

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
Première partie



**école nationale
supérieure
architecture
grenoble**

Avril 2012

Aurélien 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.

Introduction	1
Polysaccharides	1

Cellulose et lignine

Bouse de vache et crottin	2
Balle de riz	4
Autres fibres fermentées	6
Papier washi	7
Méthylcellulose	7
Terre de termitière	8

Jus végétaux gélatineux

Tiges et feuilles de bananier	8
Eau gluante	9
Cactus	10
Agave	11
Aloe Vera	12
Algue	12

Amidon

Farine de blé	13
Fécule de pomme de terre	14
Riz gluant	15
Résidus de distillation de manioc et de maïs fermentés	15

Gommes naturelles

Gomme arabique	15
Gomme de guar	16
Gomme xanthane	16

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 feuillettes 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 oeuvre, sont mises en relief dans les paragraphes intitulés "matériaux", "molécules", " mise en oeuvre" 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).

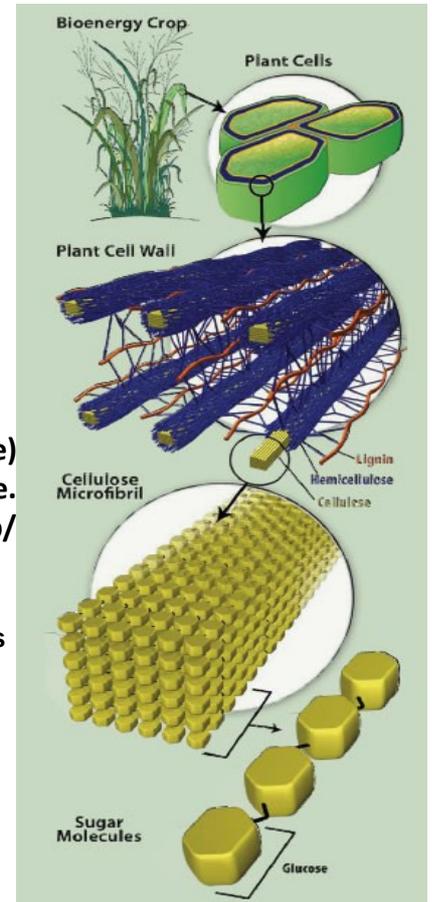
CELLULOSE ET LIGNINE

Molécules : La cellulose et la lignine sont les principaux composants (Schéma représentant la lignine (rouge) et la cellulose (jaune) d'une plante. www.lbi.gov/Publications/YOS/Feb/), 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/



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

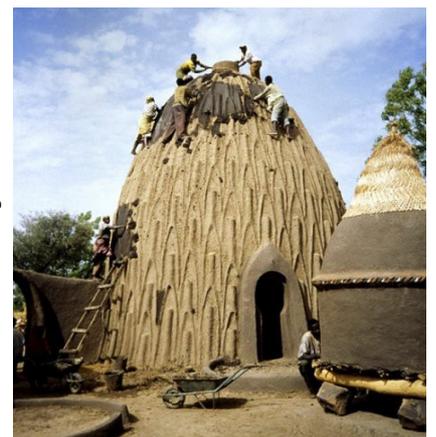
• Basile Kéré: décrit les différentes étapes de la préparation d'un **enduit en terre**, à base d'excréments d'animaux, communément utilisé au Burkina Faso. Selon lui, la bouse de vache permettrait à l'enduit d'acquérir sa dureté rapidement une fois mis en œuvre. En outre, **elle limiterait les fissures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

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 Mohaman² 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 : appelé moumous par certain 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.

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

² 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 moules 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 Quinquiliba, de l'argile blanche, de la cendre ou encore des scories brûlées.

- Une autre technique utilise des excréments d'animaux : l'adobe. Omar³, 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.

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.



Mur d'adobes

© Aurélie Vissac/CRAterre-ENSAG

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

- 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).

3 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-terret39726.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-ENSAGENSAG. 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 Lehmbau-Handbuch. Baustoffkunde. Konstruktionen. Lehmarhitektur, 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.

- Lors de la rénovation de la Grande Mosquée de Mopti⁴, 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.

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 décortilage 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. »⁴

⁴ 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.

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 m³ 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 Malis 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 (*arakabe*) rappelle celle utilisée à Mopti : **deux volumes de terre** (amendée de sable si elle est de **paille de riz trempent dans l'eau** 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.

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.

Lefebvre, 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> trop argileuse) pour **un volume pendant sept jours**.

5 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.

6 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 Rijven⁷ 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.

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.

⁷ 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'oeuf 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. Politis⁸, 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 Isomura⁶ 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 oeuvre ne sont pas rapportées dans son mémoire.

⁸ 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. 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.

Papier kraft

Isomura, M., 1998. Le mur en terre japonais. Mémoire CEEA-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.

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 Listro⁹, utilisés comme couche de finition, peinture à l'argile, couche d'accroche ou stuc à l'argile, contiennent de la méthylcellulose.
- Bruno Gouttry¹⁰ utilise une peinture à base d'argile et de méthylcellulose :

RECETTE N°7 : PEINTURE – METHYLCELLULOSE – FRANCE

Mélangez petit à petit 10g 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.
- Mélanger petit à petit 10

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 <consulté en 02/2012>

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

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

¹⁰ 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 termitière¹¹ est utilisée comme stabilisant de la terre pour la construction en Afrique. Le bois mort est l'aliment principal des termites.

Gunther Becker 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 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 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.

¹¹ Doat, P., 1991. *Etude sur les savoirs constructifs au Burkina Faso.* Ed. CRAterre-ENSAG.

¹² Becker, G., 2012. - "Les termites" In : Unasyva - No. 111

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

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

JUS VEGETAUX GELATINEUX

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.¹⁴

- Au Ghana, le bananier (*Musa Paradisiaca*¹⁵) 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 :

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

- 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) très probable que d'autres extrait

¹⁴ 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.

¹⁵ 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 Yiri¹⁶ 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.

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.

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 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.*

¹⁶ Moriset, S., 2009. Reconstruction of the Wa Naa Yiri, Ghana : Second mid-project report. Ed. CRAterre-ENSAG

- Frederick Wireko Manu¹⁷, retranscrit une recette similaire à base d'eau gluante également pratiquée au Ghana. Les **branches** nommées *Yellampour* sont **écrasées** et mises à **tremper 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 Faso¹⁸, 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 œuvre 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.*

- ¹⁷ 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.
- ¹⁸ 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.

- Hammond¹⁹ 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. 17
- 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 of 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*

¹⁹ 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. ¹⁴

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 FERMENTÉ – 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.²⁰ 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 Hoyle¹⁴ présente une recette différente pour extraire le jus :

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.*

²⁰ 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 : *matériaux and Structures* 21, p. 213–221.

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.

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 semiarides 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 Taylor²¹ 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.*

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.

²¹ 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 Mexique²², elle s'emploie comme les cactus. Au Brésil, Marcio Albuquerque Buson²³ 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.*

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

- 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.

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 <consulté en 02/2012>

²² 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 <consulté en 02/2012>

²³ 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 Isomura⁶ 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 Maguérès/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 (5mm) 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 2 ou 3 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.

- Tom Rijvens 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 ²⁴ 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.
A droite : perles d'alginate (gel) cuisine-passion.blogspot.fr/2007/11/perles-dalginates.html

L'agar-agar ²⁵, 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.

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 CEEA-Terre. CRATERRE-ENSAG-EAG.*

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

²⁴ S. n., 1994. Earth makes waste materials useful. In: *BASIN - News* 7.

²⁵ Achard, P., 2008. *Stabilisation organique de la terre comme matériau de construction. Rapport de PFE. INSA de Lyon.*

AMIDON

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 empis, dispersion colloïdale plus ou moins visqueuse qui gélifie en refroidissant (phénomène qui provoque l'épaississement de la sauce béchamel).

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 Chiras²⁶ :

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

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.

[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

Bibliographie – colle de farine

Fabriquer soi-même ses peintures et enduits, 2011. . URL <http://www.bourgogne-nivernaise.com/Des-outils-pourcommuniquer-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 Lehmbau-Handbuch. Baustoffkunde. Konstruktionen. Lehmarhitektur, 6., verb. u. erw. A. ed. Ökobuch. *Enduit finition farine de seigle*

Weisman, A., Bryce, K., 2008 ; Using Natural Finishes : Lime and Clay Based Plaster, Renders and Paints – Astep-by-step Guide, illustrated ed. Green Books.

Fécule de pomme de terre

- A partir de féculé, amidon **extrait des pommes de terre**, Bruno Gouttry¹¹ 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.

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

- Chauffer 4 L d'eau sans la faire bouillir (proportions pour 40 m² en une couche)
- Incorporer en pluie 500 g de féculé 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 féculé 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 féculé est relativement transparente.

Bibliographie – féculé 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-soimeme-sespeintures-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 mortier²⁷ dans la Chine d'il y a plus de 1500 ans.* Masako Isomura⁶ évoque la colle de riz, très employée dans les enduits en terre au Japon avant que la colle d'algue ne la remplace.

²⁷ 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. <consulté en 02/2012>

Résidus de distillation de manioc et de maïs fermentés

• Olivier Moles²⁸ a réalisé au Congo-Kinshasa un enduit en terre stabilisé aux résidus de distillation d'un alcool de maïs et de 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. <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.

²⁸ 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 arabique²⁹ 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 Ber³⁰, *de la terre de Bourem, 20% de sable et 3% de gomme arabique ont été utilisés.*

- Selon Joseph M. Tibbets³¹, 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**.

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.

²⁹ Perego, F., 2005. Dictionnaire des matériaux du peintre. Ed. Belin.

³⁰ 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.

³¹ 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 guar²⁹, *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 étude³² 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 tâches brunes sur les feuilles ou les fruits, semblables à des brûlures.

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

www.mbetoulouse.fr/pdf/NATURE_Liant_Glacis.pdf <consulté en 02/2012>

GANIERE 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 Home. New Society Publishers.

³² 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.