

« construction en terre » focus sur la fabrication et la construction en blocs de terre compressée

7 – Construction durable

7.1 – Bâtiment & Développement

Construction durable

Définir l'éco-construction

- Répondre aux enjeux du Développement durable ...
 - Réchauffement climatique : ↘ Gaz à Effet de Serre
 - Ressources non renouvelables : ↘ consommations
 - Énergie (pétrole, charbon, uranium, ...)
 - Matériaux, Eau, Biodiversité ...
- ... tout en répondant aux attentes des citoyens
 - Confort et qualité de vie
 - Coût de la construction : investissement/
fonctionnement
- ... et ... aux contraintes de la législation

Construction durable

Faire de l'éco-construction

- Une approche globale sur la filière ...
 - Conception et calcul, Construction
 - Maintenance et entretien
- ... intégrant toute la vie de l'ouvrage
 - Fabrication des matériaux et produits
 - Réalisation de l'ouvrage
 - Vie et usage de l'ouvrage,
 - y compris modification pour un autre usage,
 - déconstruction et recyclage en fin de vie

Intégration des acteurs
et analyse systémique

Intégration des acteurs
et analyse systémique

« construction en terre » focus sur la fabrication et la construction en blocs de terre compressée

7 – Construction durable

7.2 – Construction en terre

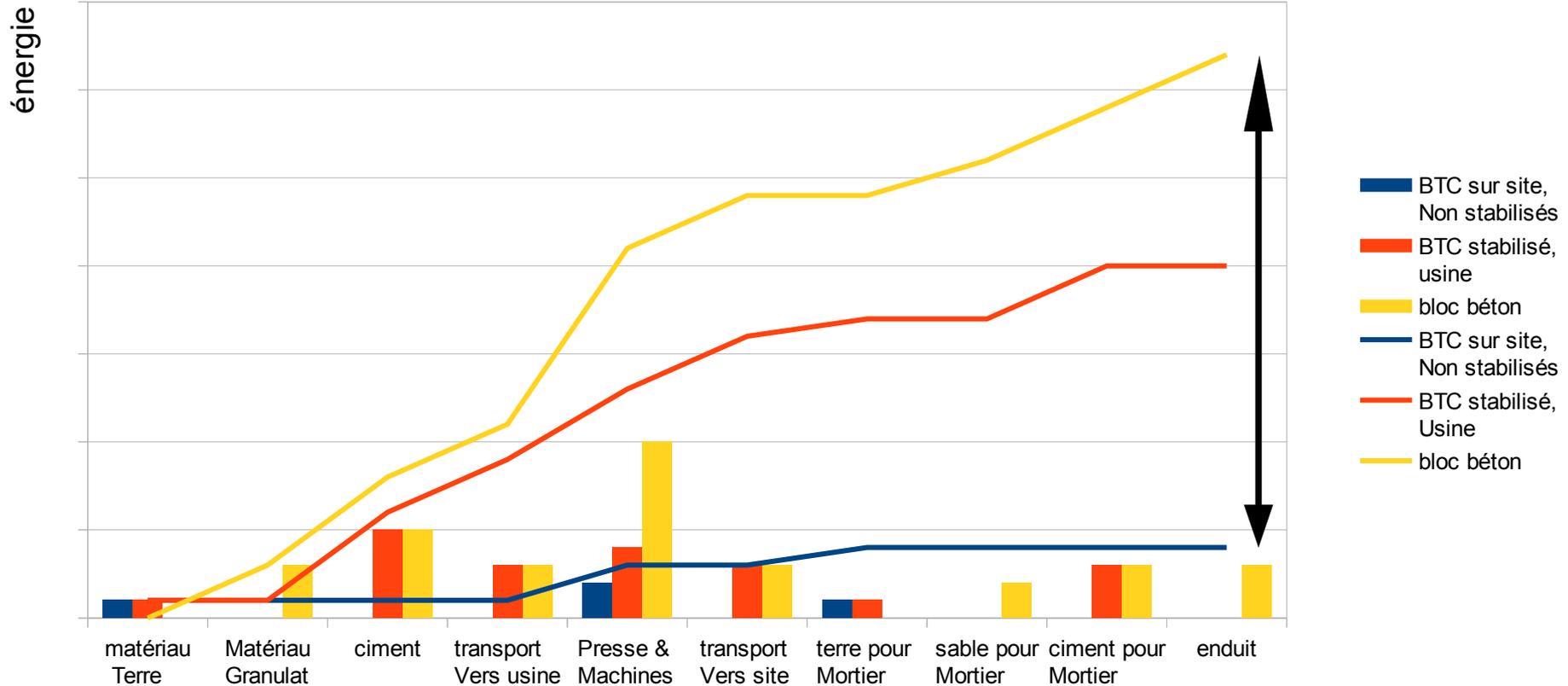
Intérêt de la construction en terre

- En Guyane, ... comme en métropole, la terre répond aux objectifs du Développement durable
 - **Environnement** :
 - Faible énergie grise, si peu de stabilisation
 - Peu d'empreinte environnementale transports
 - **Social** :
 - Valorise la main d'oeuvre peu qualifiée
 - Valorise l'encadrement local qualifié
 - **Economique**
 - Développement de l'économie locale
 - Solutions adaptées localement (technique et coût)

Intérêt de la construction en terre

- Exemple : Comparaison de la seule « énergie grise » avec le parpaing de béton
 - Matériau de carrière
 - Transport du matériau
 - Ciment
 - Machines
 - Cure
 - Transport des blocs
 - Mortier de pose
- + Autres indicateurs environnementaux

Intérêt de la construction en terre



→ **Savoir-faire des professionnels**

Intérêt de la construction en terre

- Énergie grise

- béton armé 1 850 kWh/m³
- brique ciment 700 kWh/m³
- enduit ciment 1 100 kWh/m³

- terre crue 120 kWh/m³
- terre stabilisée 260 kWh/m³
- enduit argile ou terre crue 30 kWh/m³

→ rapport de 1 à 15 et + !

Intérêt de la construction en terre

- Faire appel
 - à l'intelligence collective
 - Concepteurs
 - Maitres d'ouvrages
 - Artisans ...
 - et au savoir-faire des hommes
- plutôt qu'à la plus value énergétique
 - du béton
 - des produits manufacturés

Construire en Terre ... est POSSIBLE

- Les conditions du succès :
 - Comprendre la raison de la grande diversité des constructions en terre
 - Variété des matériaux et des techniques
 - Garantir la qualité et l'homogénéité des produits
 - Impliquer **toute** la filière
 - Travailler sur l'intelligence collective
 - Mettre en place un contrôle qualité à toutes les échelles (bâtiment, paroi, matériau)

Construire en terre

- Avec quoi ?
- Comment ?
- Quelles caractéristiques ?

Qu'est ce que « le matériau terre » ?

- du point de vue physique
 - Matériau argileux du site de construction ou de l'exploitation
 - Matériaux délaissés par les Travaux routiers
 - Matériau SANS terre végétale
- du point de vue de la géotechnique
 - GTR (NFP 11 300) :
Classe A1 à A4, B5, B6, C après tamisage
 - USCS (LPC) : graves et sables limoneux/argileux

Qu'est ce que « le matériau terre » ?

- Squelette
 - Graviers et sables : de 80µm jusqu'à 5 à 50 mm
- Argiles <80µm entre 20 et 60 %
 - Peu actives : kaolin, latérite, illite
 - Très actives : montmorillonite, smectite
 - Pas de terre végétale
- Liants éventuels
 - Ciments, chaux
 - Additifs éventuels : plastifiants, hydrophobants ...
 - Fibres

+ de l'eau, fonction de :
- matériau
- technologie
- liants

Une terre est bonne
à partir du moment où
un maçon arrive
à en faire quelque chose de **pérenne**

Construire en terre ?

- Matériau → techniques de construction
 - Pâte à modeler → modelage, extrusion
 - Château de sable → compression, compactage
- Système constructif
 - Par éléments :
 - briques ou blocs
 - Mur façonné en masse
 - « similaire » au béton banché
- En association...
 - Avec bois, béton, parpaing, fibres ...

Construire en terre Comment ?

Techniques de construction en terre
Porteuse / Autoporteuse

la terre, seul composant de la paroi

- Deux grandes familles de techniques constructives
 - Terre **modelée** ou Terre **extrudée**
 - Terre **compressée** ou Terre **compactée**



la terre, seul composant de la paroi

- Deux grandes familles de techniques constructives
 - Terre **modelée** ou Terre **extrudée**
 - Terre **compressée** ou Terre **compactée**
- Paramètres
 - Le matériau d'origine
 - Les techniques de fabrication / mise en œuvre
- Usages dans le bâtiment
 - Matériau porteur ou auto-porteur
 - Remplissage ou cloisons

Matériaux modelés

- Fabrication de blocs
 - Adobe
 - Blocs extrudés
 - Réalisation de mur directement en place
 - Bauge, Cob
 - Zabour
- Teneur en eau de fabrication
- Proche de w_i (15 à 30%)

Matériaux modelés : adobe



adobe

Matériaux modelés : fibres

- Ajout de fibres
 - ↘ Retrait
 - ↗ Ductilité
 - ↗ Résistance traction et flexion



- Paille
- Chanvre
- Lin
- Cisal
- Miscanthus
- ...

Matériaux modelés : adobe



Terre modelée porteuse : adobe



Matériaux modelés : adobe



Terre modelée porteuse : adobe



Terre modelée porteuse : adobe

- Sod : mottes de terre emplilées
système constructif des grandes plaines USA/Canada



Terre modelée porteuse : adobe



Matériaux modelés : adobe



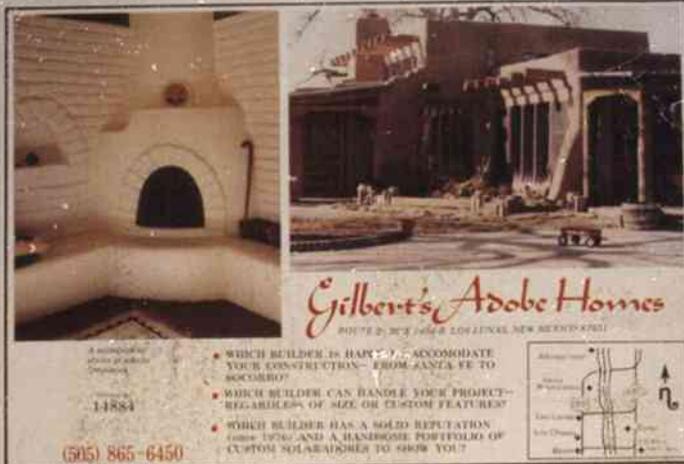
© Alain Klein / Architerre

Matériaux modelés : adobe

Adobes « industrielles »



Matériaux modelés : adobe



Gilbert's Adobe Homes
ROUTE 2, BOX 1448 • LOS ALAMOS, NEW MEXICO 87501

- WHICH BUILDER IS HAPPY TO ACCOMMODATE YOUR CONSTRUCTION— FROM SANTA FE TO SOCORRO?
- WHICH BUILDER CAN HANDLE YOUR PROJECT— REGARDLESS OF SIZE OR CUSTOM FEATURES?
- WHICH BUILDER HAS A SOLID REPUTATION FOR SERVICE AND A HANDSOME PORTFOLIO OF CUSTOM SOLAR HOMES TO SHOW YOU?

14884

(505) 865-6450

WESTERN ADOBE • OUR SEMI CAN DELIVER TO YOUR SITE.
CONDO BUILDERS!

7800 TOWER ROAD SW
ALBUQUERQUE, NM 87105
(505) 836-1839 — Call for Prices/Quotes

SAVE MONEY
Our Adobes are a full 4" thick. Save from 15-20% on each block on these amounts of adobe and steel courses required in your structure!

Our Records show less than 1% breakage rate for Customers

SIZES
10'x14"
5'x4x16"
8'x16"

ORDER NOW FOR IRMS...
Our quality control equipment can out produce any other type of process in New Mexico.

CONCRETE STATEMENT

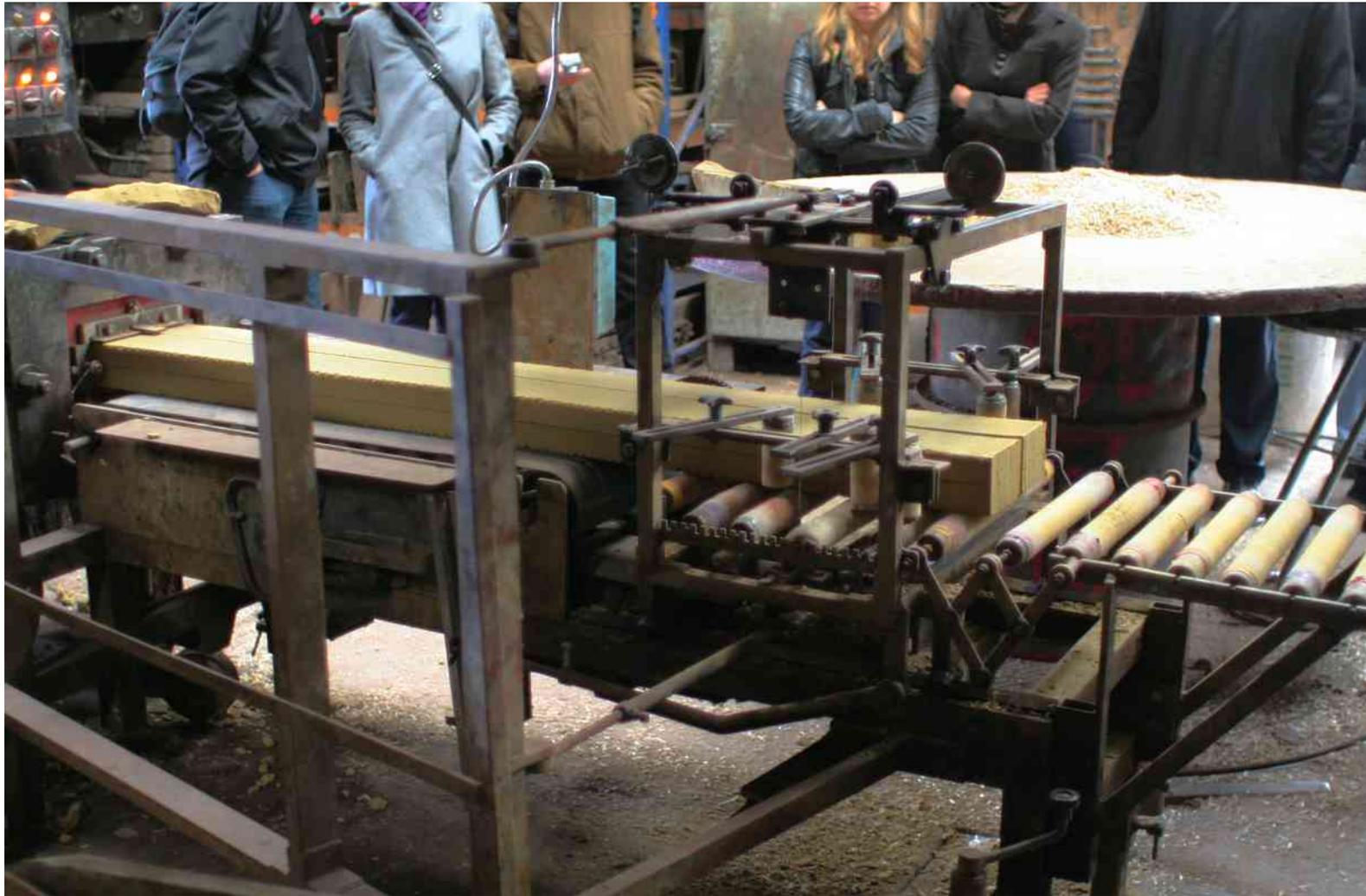



<http://www.deepgreenarchitecture.com/earthblock.html>

Matériaux modelés : Terre extrudée

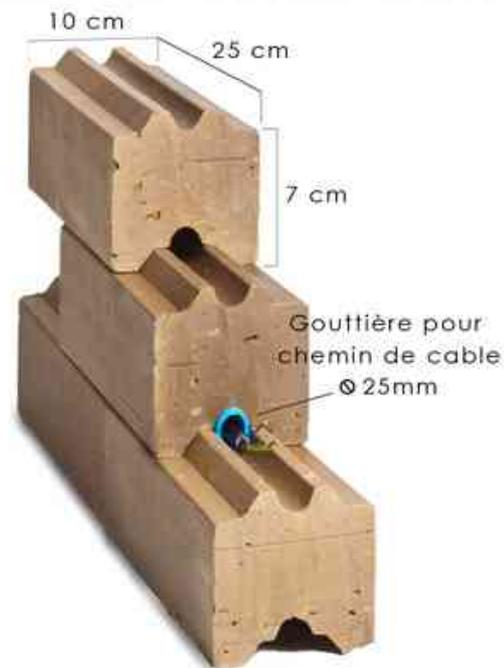
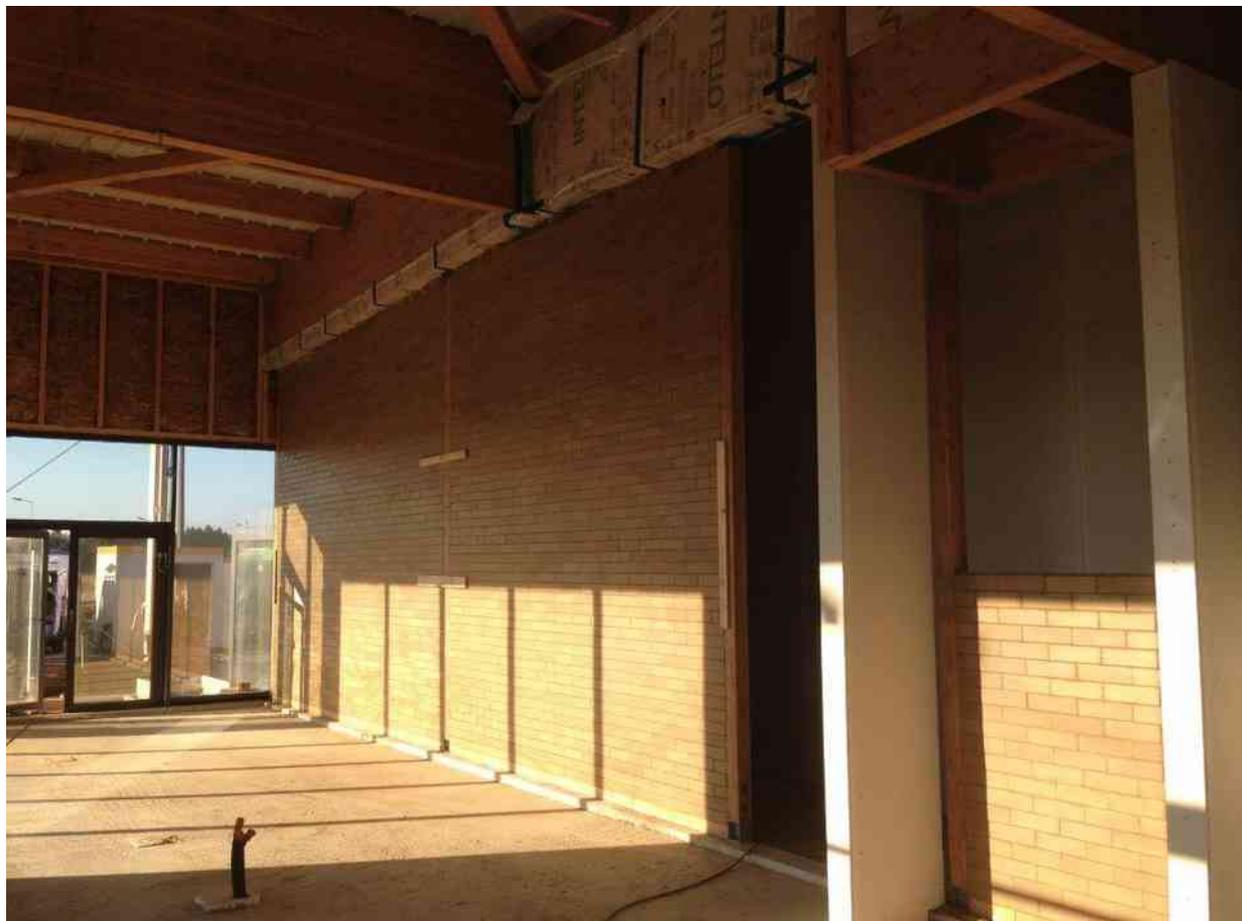
- Système industrialisé
 - Évolution de briqueteries
 - pour blocs monomur en terre cuite
 - pour briques cuites
 - Mise au point du process industriel (CTMNC)
 - Carrière de matériau
 - Malaxage, filage, séchage ...
- Blocs, fabriqués à partir d'une presse et d'une filière
 - Pleins ou Alvéolaires
 - (a priori) Pas de fibres

Matériaux modelés : Terre extrudée



<http://www.argibrique.com>

Matériaux modelés : Terre extrudée



<http://www.argibrique.com>

Matériaux modelés : Terre extrudée



<http://www.briqueterie-bouisset.fr>

Murs modelés : bauge, cob

- Matériau semblable aux adobes
 - Souvent avec fibres
- Fabrication en place du mur
 - Manuel
 - Outils rustiques

Murs modelés : bauge, cob



Murs modelés : zabour



Murs modelés : zabour



Murs modelés : bauge, cob



<http://maison-cob-paille-bazouges.blogspot.fr/>



Matériaux compactés / compressés

- Fabrication de blocs
 - BTC
 - Stabilisés ou non-stabilisés
- Réalisation de mur directement en place
 - pisé

→ Teneur en eau de fabrication

- Proche de w_{OPN} / w_{OPM} (8 à 15 %)

Terre compactée : pisé

- murs fabriqués sur site
 - Matériel : pisoir (manuel ou pneumatique) + coffrages
 - Terre du chantier ou apportée
 - Savoir-faire du maçon
- Grands Blocs pré-fabriqués
 - Extraction du matériau en carrière
 - Coût financier et environnemental du transport
 - Fragilité du produit lors du transport

Terre compactée : pisé



Terre compactée : pisé

Nord du Vietnam



Tunisie
acqueduc romain

Terre compactée : pisé



Salle des fêtes à Fareins (Ain)



Terre compactée : pisé



Kapelle der Versöhnung /Martin Rauch

Terre compactée : pisé



Rauch family home by Boltshauser Architekten

Terre compactée : pisé



Rauch family home by Boltshauser Architekten

Terre compactée - nisé



institut agronomique méditerranéen, Montpellier / OlivierScherrer

Terre compactée : pisé



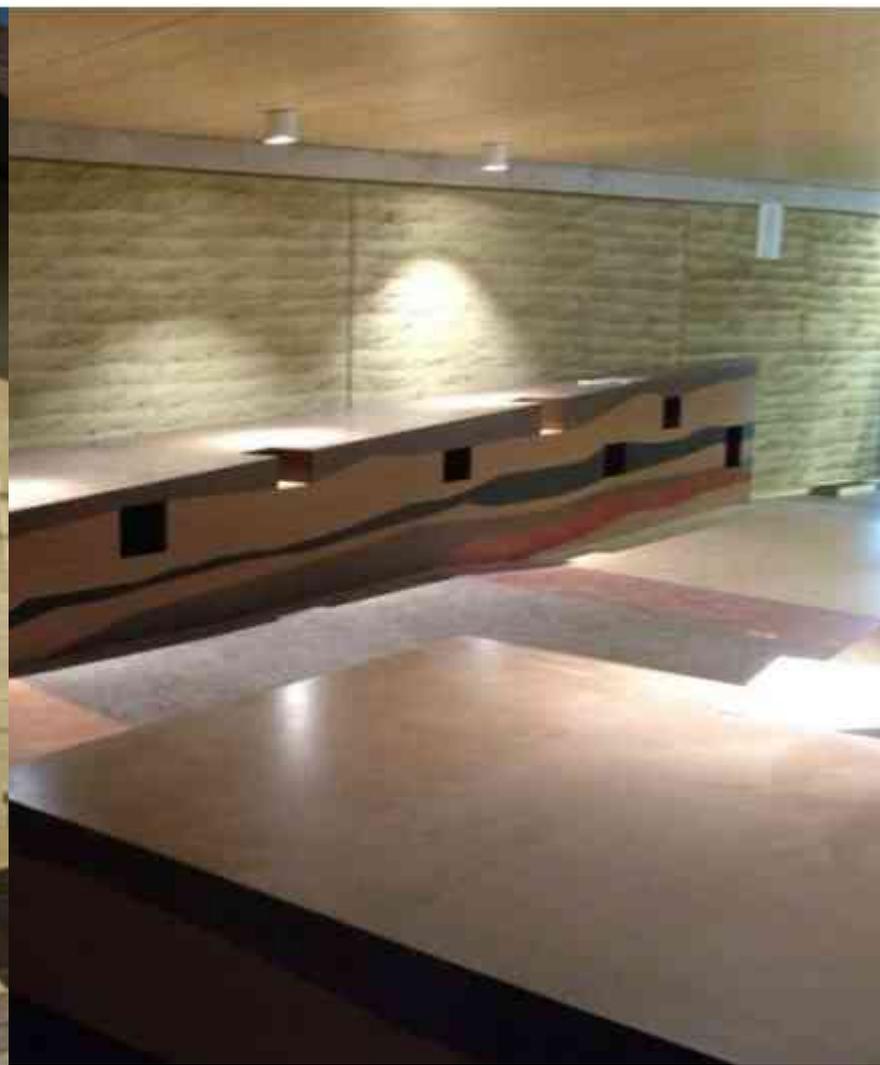
institut agronomique méditerranéen, Montpellier / OlivierScherrer

Terre compactée : pisé



écomusée Dehlingen - Pisé préfabriqué -

Terre compactée : pisé



écomusée Dehlingen - Pisé préfabriqué -

Terre compactée : pisé



écomusée Dehlingen - Pisé préfabriqué -

Terre compressée : BTC

- Blocs fabriqués sur site
 - Matériel mobile
 - Terre du chantier
 - Savoir-faire du maçon
- Blocs fabriqués en usine
 - Matériel lourd → norme produit industriel
 - Extraction du matériau en carrière
 - Coût financier et environnemental du transport
 - Fragilité du produit lors du transport

Terre compressée : BTC

<http://www.akterre.com>

Géo 50



Terre compressée : BTC



<http://www.mecoconcept.com>

3 gestes,
1. Chargement



30 secondes,
2. Pressage



une brique !
3. Démoulage



Terre compressée : BTC



Terre compressée : BTC



laboratoire
matériaux minéraux
INSA de Lyon

Terre compressée : BTC



Portugal, Alegria / José Alberto

Construire en terre Comment ?

Techniques de construction en terre
nécessitant une structure porteuse

Remplissage, non porteur, en terre

- Remplissage en terre – paille (terre allégée)



Remplissage, non porteur, en terre

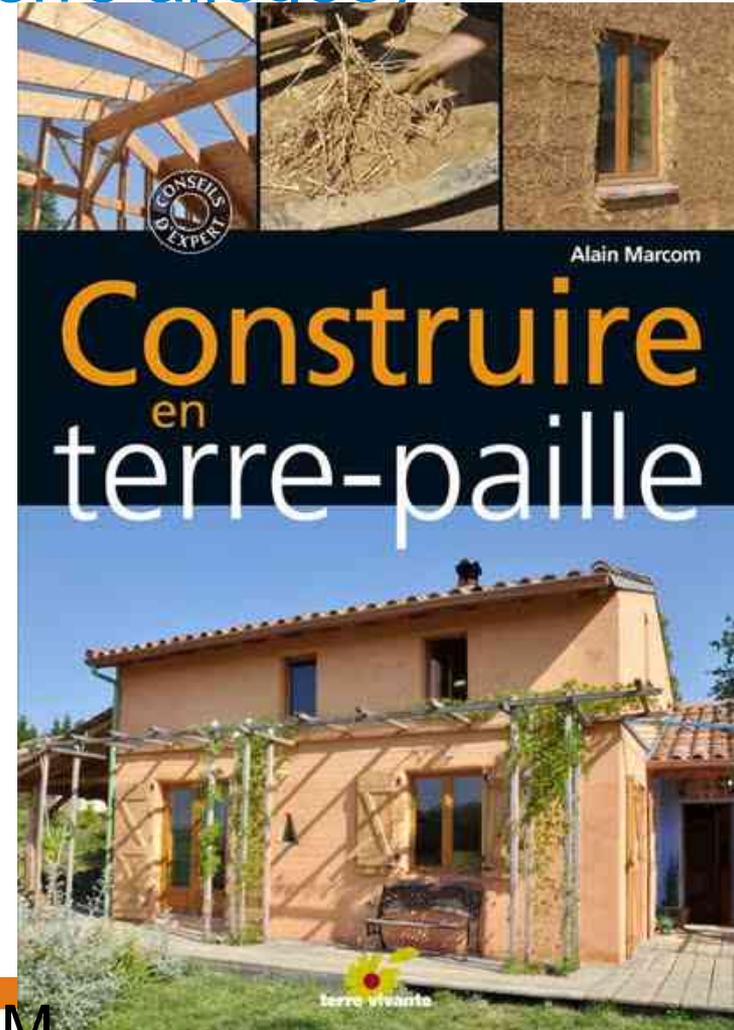
- Remplissage en terre – paille (terre allégée)



Crèche de Thoiras / Atelier Inextenso, O.Scherrer,

Remplissage, non porteur, en terre

- Remplissage en terre - paille (terre allégée)



<http://www.areso.asso.fr> - Alain MARCOM

Construction en BTC
Cayenne, Guyane, 11-15 avril 2016

Myriam OLIVIER – CEREMA / DT_CE

Ali MESBAH - ENTPE / DGCB

Remplissage, non porteur, en terre

- Structure porteuse en bois : torchis



<http://www.gillaizeau.com/Eco-materiaux-ARGILUS>

Remplissage, non porteur, en terre

- Structure porteuse en bois : torchis

FICHE TECHNIQUE ARGILUS ENDUIT TORCHIS

Tous les produits ARGILUS bénéficient
d'une garantie décennale SMABTP
- N° Sociétaire 382 610 Q
- Contrat Alhabat fabricant N°1004



Le site de production de l'enduit ARGILUS se situe à 300 m des carrières d'argile. Nos terres sont 100 % écologiques, recyclables et réutilisables.

PRÊT À L'EMPLOI

UTILISATION (torchis livré sec)

TORCHIS à base d'argile pure destiné à être appliqué en ragréage ou en forte épaisseur pour la restauration du bâti ancien.

COMPOSITION

Terre Argileuse de Vendée (Carrières ARGILUS), Sables alluvionnaires de Vendée, Paille d'orge.

PROPRIETES PHYSIQUES

Poids spécifique en place = 900 à 1100 kg / m³
Conductivité Thermique λ = 0.40 à 0.50 W / mC°
Chaleur spécifique = 0.80 kJ/kg C° environ

Capacité thermique = 300 à 350 Wh/m³ C° environ
Humidité d'équilibre = 2.5% sur sec environ
Classement au feu = M0

CONDITIONNEMENT

SAC PAPIER de 25 Kg ou BIG-BAG de 1000 kg.

<http://www.gillaizeau.com/Eco-materiaux-ARGILUS>

Remplissage, non porteur, en terre

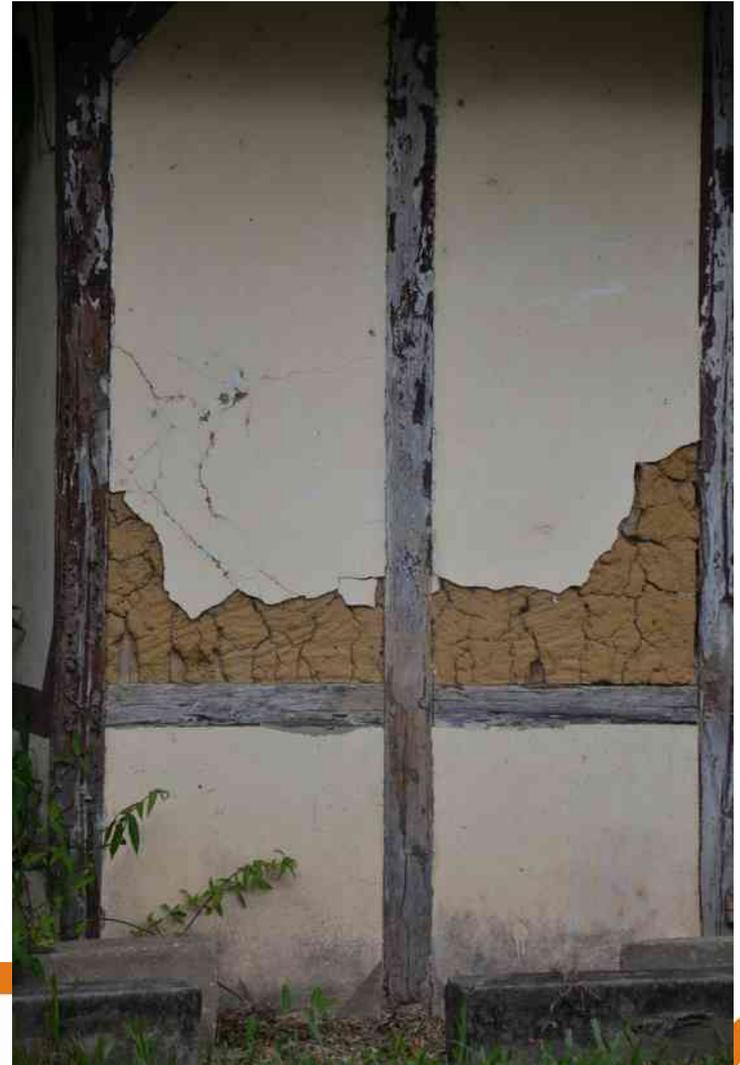
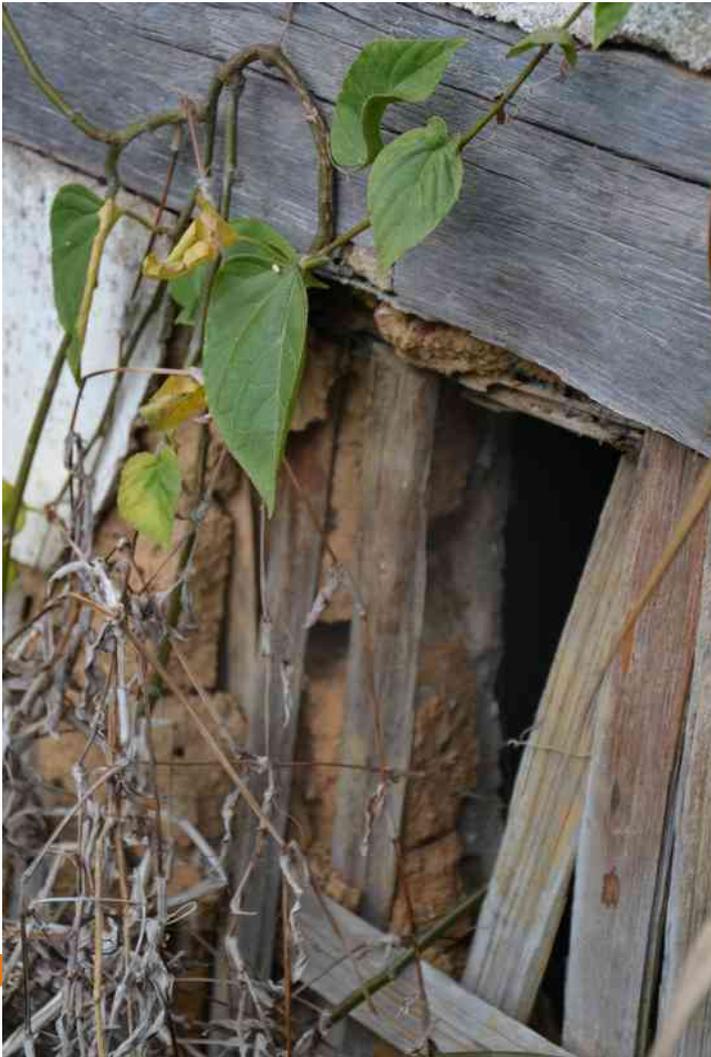
- Structure porteuse en bois : torchis



Sinnamary

Remplissage, non porteur, en terre

- Structure porteuse en bois : torchis



Sinnamary

Construire en terre Comment ?

Techniques de construction
utilisant la terre comme mortier

Maçonnerie avec mortier à base de terre

limousinerie



Protection des constructions en terre

Protection des constructions en terre Les enduits en terre

Protection des constructions en terre

- Conception : protection contre l'érosion
 - Type d'enduit
 - Chaux aérienne
 - ou chaux naturelle faiblement hydraulique
 - Terre, terre + fibres
 - **PAS de ciment**
- Réalisation
 - Manuellement
 - Projection mécanique

Protection des constructions en terre

- Enduits en terre - manuel



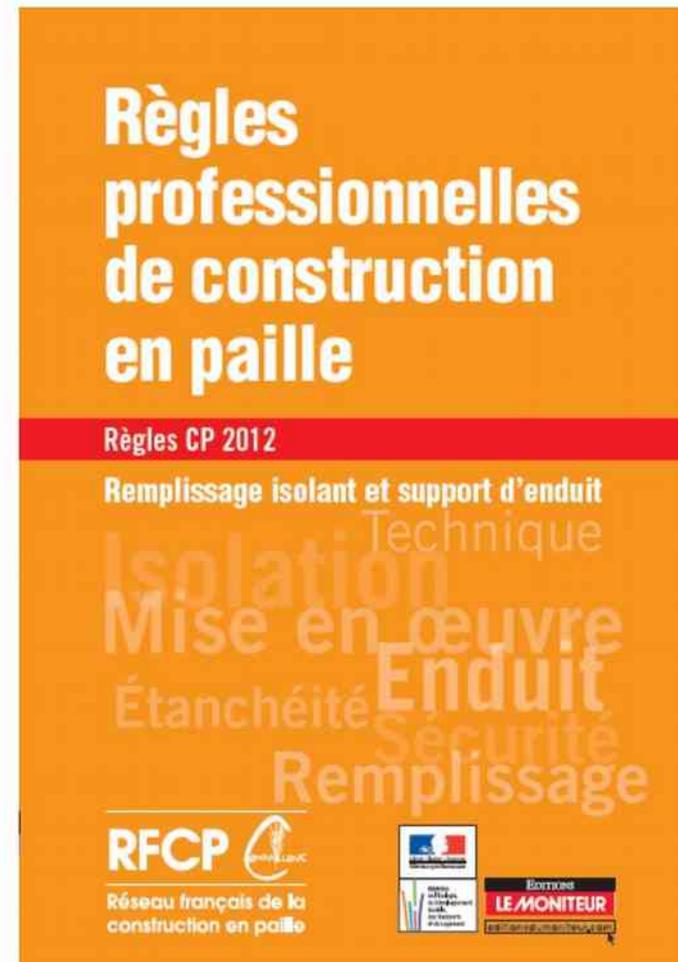
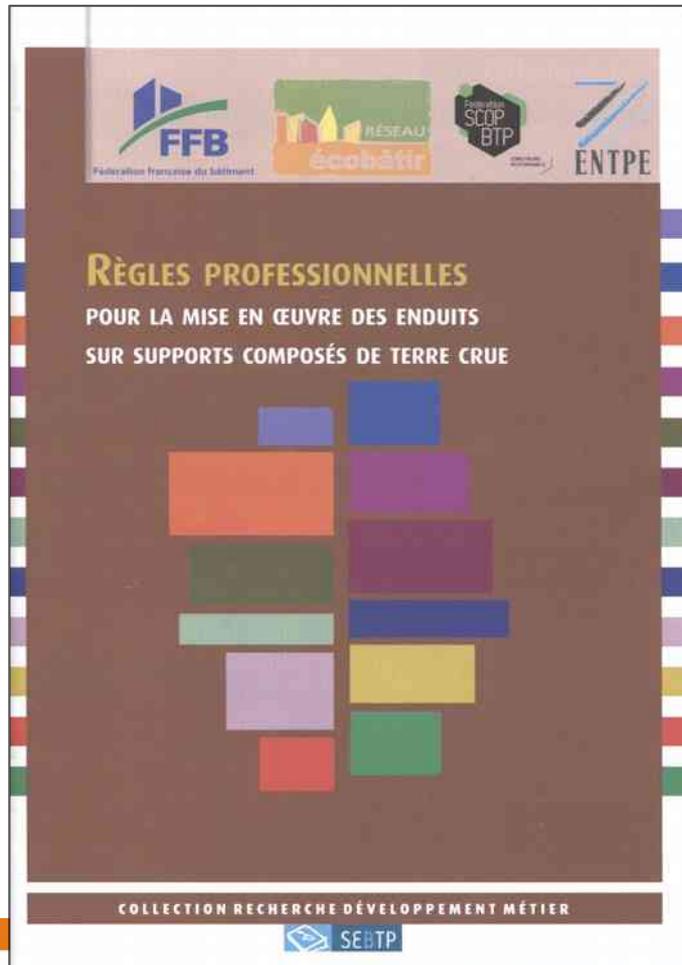
Protection des constructions en terre

- Enduits en terre – projection mécanique



Protection des constructions en terre

- Enduits en terre – mise en oeuvre



Protection des constructions en terre

- Enduits en terre – essais d'adhérence
 - Vérifier la capacité d'adhésion de l'enduit sur le support
 - Contrainte mini de cisaillement : 0,01 MPa
 - Essai :
 - appliquer un effort de 2kg sur 20cm²
 - Pendant 30s minimum

Protection des constructions en terre

- Enduits en terre – essai d'adhérence

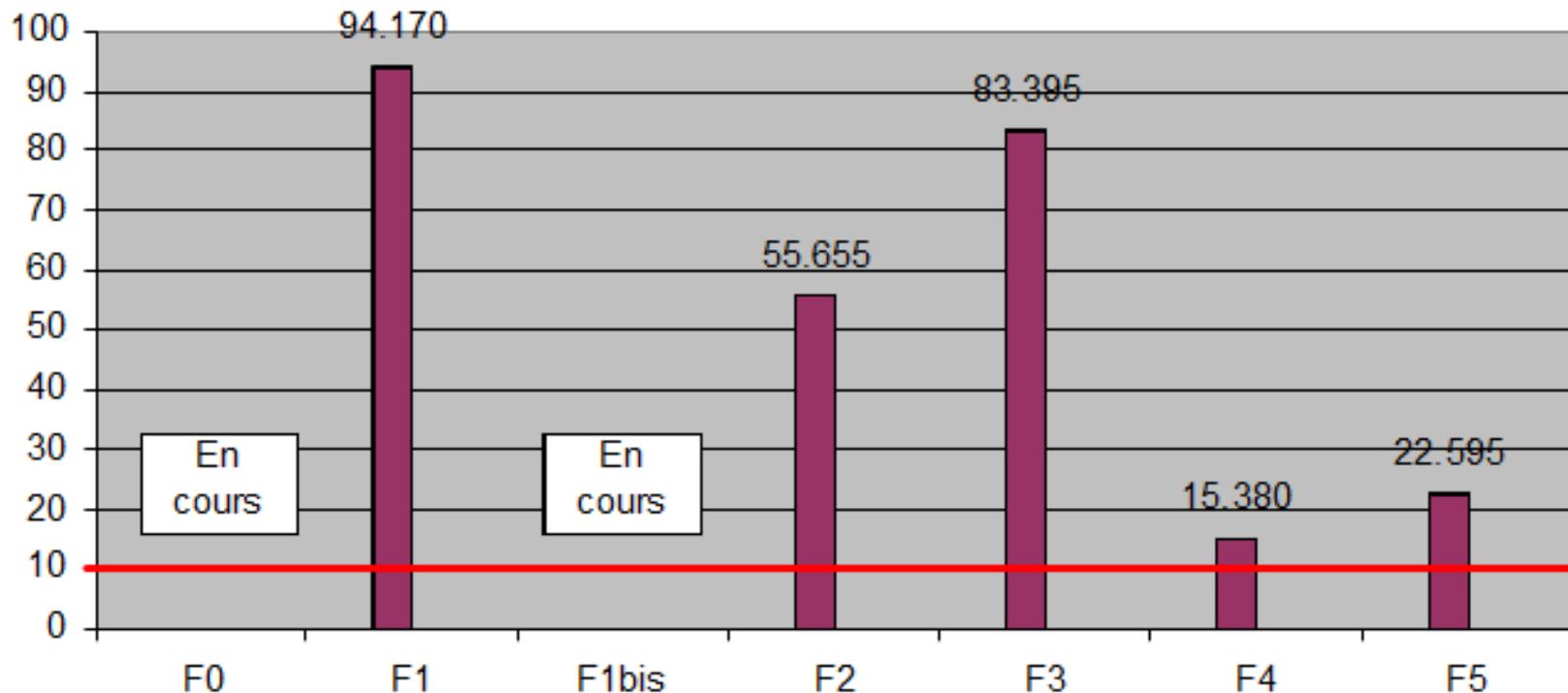


Protection des constructions en terre

- Enduits en terre – essais d'adhérence

- Comparaison d'enduits

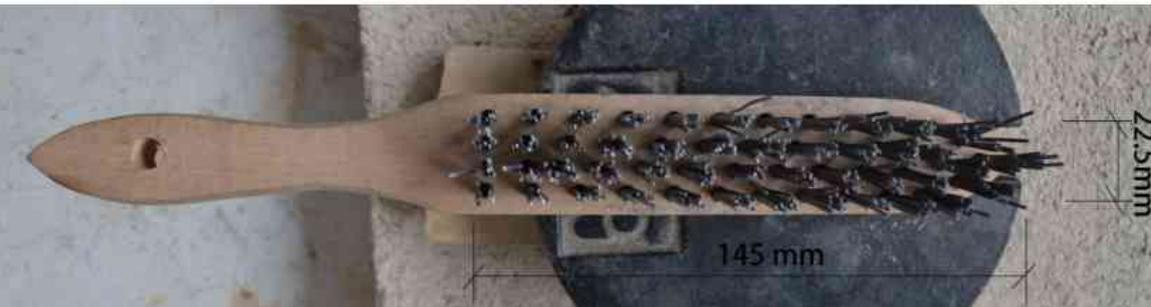
Moyenne de résistance au cisaillement sur support paille



Protection des constructions en terre

- Enduits en terre – essais de résistance à l'abrasion
 - Principe : brossage à la brosse métallique, chargée de 3 kg (60 aller-retours en une minute)

$$Ca \text{ (cm}^2/\text{g)} = \frac{S}{m_0 - m_1}$$

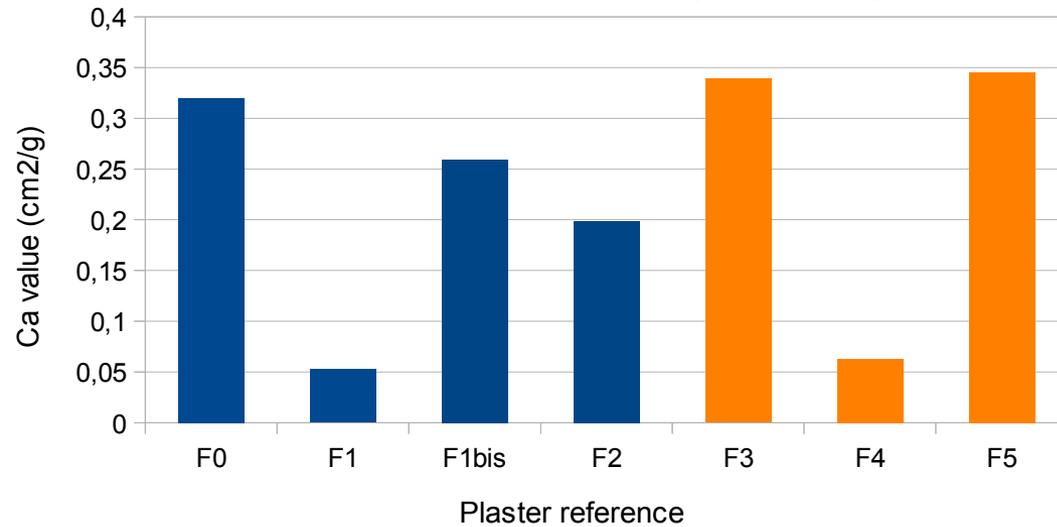


Protection des constructions en terre

- Enduits en terre – essais de résistance à l'abrasion
 - Comparaison d'enduits



Abrasion tests for seven different plaster recipes



Protection des constructions en terre

- Enduits en terre – essais de retrait
 - Fissuration et faïençage limités

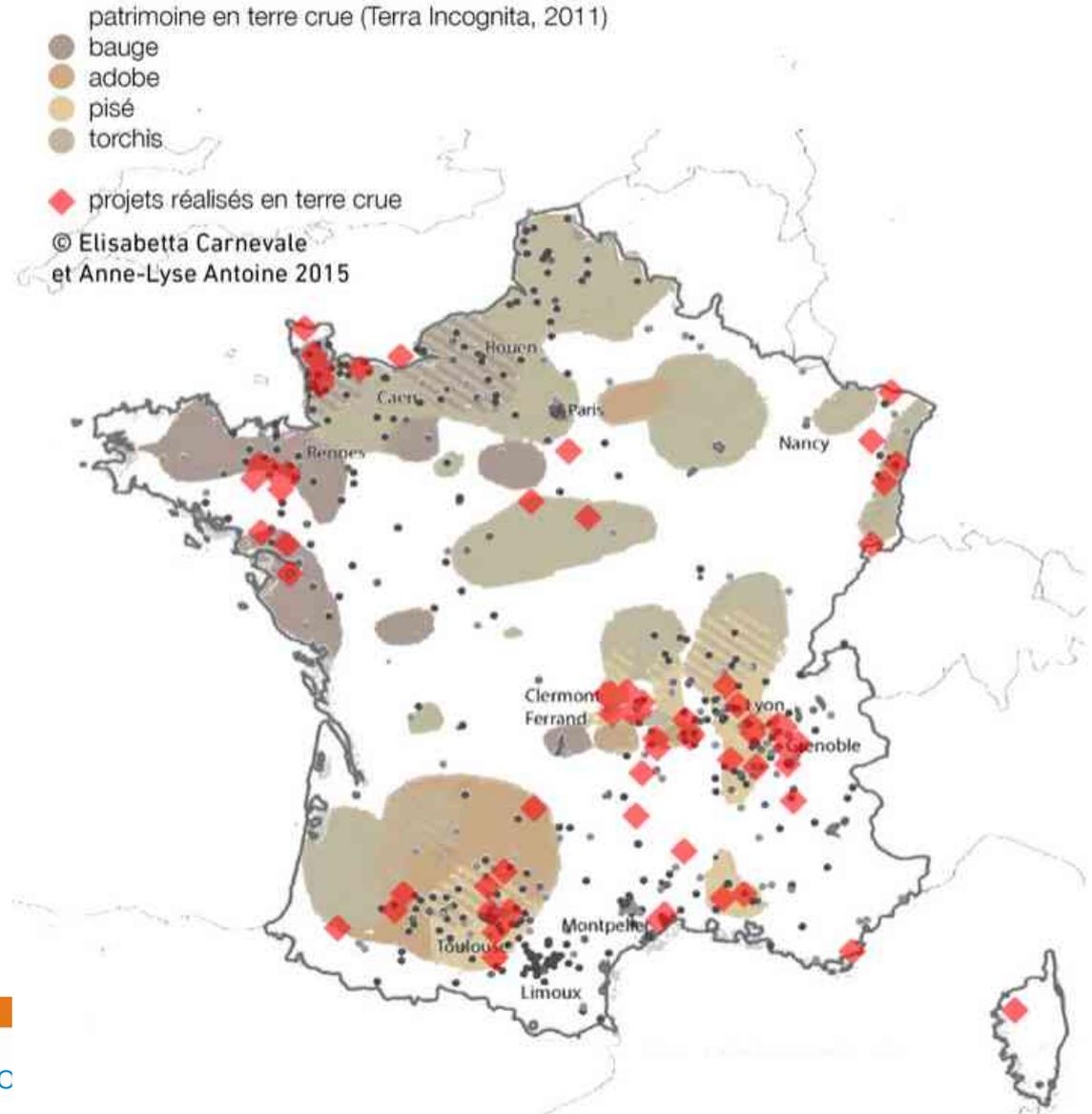


Patrimoine bâti en terre dans le monde

Patrimoine en terre, en France métropolitaine

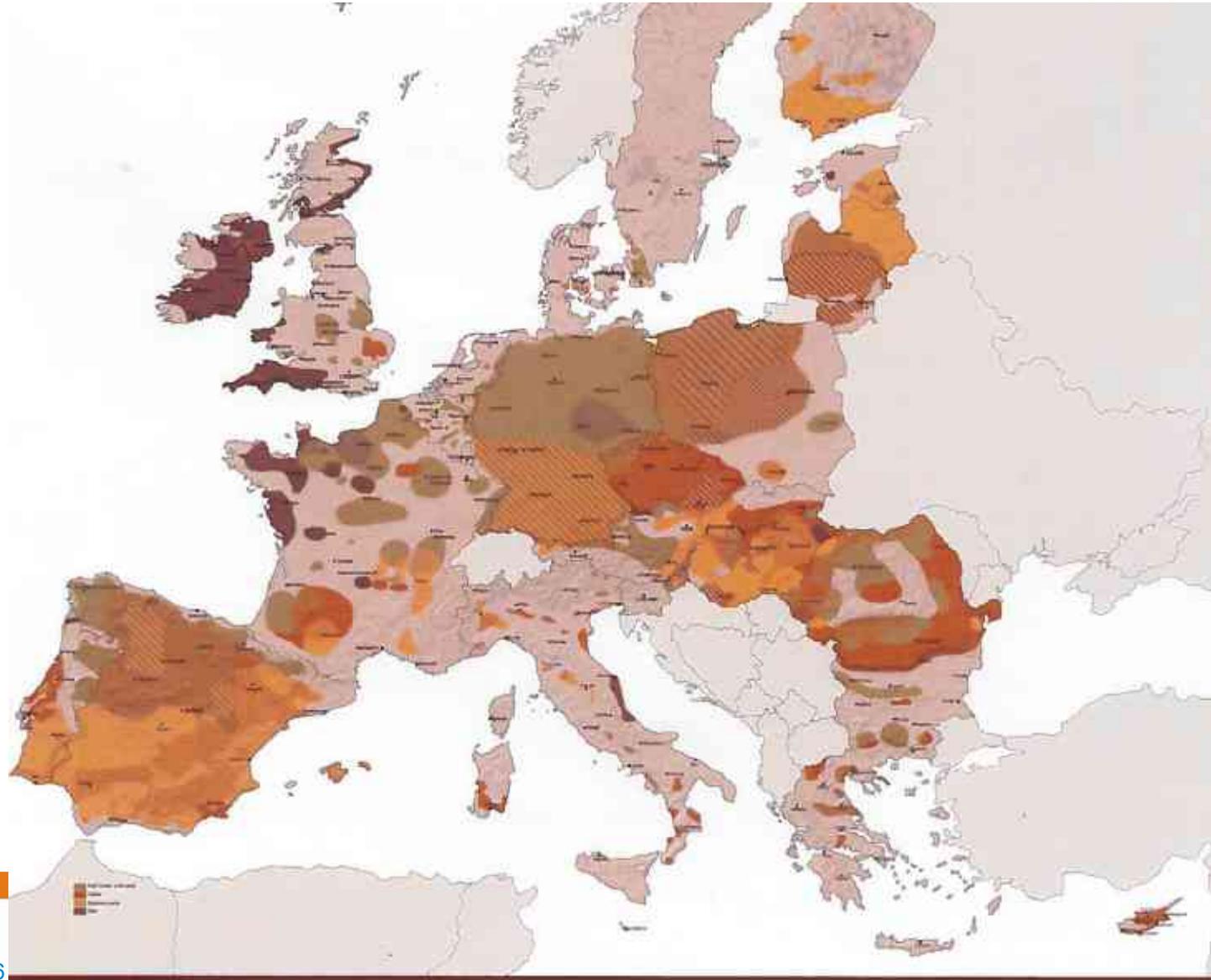
●: Professionnels
terre crue

◆ : Projets réalisés
en terre en
1985-2005



Patrimoine en terre, en Europe

Adobe
Pisé
Bauge
Torchis



Patrimoine en terre, dans le monde

ARCHITECTURE DE TERRE DANS LE MONDE



Construction durable

les solutions techniques

- Garantir la qualité et la durabilité des maisons en terre
 - Assurances DO et garanties décennales
 - Viabilité de la filière
 - quelles règles appliquer ?
- Quel intérêt à développer la solution « construction en terre » ?
 - Économie
 - Environnement
 - Sociétal

Construction durable

les solutions techniques

- Solutions industrialisées conventionnelles (>1950)
 - Produits : connaissance des performances produits
 - Normes produits (NF – EN)
 - ATEX (CCFAT), ATE (Agrément Technique Européen)
 - Conception : existence de règles de conception/calcul
 - Eurocodes, RT 2012 ...
 - Chantier : existence de règles de mise en œuvre
 - DTU ou Règles Professionnelles
- reconnaissance de la filière,
- et assurance décennale

Construction durable

les solutions techniques

- Solutions non conventionnelles
 - BTC
 - Pierre, paille, chanvre ...
 - Isolants : fibres, paille, bois, textiles
- Produits industrialisés ...
- Produits NON industrialisés
 - Caractéristiques initiales variables
 - Mécaniques
 - Thermiques, Acoustiques, ...
 - Mise en œuvre : savoir-faire des artisans

Construction durable

intérêt des solutions non conventionnelles ?

- Facteur 4 : réduire les GES par 4 en 2050
 - Matériaux
 - faible énergie grise
 - filières courtes & productions locales : ↘ GES transport
 - Mise en œuvre
 - « Basse » technologie, faible énergie
 - Fin de vie
 - Facile à recycler
- Nouvelles filières économiques «vertes»
 - Véritables alternatives pour le secteur construction

Construction durable

intérêt de la solution BTC en Guyane ?

- En métropole
 - Gros œuvre en résidentiel = 40 % coût total
 - Second œuvre est cher
 - Parois : Isolation, Double / triple vitrage
 - Systèmes : chauffage, ventilation, ECS
 - + coût de l'entretien
- En Guyane
 - Coût du Gros oeuvre ?
 - 60 % si climatisation ? 80 % sans climatisation ?
 - importance de la qualité des BTC