</sup>, directement projeté sur des murs en terre, **forme un film blanc, dur et élastique qui serait connu pour être une bonne protection contre l'érosion causée par les tempêtes tropicales.**

### Bibliographie – résines

- Beas, M.I.G., 1991. Traditional architectural renders on earthen surfaces. University of Pennsylvania. (thèse)  
U.S. Department of Housing and Urban Development, 1955. Earth for homes.  
Warren, J., 1999. Conservation of earth structures. Ed. Butterworth-Heinemann.

<sup>48</sup> Warren, J., 1999. Conservation of earth structures. Ed. Butterworth-Heinemann.

<sup>49</sup> U.S. Department of Housing and Urban Development, 1955. Earth for homes.



## CONCLUSION

Les recettes de stabilisation traditionnelle sont nombreuses et très variées. Ce cahier de recettes met en relief une trentaine de recettes et leurs variantes tirées d'un corpus constitué d'environ 150 références bibliographiques et d'une vingtaine de questionnaires récoltés au cours d'une enquête menée il y a quelques années. Cette recherche couvre tous les continents à l'exception de l'Océanie.

Les principaux ingrédients de ces recettes ont été classés selon les molécules qui les composent, macromolécules susceptibles d'interagir avec les argiles. Suite à ce travail, certains de ces biopolymères font l'objet de recherches menées en laboratoire afin de détailler et de comprendre leur rôle dans la stabilisation de la terre.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achard, P., 2008. Stabilisation organique de la terre comme matériau de construction. Rapport de PFE. INSA de Lyon.
- Achenza, M., Fenu, L., 2006. "On Earth Stabilization with Natural Polymers for Earth Masonry Construction". In: *Materials and Structures* 39, p.21–27.
- Aga Khan Trust for Culture (AKTC), Ministère de la Culture du Mali, 2007. Grande Mosquée de Mopti. Ed. AKTC.
- Aranda, J., 2010. "Características del BTC ante diferentes concentraciones de mucílago de nopal y sábila agregadas al agua de mezclado". *TURevista Digi.U@T* Julio 2011. Año 5 Núm. 19. URL [www.turevista.uat.edu.mx](http://www.turevista.uat.edu.mx)
- Arkema, R.E., 2000. Tannin in earthen architecture: a case study on the use of tannin as an amendment for adobe preservation.
- Ashurst, J., 1984. Mortars, Plasters and Renders in conservation. Ed. Ecclesiastical Architects' and Surveyors' Association (EASA).
- Attom, M.F., Al-Sharif, M.M., 2005. "Soil stabilization with burned olive waste". In: *Applied Clay Science* 13, p.219.
- Auroville Earth Institute, 1997. Works specifications. Ed. AV-BC.
- Bakker, K.A., van Vuuren, C.J., 2004. "Change and continuity in Nedebele Earthen architecture : toward a model for conservation of meaning in architectural decoration". Presented at the The Conservation of Decorated Surfaces on Earthen Architecture.
- Balderrama, A.A., Teutonico, J.M., 1983. "Notes on the manufacture of Adobe Blocks for the Restoration of Earthen Architecture". Ed. ICCROM, UNESCO, UNDP.
- Beas, M.I.G., 1991. Traditional architectural renders on earthen surfaces. University of Pennsylvania. (thèse)
- Becker, G., 2012. Unasyva - No. 111 - Les termites - URL <http://www.fao.org/docrep/h2575f/h2575f01.htm>
- Béton de terre | Recette dalle en terre, 2012 . URL <http://www.systemed.fr/forum-bricolage/b-t-111-n-terre-t39726.html>
- Boisseau, N., 2009. Peindre et décorer au naturel, 3e ed. Editions Alternatives.
- Boisseau, N., 2011. Peindre et décorer au naturel : Tome 2. Editions Alternatives.
- Bosse-Platière, A., 2012. Faites votre peinture à la caséine. Editions Terre Vivante. URL <http://www.terrevivante.org/222-faites-votre-peinture-a-la-caseine.htm>
- Bouaré, N., 1983. "Raw earth techniques (banco) used in Mali". In : Adobe international symposium and training workshop on the conservation of adobe. Proceedings of the international symposium. Lima-Cusco Peru. Final report and majors papers, p. 117-120.
- Bourgès, A., 2002. Contribution aux recherches pour la préservation d'enduits de terre stabilisés au bitume et de décors polychromes : cathédrale de Navrongo, Nord Ghana. Mémoire de DEA. Ed. CRATerre-ENSAG.
- Bourgès, A., 2004. "Conservation of our lady of seven sorrows cathedral and safeguarding the tradition of decoration of the nankani women. part 2 : analytical research on Nankani Polychrome decoration". Presented at the The Conservation of Decorated Surfaces on Earthen Architecture.
- Bourgès, A., Joffroy, T., Taxil, G., 2002. Les surfaces décorées de la cathédrale de Navrongo "Our Lady of seven sorrows" au nord du Ghana. Ed. Errance.

- Buson, M.A., 2009. Krafterra. Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes de reciclagem de sacos de cimento para vedação certical. Universidade de Brasilia (thèse).
- C., C., 1989. "Influence of a fungal polysaccharide, scleroglucan, on clay microstructures". In : Soil Biology and Biochemistry 21, p. 299–305.
- Caperton, T.J., n.d. "Fort selden ruins stabilization". Agricultural Experiment Sattion, 1940. Bulletin 336. Paints and Plasters for Rammed Earth Walls.
- Caperton, T.J., Cohrs, T.J., 1983. Fort Selden, New Mexico. Fort Selden Monument. Ed. Museum of New Mexico Press.
- Ceballos, M., 1990. « Restauracion de adobe en edificios coloniales de Antigua Guatemala ». Presented at the 6th international conference on the conservation of earthen architecture : Adobe 90 Preprints, Las Cruces, New Mexico. Ed. The Getty Conservation Institute.
- Cerro, M., Baruch, T., 2011. Enduits terre & leur décor, mode d'emploi. Ed. Eyrolles.
- Chandra S., Eklund L., Villarreal R.R., 1998. "Use of Cactus in Mortars and Concrete". In : Cement and Concrete Research 28, p.41–51.
- Chenu, C., 1985. "Etude expérimentale des interactions argiles-polysaccharides neutres. Contribution à la connaissance des phénomènes d'agrégation d'origine biologique dans les sols". (thèse)
- Chenu, C., 1993. "Clay- or sand-polysaccharide associations as models for the interface between micro-organisms and soil: water related properties and microstructure". In : Geoderma 56, p.143–156.
- Claverie, A., Ruynat, C., Bogoreh, S., Banos Robles, B., 1977. La construction en banco à As-Eyla. Vers une conception de l'habitat adapté aux spécifités locales. Ed. s.n.
- Clifton, J.R., 1977. "Preservation of historic adobe structures-a status report". United States Department of Commerce, National Bureau of Standards.
- Collectif, 2010. Les enduits de façade : Chaux, plâtre, terre. Connaître, exécuter, restaurer. Ed. Eyrolles.
- Colles animales, 2012. URL [http://www.meublepeint.com/colles\\_animales.htm](http://www.meublepeint.com/colles_animales.htm)
- Courtney-Clarke, M., 1990. Tableaux d'Afrique. L'art mural des femmes de l'Ouest. Ed. Arthaud.
- D'Ornano, S., 1989. Campagne d'essais d'enduits juin à septembre 1989. N'Djaména, Tchad. Ed. CMC.
- De Vos, A., 1983. A survey of the Painted Mud Viharas of Sri Lanka. Ed. ICCROM, UNESCO, UNDP.
- Deswaene, F., n.d. Utilisations des termites et termitières par les paysans Mossi du plateau central burkinabé. Mémoire de fin d'étude. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux.
- Dmochowski, Z.R., 1990a. An Introduction to Nigerian Traditional Architecture: Northern Nigeria. Ed. Ethnographica.
- Dmochowski, Z.R., 1990b. An Introduction to Nigerian Traditional Architecture: South-West and Central Nigeria. Ed. Ethnographica.
- Dmochowski, Z.R., 1990c. An Introduction to Nigerian Traditional Architecture: South-Eastern Nigeria, the Igbo-speaking Areas. Ed. Ethnographica.
- Doat, P., 1991. Ministère de l'enseignement de base et de l'alphabétisation de masse, Bureau du projet Education III. Etude sur les savoirs constructifs au Burkina Faso. Ed. CRAterre-ENSAG.
- Dreyfus, J., 1954. "Peintures et moyens de protection divers pour la construction en terre ou en terre stabilisée". In : Peintures pigments vernis.

- Ephoevi-Ga, F., 1978. La protection des murs en banco. In : Bulletin d'information n°9. Ed. CCL, Ministère des Travaux Publics, Togo. p. 44-57.
- Eschenbrenner, V., 1986. Contribution des termites à la microagrégation des sols tropicaux. Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, 22 (4), p. 397-408.
- Even H., Guernoc E., 1987. "Enduits à la terre et à la balle d'avoine" In : Tiez Breiz, Maisons et paysages de Bretagne n°8. p 32-34.
- Fabriquer soi-même ses peintures et enduits, 2011. . URL <http://www.bourgogne-nivernaise.com/Des-outils-pour-communiquer-et.html>
- Fadli, A., 1995. Protection de murs en terre non stabilisée. Cas des enduits en terre. Ed. CRAterre-ENSAG.
- FAL.ev, 2005. M1-D5-i2 in : CD «les enduits en terre». Projet Européen Leonardo da Vinci
- Garcia Verduch, A., 1990. "Materiales de construccion para viviendas de bajo coste". Presented at the Navapalos 1987. III encuentro de trabajo sobre la tierra como material de construction.
- Gardi, R., 1974. Maisons africaines: l'art traditionnel de bâtir en Afrique occidentale. Elsevier Séquoia.
- Gouttry, B., 2010. Peintures et enduits bio : Conseils, recettes de fabrication et mise en oeuvre. Ed.Terre Vivante.
- Gouttry, B., 2011a. "La détrempe ou peinture à la colle". In : Les 4 saisons du jardin bio 186, p.66–67.
- Gouttry, B., 2011b. "Ma peinture à la patate". In : Les 4 saisons du jardin bio 190, p.68–69.
- Griffin, I., 1999. Earthen grouts in wall painting conservation: an investigation of their working properties and performance characteristics. University of London, Courtauld Institute of Art, Conservation of Wall Painting Departement.
- Guelberth, C.R., Chiras, D., 2002. The Natural Plaster Book: Earth, Lime, and Gypsum Plasters for Natural Homes. New Society Publishers.
- Hammond, A.A., 1973. "Prolonging the life of earth buildings in the tropics". In : Building Research and Practice 1, p. 154–163.
- Hasbani, N., 1978. Amélioration des propriétés mécaniques de deux argiles par voie chimique particulièrement par l'emploi de cendres végétales. Ed. USMG.
- Heredia Zavoni, E.A., Bariola Bernales, J.J., Neumann, J.V., Mehta, P.K., 1988. "Improving the moisture resistance of adobe structures". In : Materials and Structures 21, p. 213–221.
- Houben, H., 1975. Technologie du béton de terre stabilisé pour l'habitat (No. F BT 003). Ed. CRAterre-ENSAG.
- Houben, H., 1996. Recherche sur la stabilisation des enduits (et mortiers) avec du jus d'acacia. Reportage photographique sur une expérimentation empirique menée à Kamboincé (30kms de Ouagadougou) au Burkina Faso en 1979. Ed. CRAterre-ENSAG.
- Hoyle, A.M., 1990. "Chan-Chan : Aportes para la concervacion de la arquitectura de tierra ». Presented at the 6th international conference on the conservation of earthen architecture : Adobe 90 Preprints, Las Cruces, New Mexico : The Getty Conservation Institute.
- Iroko, A.F., 1996. L'homme et les termitières en Afrique. Ed. KARTHALA.
- Isomura, M., 1998. Le mur en terre japonais. Mémoire CEAA-Terre. Ed. CRAterre-ENSAG.
- Joffroy, T., 1997. Conservation of the "Our Lady of Seven Sorrows Cathedral", Navrongo-Ghana. The Gety Grant Project ; GAIA Project ; Ghana Museums and Mouvments Board.
- Joffroy, T., 2005. Les pratiques de conservation traditionnelle en afrique. Ed. ICCROM.



- Joffroy, T., Moriset, S., 1996. Chantiers pilotes de formation à la conservation des mosquées de Tombouctou. Rapport de mission. Tombouctou, Mali. Ed. ICCROM, CRATERRE-ENSAG, UNESCO, Centre du patrimoine Mondiaux.
- Joffroy, T., Taxil, G., Moriset, S., 2005. Conservation of "Our Lady of Seven Sorrows Cathedral", Navrongo, Ghana: final report 1996-2004. Navrongo Catholic Mission. Ed. CRATERRE-ENSAG.
- Kéré, B., 1995. Architecture et cultures constructives du Burkina Faso. Ed. CRATERRE-ENSAG.
- La maison durable: Enduit terre, une recette de Gernot Minke, 2012. URL <http://www.lamaisondurable.com/2008/11/enduit-terre-une-recette-de-gernot-minke.html>
- Langlois, O., Otto, T. The building of a down-draft furnace at Molkwo (Mandara Mountains, Northern Cameroon) in 1989 : description of a particularly sophisticated pattern of furnace.
- Lemarquis, A., 2008. Etude sur les sols intérieurs en terre crue. Mémoire de DSA-Terre. CRATERRE-ENSAG.
- Mangin, L., 2010. Pour la Science - Actualité - Le riz gluant fait le mur. URL [http://www.pourlascience.fr/ewb\\_pages/a/actualite-le-riz-gluant-fait-le-mur-25276.php](http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/actualite-le-riz-gluant-fait-le-mur-25276.php)
- Manu, F.W., 2006. "The forgotten hands" - documentation of Ghanaian indigenous knowledge and skills in earth construction-case study of kogle, upper west region, Ghana. Mémoire DPEA. CRATERRE-ENSAG.
- Manu, F.W., Baiden-Amissah, P.D., Boadi, J.K., Amoah-Mensah, K., 2009. Some material improvement options for earth construction in northern Ghana: a key factor in reducing the impact of recent floods on housing, in: 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies, NOCMAT 2009, Conference Proceedings.
- Matero, F., 1997. Managing change. Conservation of Surface Finishes at Mesa Verde's Cliff Dwellings. CRM 20. Ed. US Department of the Interior, National Park Service, Cultural Resources.
- Matero, F., Bass, A., 1994. Orphans of the storm. The Preservation of Architectural Plasters in Earthen Ruins. CRM 17. Ed. US Department of the Interior, National Park Service, Cultural Resources.
- Merschmeyer, G., 1991. Recipes for the making of wall paint, wall plaster, non-cement concrete. Ed. Misereor.
- Minke, G., 2004. Das neue Lehm-Bau-Handbuch. Baustoffkunde. Lehmarchitektur, 6., verb. u. erw. A. ed. Ökobuch.
- Minke, G., 2009. Building with earth: design and technology of a sustainable architecture. Birkhäuser.
- Mohaman, H., Elundu, L., 1996. La case obus, témoignage d'une intelligence constructive. Ed. ENSAG, L'Anonyme Distingué.
- Moles, O. Restauration des structures en terre crue en fonction de leur technologie de construction. Ed. CRATERRE-ENSAG.
- Moles, O., 2007. Principales pathologies (en particulier sur les enduits extérieurs) et suggestions d'améliorations. DRAFT. Ed. CRATERRE-ENSAG.
- Mollien, G.T., Deschamps, H., 1967. L'Afrique occidentale en 1818. Vue par un explorateur français Gaspard Théodore Mollien. Prés. de Hubert Deschamps. Calmann-Lévy.
- Moréteau, S., 2012. Enduits de terre crue : Techniques de mise en oeuvre et conseils de professionnels. Ed. Terre Vivante.
- Moriset, S., 2001. Asante traditional buildings, Kumasi, Our Lady of seven sorrows Cathedral, Navrongo, Ghana, 24 November to 15 December 2001. Ed. CRATERRE-ENSAG.
- Moriset, S., 2009. Reconstruction of the Wa Naa Yiri, Ghana : Second mid-project report. Ed. CRATERRE-ENSAG, Ghana Museum and Monuments Board.

- Mukerji, K., 1994. Stabilizers and mortars. Ed. CRAterre-ENSAG.
- Neumann, J.V., Bariola Bernales, J.J., 1990. "Construcciones de tierra, en el Peru de hoy". Presented at the 6th international conference on the conservation of earthen architecture : Adobe 90 Preprints, Las Cruces, New Mexico : The Getty Conservation Institute.
- Neumann, J.V., Heredia Zavoni, E.A., Bariola Bernales, J.J., 1986. "Preservation of adobe construction in rainy areas". Presented at the CIB.86: advancing building technology : proceedings of the 10th Triennial Congress of the International Council for Building Research, Studies and Documentation, The Council.
- Niazi, Z., 1991. Comparative analysis of plasters for soil block walls.
- Niazi, Z., 1992. Soil-based plasters. Low cost option for protection of earth walls. Development Alternatives 2.
- O'Rourke, M.K., 1983. "Pollen from adobe brick". In : Journal of Ethnobiologie 3, p. 39–48.
- Odiana, I., 2004. "The preservation of Earth wall surface finishes in historic buildings of Northern Nigeria : a case of study of Babban Gwani, Bauchi, Nigeria". Presented at the The Conservation of Decorated Surfaces on Earthen Architecture.
- Oliver, A., 2008 "Modified Earthen Materials". In : Terra Litterature Review : An overview of Earthen architecture conservation p. 97–107.
- Oliver, A., 2000. Adobe test wall project. Phase I Final report. Fort Selden State Monument. New Mexico.
- Pacocha, M., 2006. Le binôme terre/caséine. Performances de la caséine en comparaison aux liants traditionnels : chaux et ciment. Rapport de TFE. ENTPE.
- Perego, F., 2005. Dictionnaire des matériaux du peintre. Ed. Belin.
- Pibot, J., 2003. Les peintures murales des femmes Kasséna du Burkina Faso, L'Harmattan. Ed. L'Harmattan.
- Politis, K.D., 1995. "An Ethnoarchaeological Study on the Technology and Use of Adobe in the Jordan Rift Valley". In : Department of Antiquities, Amman, Jordan Studies in the History and Archaeology of Jordan V : art and technology throughout the ages. p. 321–324
- Pollack, E., Richter, E., n.d. Technik des Lehmbaues: Grundlagen f. Entwurfsbearb., Bauleitg u. Verl. Technik.
- Qisheng, D., 1985. Traditional measures of moistureproof in raw soil architecture in China. Architectural Society of China, Beijing, p. 64–68.
- Recettes de fabrication de peinture, 2012. URL <http://www.ideesmaison.com/Decorer/Les-murs/Peinture/Faire-soi-meme-ses-peintures-et-enduits-naturels-2-2.html>
- Rijven, T., 2009. Entre paille et terre : Edition bilingue français-anglais. Ed. Goutte de sable.
- Roberto, M., 2005. "Sisal fibre reinforced soil with cement or cactus pulp in bahareque technique". In : Cement and Concrete Composites 27, p. 611–616.
- Röhlen, U., Ziegert, C., 2011. Earth Building Practice. Beuth Verlag.
- Rowe, R., 1992. "Cow dung render". In: The Owner Builder p.28–29.
- Roy, V.L., Bertone, P., Wheeler, S., 2012. Les enduits intérieurs: Chaux, plâtre, terre. Connaître et exécuter. Les compositions mixtes. Les finitions décoratives. Ed. Eyrolles.
- Rubaud, M., Bonnet, D., 1986. Improvement of the earth used as construction material by organic stabilizers. Ed. CIB.
- Ruskulis, O., 1996. "Examples of the successful application of indigenous knowledge". In : BASIN News 12.
- s. n., 1994. "Earth makes waste materials useful". In: BASIN - News 7.

- Saag, L.M.K., Sanderson, G.R., Moyna, P., Ramos, G., 1975. "Cactaceae mucilage composition". In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 26, p. 993–1000.
- Scherrer, O., 2006. Informations recueillies lors d'un séjour au Mali. URL <http://www.djenne-patrimoine.asso.fr/racine/dp21.htm>.
- Scherrer, O., Brunet-Jailly, J., 2011. "Un savoir-faire en grand danger de disparition : la construction en djenné ferey au Mali". In : *Les cultures constructives de la brique crue, échanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue volume 3*. Ed. de L'Espérou.
- Schneider, U., Schwimann, M., Bruckner, H., 1996. *Lehmbau für Architekten und Ingenieure*. Werner, Neuwied.
- Schreckenbach, H., 1992. *Economic building with locally produced building materials*. Ed. s.n.
- Schreckenbach, H., 1985. *Mud as a building material in developing country - primitive or appropriate ?* GATE.
- Schreckenbach, H., 2004. *Building with Earth*. Consumer information, Dachverband Lehm e.V. ed.
- Schreckenbach, H., Abankwa, J.G.K., 1983. *Construction technology for a tropical developing country*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit for the Dept. of Architecture, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana.
- Schultz, L.G., Olphen, H.V., Mumpton, F.A., (U.S.), G.S., Research, I.A. for C., 1987. *Proceedings of the International Clay Conference, 1985: Denver, Colorado, July 28 to August 2, 1985 : organized by the Clay Minerals Society and the United States Geological Survey under the auspices of Association Internationale pour l'Étude des Argiles*. Clay Minerals Society.
- Selwitz, C., 1992. *Recent Adobe Stabilization Studies at Fort Selden*. ICOMOS newsletter.
- Selwitz, C., 1995. "Saving the Fort Selden ruins. the use of a composite blend of chemicals to stabilize fragile historic adobe". In : *Conservation and Management of Archeological Sites 1*, p. 69–71.
- Sengupta, R., 1968. "The use of Dammar as a waterproofing medium at Bayiman". In : *The Indo-Asian culture XVII*.
- Shekede, L., Rickerby, S., 2004. "Theory into Practice : Establishing compatibility in Earth-Based Repair Materials". Presented at the *The Conservation of Decorated Surfaces on Earthen Architecture*.
- Sidi, A.O., 2006. *Monuments et savoir-faire traditionnel : le cas des mosquées de Tombouctou*. Museum International, Afrique : les succès d'un continent.
- Silver, C.S., 1990. *Examination of mural paintings and plasters at Aztec ruins and Fort Davis*. Conservation of Cultural Property.
- Solanke, O., 1990. "Mud wall and cement plaster deterioration patterns". Presented at the *The Nigerian indigenous building materials seminar*.
- Stulz, R. et al., 1997. "Matériaux de construction appropriés". In : ITDG Publishing.
- Taxil, G., 2004. *Navrongo cathedral, Ghana, Mission report, November 12th to December 21st 2003*. Ed. CRAterre-ENSAG, Ambassade de France au Ghana, Ghana Museums and Monuments Board.
- Taxil, G., 2004. "Conservation of our lady of seven sorrows cathedral and safeguarding the tradition of decoration of the nankani women. part 1 : Preservation of the Nankani tradition of wall decoration". Presented at the *The Conservation of Decorated Surfaces on Earthen Architecture*.
- Taylor, M.R., 1986. *Fort Selden test wall status report*. New Mexico State Monuments.
- Taylor, M.R., 1987a. *Fort selden test wall project Second anual status report*. Museum of New Mexico.
- Taylor, M.R., 1987b. *Fort selden test wall status report*. Ed. s.n.

- Tibbets, J.M., 1989. The earthbuilders' encyclopedia: the master alphabetical reference for adobe & rammed earth. Southwest Solaradobe School.
- Torraca, G., Chiari, G., Gullini, G., 1972. "Report on mud brick preservation". In : Mesopotamia 1972, p. 259–286.
- U.S. Department of Housing and Urban Development, 1955. earth for homes.
- Velasco De Pedro, F., 1987. "Consideraciones científicas sobre la incorporacion de materiales organicos en la preparacion de adobes". Presented at the Navapalos 1987. III encuentro de trabajo sobre la tierra como material de construction. Año internacional de las personas sin hogar, p. 103-106.
- Venkatarama Reddy, B.V., 1985. "Partial stabilization of soils using organic binders". In : Proceedings of the ASTRA seminar, p. 55-57.
- Warren, J., 1999. Conservation of earth structures. Butterworth-Heinemann.
- Weismann, A., Bryce, K., 2008. Using Natural Finishes: Lime and Clay Based Plasters, Renders and Paints - A Step-by-step Guide, illustrated ed. Green Books.
- Weismann, A., Bryce, K., 2010. Construire en terre facilement. La technique du cob. Ed. La plage.
- Westermarck, M., 2000. "Modern clay building products". In: Terra 2000 Postprints. 8th International Conference on the study and conservation of earthen architecture.
- Wieczorek, J.-P., 1994. Sauvergarde des trois Grandes Mosquées de Tombouctou : Djingareiber, Sankore, Sidi Yahia. Rapport sur l'état de conservation. UNESCO.
- Winkler, E.M., 1956a. "Influence of sun heat on clays". In : Soil Science 82, p. 193.
- Winkler, E.M., 1956b. "The effect of blood on clays". In : Soil Science 82, p. 157.
- Wolfskill, L.A., Dunlap, W.A., Gallaway, B.M., Development, U.S.A. for I., 1963. Handbook for building homes of earth. Dept. of Housing and Urban Development, Office of International Affairs.
- Zheng, J., 1994. Approaches to the treatment of wall paintings on clays based render outside China since 1949 : a review. University of London, Courtauld Institute of Art, Conservation of wall painting departement, University of London.
- Zheng, J., 2004. "Choice of materials for the conservation of wall paintings on earthen supports in china". Presented at the The Conservation of Decorated Surfaces on Earthen Architecture.



**Doctorats de Laetitia Fontaine & Romain Anger**  
**Questionnaire**

**« Recettes » - Ajouts organiques et inorganiques au matériau terre**

*(Attention : 1 fiche par produit)*

**Nom / Prénom :**

**1- Contexte**

- J'ai moi-même réalisé...
- J'ai vu quelqu'un réaliser...
- J'ai entendu un témoignage de quelqu'un qui a réalisé...
- J'ai entendu un témoignage de quelqu'un qui a vu quelqu'un réaliser...
  - ...la préparation
  - ...le mélange
  - ...la mise en œuvre
- J'ai lu...

Références des documents :

**2- Lieu**

2.1- Pays

2.2- Localité (le plus précis possible)

**3- Noms (local, d'usage, « scientifique », etc.)**

**4- Origine de l'ajout (végétale / animale / minérale, quel arbre, quelle plante, quel animal, etc.)**

**5- Description de l'ajout la plus complète possible**

**6- Type de terre**

**7- Technique (enduit, pisé, torchis, bauge, adobe, BTC, etc.)**

**8- Si enduit, description du support**

**9- Recette(s)**

9.1- Préparation de l'ajout

9.2- Autre(s) constituant(s) complémentaire(s)

9.3- Mélange

9.4- Mise en œuvre

**10- Description du « produit obtenu »**

**11- Interaction (supposée ou vérifiée) entre l'ajout et le matériau terre**

**12- Propriétés attendues**

**13- Propriétés obtenues**

**14- Avez-vous à votre disposition des échantillons ? Si oui, où ?**

**15- Avez-vous à votre disposition des documents? Si oui, références ?**

**16- Avez-vous à votre disposition des photos ?**