



**HAL**  
open science

## Protection et conservation du patrimoine architectural en terre par des stabilisants naturels, d'origine animale et végétale. Interactions argiles/biopolymères (projet PaTerre+)

Aurélie Vissac, Estel Colas, Laetitia Fontaine, Ann Bourges, Thierry Joffroy, David Gandreau, Romain Anger

### ► To cite this version:

Aurélie Vissac, Estel Colas, Laetitia Fontaine, Ann Bourges, Thierry Joffroy, et al.. Protection et conservation du patrimoine architectural en terre par des stabilisants naturels, d'origine animale et végétale. Interactions argiles/biopolymères (projet PaTerre+). Sciences des matériaux du patrimoine culturel, France, Ministère de la Culture et de la Communication, Nov 2012, Paris, France. pp.135-139. hal-04038082

**HAL Id: hal-04038082**

**<https://hal.science/hal-04038082v1>**

Submitted on 20 Mar 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# Protection et conservation du patrimoine architectural en terre par des stabilisants naturels, d'origine animale et végétale.

Interactions argiles/biopolymères (projet PaTerre+)

Protection and conservation of earthen architectural heritage by natural stabilizers, from animal or vegetal origin.

Clay/biopolymers interactions (PaTerre+ project)

Aurélié Vissac<sup>1</sup>, Estel Colas<sup>2</sup>, Laetitia Fontaine<sup>1</sup>, Ann Bourges<sup>2</sup>, Thierry Joffroy<sup>1</sup>, David Gandreau<sup>1</sup>, Romain Anger<sup>1</sup>

1. Laboratoire CRAterre, École nationale supérieure d'architecture de Grenoble (ENSAG),  
60 avenue de Constantine, BP 2636, 38036 Grenoble Cedex 2

2. Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH), 29 rue de Paris, 77420 Champs-sur-Marne

**Responsable du projet :** Romain Anger, [romain.anger@grenoble.archi.fr](mailto:romain.anger@grenoble.archi.fr)  
Projet sélectionné par le PNRCC en 2011

## Résumé

Les architectures de terre crue, qui abritent les hommes depuis des millénaires, sont des patrimoines particulièrement vulnérables aux phénomènes d'érosion. Cette vulnérabilité s'est accrue avec les changements climatiques qui confrontent ces patrimoines à des conditions naturelles pour lesquelles ils n'étaient pas construits à l'origine. La conservation de façon authentique des architectures de terre pose toujours la question de la durabilité des matériaux, résolue bien souvent par un entretien régulier. Il existe, à travers le monde, une diversité incroyable de recettes traditionnelles qui associent la terre à des stabilisants d'origine animale ou végétale. La plupart de ces substances organiques libèrent de longues chaînes biopolymères qui interagissent avec les plaquettes d'argile [1], renforçant certaines propriétés de la terre (cohésion, plasticité, résistance à l'eau, etc.). Ces molécules du vivant sont classées en quatre catégories : les polysaccharides (cellulose, amidon, etc.), les lipides (huiles, graisses et cires), les protéines (albumine, caséine, collagène) et enfin une catégorie comprenant d'autres composés complexes (tanins, résines).

Ce programme de recherche porte sur l'inventaire des pratiques traditionnelles, sur l'état de l'art des interactions argile-biopolymères et sur la mise au point de tests de laboratoire et de terrain afin de comprendre et d'appliquer ces recettes pour la conservation des patrimoines en terre.

**Mots clés :** construction en terre, enduits de protection, recettes traditionnelles, stabilisation organique, biopolymères

## Abstract

*Earthen architectures, which have sheltered Man for millennia, are a heritage particularly vulnerable to erosion. Vulnerability has increased due to climate change, confronting such built structures to environmental conditions different from those to which they were originally adapted. Authenticity in earth heritage conservation invariably poses the question of the durability of materials, often solved through the application of regular maintenance procedures. All over the world, an incredible variety of traditional recipes in which earth materials are combined with stabilizers of animal or vegetal origin, can be found. Some of these organic substances release long-chain biopolymers that interact with clay platelets [1], reinforcing some of the natural properties of earth (cohesion, plasticity, water resistance, etc.). These molecules of life are classified into four categories: polysaccharides (cellulose, starches, etc.), lipids (oils, fats and waxes), proteins (albumin, casein, collagen) and last, a category that includes other complex compounds (tannins, resins).*

*This research programme focuses on the inventory of traditional and state of the art of clay-biopolymer interactions, and on the development of laboratory and field tests aimed at understanding these recipes and applying them in the conservation of earth built heritage.*

**Keywords:** earth construction, protective coatings, traditional recipes, organic stabilization, biopolymers

## Introduction

Sur tous les continents, un patrimoine architectural riche et varié témoigne de l'utilisation de la terre crue comme matériau de construction depuis plus de onze millénaires. Actuellement, une centaine des biens inscrits sur la liste du patrimoine mondial sont des constructions en terre. Des sites tels que Djenné, au Mali, ou Aït Ben Haddou, au Maroc, sont parmi les plus emblématiques de la liste. En Europe, la majorité du patrimoine bâti en terre est encore habitée : dans de nombreux centres villes historiques, tels Strasbourg, Darmstadt et Lyon, mais aussi en milieu rural, par exemple dans le Dauphiné en France, ou dans le Devon au Royaume-Uni. La préservation de ces sites est donc une préoccupation contemporaine.

La terre crue, matériau local par excellence, a prouvé sa durabilité dans le temps, comme le montre une partie de la muraille de Chine construite en terre il y a plusieurs siècles. Pourtant, elle est particulièrement vulnérable aux phénomènes d'érosion. Traditionnellement, un entretien régulier des constructions était suffisant. Aujourd'hui, la plupart des sites sont davantage exposés aux intempéries, notamment à cause des changements climatiques qui créent de nouvelles conditions naturelles pour lesquelles ces architectures n'étaient pas forcément conçues. La préservation de ces sites se traduit généralement par le recouvrement d'enduits en terre. C'est le cas, par exemple, de la mosquée de Djenné au Mali (figure 1) où toute la population prend part à cet entretien lors de festivités annuelles.



▲ **Figure 1.** Les maçons de Djenné (Mali) enduisent la mosquée, hissés sur les échafaudages permanents en bois. © Maya Pic / CRAterre-ENSAG

Des adjuvants organiques [2] d'origine animale ou végétale sont parfois ajoutés au matériau terre pour améliorer ses propriétés et la durabilité du bâti en terre.

Cette consolidation du matériau terre est à l'image des grandes termitières de plusieurs mètres de haut, étonnamment résistantes à la pluie. Les termites mélangent la terre avec de grandes molécules naturelles contenues dans leur salive et leurs excréments. Ce sont de véritables colles des argiles. Tout comme les termites, les hommes ont exploité ce principe. À l'échelle de la planète, il existe de très

nombreuses recettes de stabilisation organique qui consolident et valorisent la terre crue. L'étude de ces pratiques traditionnelles permettra la compréhension des interactions argiles/biopolymères.

## Le projet PaTerre +

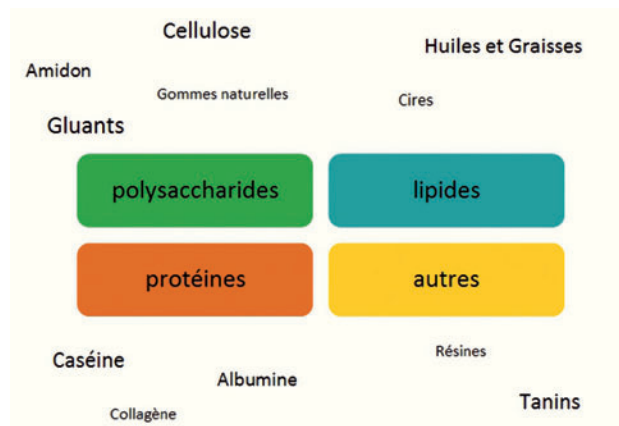
Le projet PaTerre + a pour objectif de créer puis de diffuser des outils permettant de composer, de réaliser et de tester des enduits de protection à base de terre, compatibles avec leur support et résistants aux intempéries. La première partie du projet consiste à compléter l'inventaire des pratiques traditionnelles et à les classer en s'appuyant sur les récentes recherches menées sur les interactions argiles/biopolymères. Ce travail de bibliographie se base sur le fonds documentaire du laboratoire CRAterre, ainsi que sur les pratiques observées sur le terrain par des experts de CRAterre et des membres de la chaire UNESCO « Architectures de terre, cultures constructives et développement durable ». La seconde partie du projet vise à élaborer un protocole adapté à l'évaluation de l'ouvrabilité, de l'efficacité, de la compatibilité et de la durabilité d'enduits de protection en terre stabilisés. Les essais réalisés au Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH) portent sur l'évaluation des propriétés capillaires, de la résistance mécanique à l'abrasion, et d'adhésion au support d'enduits stabilisés ou de revêtements directement appliqués sur le substrat en terre. Les propriétés de perméabilité à la vapeur d'eau et de dilatation hygrique naturelle du matériau terre sont mises en exergue. Le vieillissement naturel des enduits exposés aux conditions environnementales variables est également envisagé.

Enfin, un rapport final, écrit conjointement par les deux laboratoires, permettra l'édition d'un manuel technique à l'usage des professionnels. Il sera composé d'un catalogue de solutions permettant de stabiliser, lorsque cela est nécessaire, le matériau terre. Il décrira, également, un protocole d'essai utilisé pour sélectionner les solutions techniques et les tester afin de vérifier leurs performances et/ou d'affiner la composition avant leur utilisation à plus grande échelle.

## Inventaire des pratiques de stabilisation traditionnelle

Le travail de recensement des pratiques traditionnelles a révélé une trentaine de recettes à partir de stabilisants très divers. Parmi les recettes sélectionnées, douze viennent du continent africain, onze d'Europe, six du continent américain et une d'Asie. Les sources d'information sont très variables, allant de témoignages directs d'artisans à des recettes expérimentées en laboratoire ou trouvées dans des livres et rapports. Aussi, certaines de ces recettes sont très détaillées, d'autres au contraire sont assez vagues. Par ailleurs, on peut distinguer les recettes issues de la tradition orale, fruits de siècles d'expérimentation, connues de toute une région, de celles dont la pratique est plus isolée, qui sont souvent le résultat d'une recherche individuelle et récente.

Les biopolymères qui interagissent avec les plaquettes d'argile, à une échelle invisible à nos yeux, sont regroupés en quatre grandes catégories en fonction de leur nature chimique : les polysaccharides, les lipides, les protéines et une dernière catégorie comprenant d'autres molécules complexes (figure 2).



▲ **Figure 2.** Schéma illustrant la classification des biopolymères interagissant avec les argiles.

### Les polysaccharides

Les polysaccharides sont de longues chaînes de sucres qui peuvent avoir un rôle de structure (cellulose et chitine) ou de stockage de l'énergie (amidon). Cette catégorie regroupe toutes les recettes à base de fibres végétales, de bouse de vache ou crottin de cheval, de jus végétaux divers (cactus, agave, racines et feuilles gluantes, algues, etc.), de farine de céréales et de tubercules, et les gommages naturelles. La plupart des stabilisants utilisés traditionnellement font partie de la famille des polysaccharides.

Ces macromolécules sont organisées de manière très structurée et hiérarchisée, et il arrive souvent qu'elles ne soient pas directement disponibles pour consolider la terre. Une étape de préparation de ces stabilisants est nécessaire pour libérer, par exemple, les fibres élémentaires de cellulose de la paroi cellulaire ou encore l'amylose et l'amylopectine des grains d'amidons, pour que ces longues chaînes puissent se fixer aux plaquettes d'argile.

Ainsi, la plupart des recettes à base de cellulose comprennent une étape de macération durant laquelle un processus de fermentation se développe, dégradant les fibres macroscopiques et déstructurant la matière organique. De la même façon, les recettes à base de farines ou de fécule comprennent une étape de chauffage permettant la gélification complète de l'amidon (gonflement jusqu'à l'éclatement des grains).

Le groupe des jus végétaux gélatineux, ou « gluants », qui est composé de toutes sortes de feuilles particulières, racines, tiges (bananier et vigne sauvage) et pulpe (cactus, aloe vera, agave), voire de plantes entières (algues), nécessite une étape de préparation plus succincte. En effet, lorsqu'ils sont mis au contact de l'eau, ces végétaux parti-

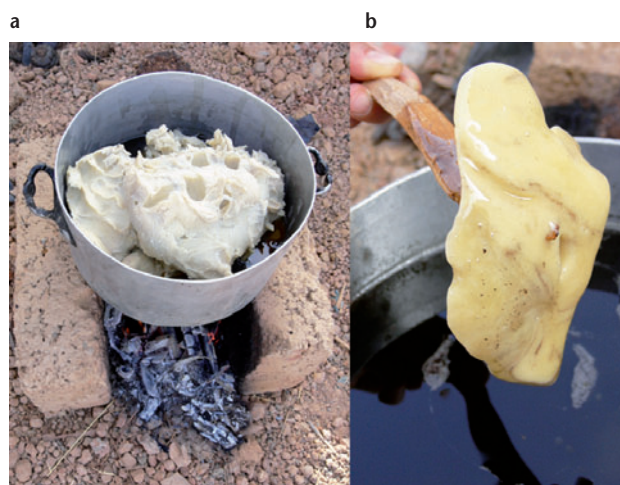
culiers forment instantanément un gel capable de coller les argiles (figure 3a et b) [3].



▲ **Figure 3.** (a) Au Ghana, des branches sont écrasées puis trempées dans l'eau, formant ainsi un gel. (b) Cette eau gluante est utilisée avec de la bouse de vache diluée comme eau de gâchage d'un enduit. © Sébastien Moriset / CRAterre-ENSAG

### Les lipides

Les lipides regroupent tous les corps gras tels que les huiles et les graisses, qu'elles soient végétales ou animales, ainsi que les cires. Ces molécules sont hydrophobes et permettent de rendre les enduits en terre plus résistants à l'eau de pluie. Le beurre de karité ainsi que les résidus et l'eau issus de son processus de fabrication sont utilisés pour stabiliser les enduits des parties des constructions en terre les plus exposées à la pluie (figures 4 et 5).



▲ **Figure 4.** Beurre de karité fondu. © Laetitia Fontaine et Romain Anger / CRAterre-ENSAG

► **Figure 5.** Application d'un enduit à partir de terre rouge et de beurre de karité fondu à Ségou (Mali). © Laetitia Fontaine et Romain Anger / CRAterre-ENSAG



L'huile de lin est souvent utilisée dans la masse et en imprégnation des sols en terre crue. Ces recettes permettent de rendre les sols en terre plus résistants à l'eau et notamment de les laver facilement sans les altérer. Cependant, ce type de stabilisant réduit probablement la perméabilité à la vapeur d'eau, diminuant le caractère respirant de ces sols et enduits.

### Les protéines

Ce sont des molécules particulières, dites amphiphiles : elles présentent une partie hydrophile et une partie hydrophobe. La caséine du lait, l'albumine du blanc d'œuf et du sang ainsi que le collagène contenu dans les colles de peau ou d'os sont les principales protéines recensées dans ce cahier de recettes traditionnelles. La caséine joue un véritable rôle de colle des argiles. La molécule d'albumine, qui représente environ 5 % du blanc d'œuf, est directement disponible pour interagir avec les argiles, sans préparation initiale [4]. C'est une colle très puissante des argiles qui rend la terre hydrophobe. En effet, les parties hydrophiles de cette molécule s'adsorbent sur les plaquettes d'argile tandis que les parties hydrophobes restent à l'extérieur de la matière et donc au contact de l'air, formant une sorte de pellicule de surface qui repousse l'eau. On peut voir que sur un enduit de terre rouge où l'eau de gâchage a été remplacée par du blanc d'œuf, des gouttes d'eau forment de petites perles et ne sont pas absorbées par la terre (figure 6).



▲ Figure 6. Gouttes d'eau sur un enduit de terre rouge au blanc d'œuf. © Aurélie Vissac / CRAterre-ENSAG

### Autres molécules complexes

Cette catégorie regroupe les tanins et les résines, molécules complexes inclassables parmi les trois premières catégories. Les tanins, molécules très répandues dans le règne végétal, que l'on trouve en quantité importante par exemple dans l'écorce du chêne ou de l'acacia, dans les feuilles de thé ou la peau des raisins, sont utilisés comme stabilisants. Ils ont la particularité de disperser les plaquettes d'argile. La recette la plus répandue est pratiquée dans le nord du Ghana et au Burkina Faso [5]. Une décoction de cosses de néré (figure 7)



▲ Figure 7. Cosses de néré. © Gisèle Taxil / CRAterre-ENSAG

est préparée en faisant bouillir ces gousses, ce qui libère les tanins qu'elles contiennent. Appliqué en badigeon sur les peintures colorées qui ornent les maisons, ce liquide brun rend la surface brillante et plus dure (figure 8). Ces peintures, ainsi protégées, résistent mieux à l'eau de pluie.



▲ Figure 8. Application d'un badigeon de cosses de néré. © Gisèle Taxil / CRAterre-ENSAG

### Conclusion

Cet inventaire non exhaustif de recettes traditionnelles de stabilisation organique révèle l'emploi d'adjuvants multiples et variés qui forment avec les argiles, à une échelle invisible à nos yeux, de véritables matériaux composites capables de consolider la terre.

Ces pratiques, pour la plupart issues de siècles d'expérimentation, propres à une terre, un lieu, un climat, une culture, un système constructif, etc., ne sauraient être adaptées dans un autre contexte sans une importante phase exploratoire et d'expérimentation.

Afin de mieux comprendre les phénomènes à l'origine du rôle de ces « colles » des argiles, la prochaine étape du projet vise l'étude des interactions physico-chimiques entre les argiles et les biopolymères cités dans ce cahier de recettes. De premiers essais simples de laboratoire et de terrain, réali-

sés au LRMH, sont prometteurs, notamment les mesures de capillarité de surface par la méthode d'absorption d'eau à l'éponge. Cependant, d'autres essais se sont révélés difficiles à mettre en œuvre et à adapter au matériau terre, en parti-

culier les essais d'arrachement des enduits. Les expérimentations sont toujours en cours et participeront à l'établissement du protocole final d'évaluation des surfaces en terre stabilisée. ▼

## Bibliographie

1. **Fontaine L., Anger R.**, 2009, *Bâtir en terre. Du grain de sable à l'architecture*, Éd. Belin, 224 p.

2. **Houben H., Guillaud H.**, 1995, *Traité de construction en terre*, Éd. Parenthèses, 355 p.

3. **Joffroy T., Moriset S.**, 2009, *Projets situés. 10 ans d'expérience sur le terrain*, CRAterre éditions, 160 p.

4. **Collectif Leonardo**, 2006, *Les Enduits de Terre. Projet Leonardo da Vinci, Catalogue*, Éd. CRAterre-ENSAG, 52 p.

5. **Bourgès A., Joffroy T., Taxil G.**, 2002, *Les surfaces décorées de la cathédrale de Navrongo "Our Lady of seven sorrows" au nord du Ghana, Coré*, 12, p. 43-50.