

Journée « éco-construction » DEAL Guyane, 28 octobre 2014

Techniques de Construction en Terre & en Chanvre-Chaux

Myriam Olivier, CEREMA

Construire en terre

Avec quoi ?

Comment ?

Quelles caractéristiques ?

Construire en terre

Avec quoi ?

Qu'est ce que le « matériau terre »

Qu'est ce que « le matériau terre » ?

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

Qu'est ce que « le matériau terre » ?

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

+ 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

Comment ?

Techniques de construction en terre

Porteuse / Autoporteuse

Principales techniques de construction en terre

- Matériau
 - Pâte à modeler
 - Château de sable
- Système constructif
 - Par éléments
 - Mur façonné en direct
 - En association...

| | systemes constructifs |
|--------------------------|--|
| blocs / briques | <p>terre modelée → adobe</p> <p>terre filée → blocs extrudés</p> <p>terre compressée → BTC</p> <p>terre vibro-compressée → BTC</p> |
| murs construits en place | <p>terre modelée → bauge, cob, zabour</p> <p>terre compactée → pisé</p> |
| autres techniques | <p>terre + fibres → torchis, terre-paille, enduits</p> <p>Pierre + mortier de terre → limousinerie</p> |

la terre, seul composant de la paroi

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



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_l (15 à 30%)

Matériaux modelés : adobe



Matériaux modelés : fibres

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



- Paille
- Chanvre
- Lin
- Cissal
- Miscanthus
- ...

Matériaux modelés : adobe



Matériaux modelés : adobe

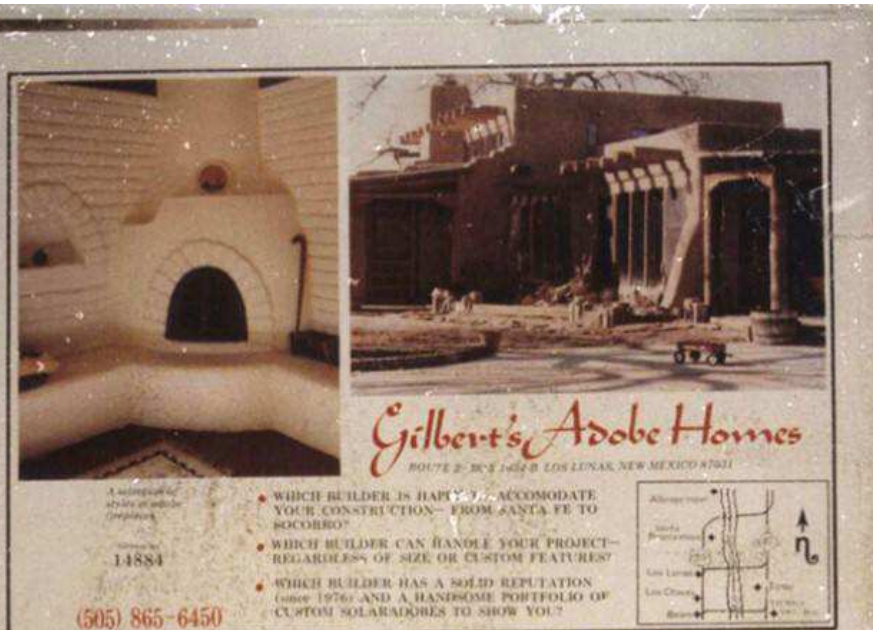


© Alain Klein / Architerre

Matériaux modelés : adobe



Matériaux modelés : adobe



Gilbert's Adobe Homes
ROUTE 2, BOX 1462-B, LOS LUNAR, NEW MEXICO 87031

14884
(505) 865-6450

- WHICH BUILDER IS HAPPY TO ACCOMMODATE YOUR CONSTRUCTION—FROM SANTA FE TO ROCHESTER?
- WHICH BUILDER CAN HANDLE YOUR PROJECT—REGARDLESS OF SIZE OR CUSTOM FEATURES?
- WHICH BUILDER HAS A SOLID REPUTATION (SINCE 1976) AND A HANDSOME PORTFOLIO OF CUSTOM SOLARADOBES TO SHOW YOU?

Map locations: Albuquerque, Santa Fe, Los Lunas, Los Chiles, Bernalillo, Santa Fe, Los Lunas, Los Chiles, Bernalillo.

WESTERN ADOBE *OUR SEMI CAN DELIVER TO YOUR SITE.
CONDO BUILDERS!
7800 TOWER ROAD SW
ALBUQUERQUE, NM 87105
(505) 836-1839 — Call for Price-Quotes


WE HAVE THE MOST UNIFORM BLOCK IN THE CENTRAL RIO GRANDE VALLEY.

SAVE MONEY
Our Adobes are a full 4" thick. Save from 15-20% on brick trace on lesser amounts of adobes and mud courses required in your structure!
Our Records show less than 1% breakage. Ask our Customers.

SIZES
10x4x14"
5x4x16"
8x4x16"

ORDER NOW FOR 1985...
Our quality control equipment can out-produce any other type of process in New Mexico.

CONSUMER STATEMENT
NO MONEY BACK GUARANTEE
NO FRANCHISE
NO INVESTMENT




Matériaux modelés : adobe



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

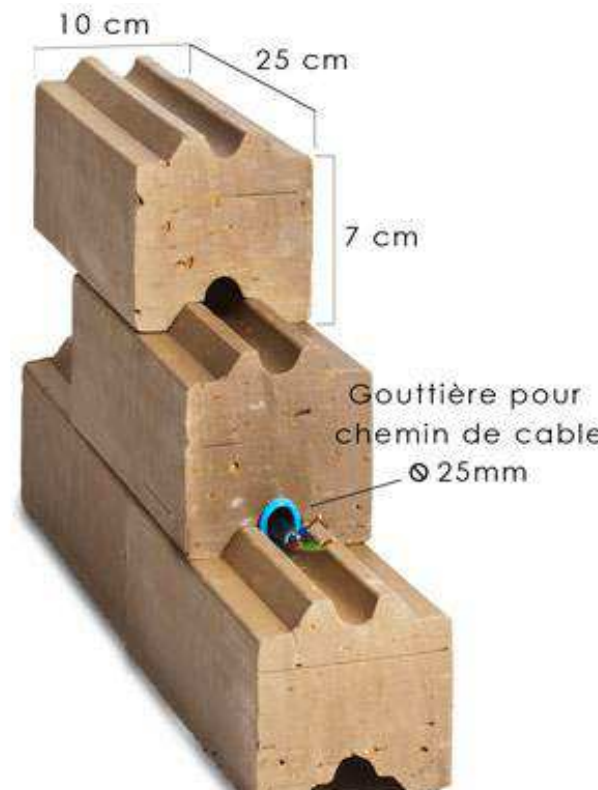
Matériaux modelés : Terre extrudée

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

Matériaux modelés : Terre extrudée



Matériaux modelés : Terre extrudée



Matériaux modelés : Terre extrudée



3 coloris :
Beige clair,
Beige foncée
Rouge

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

Murs modelés : bauge, cob

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

Murs modelés : bauge, cob



Murs modelés : bauge, cob

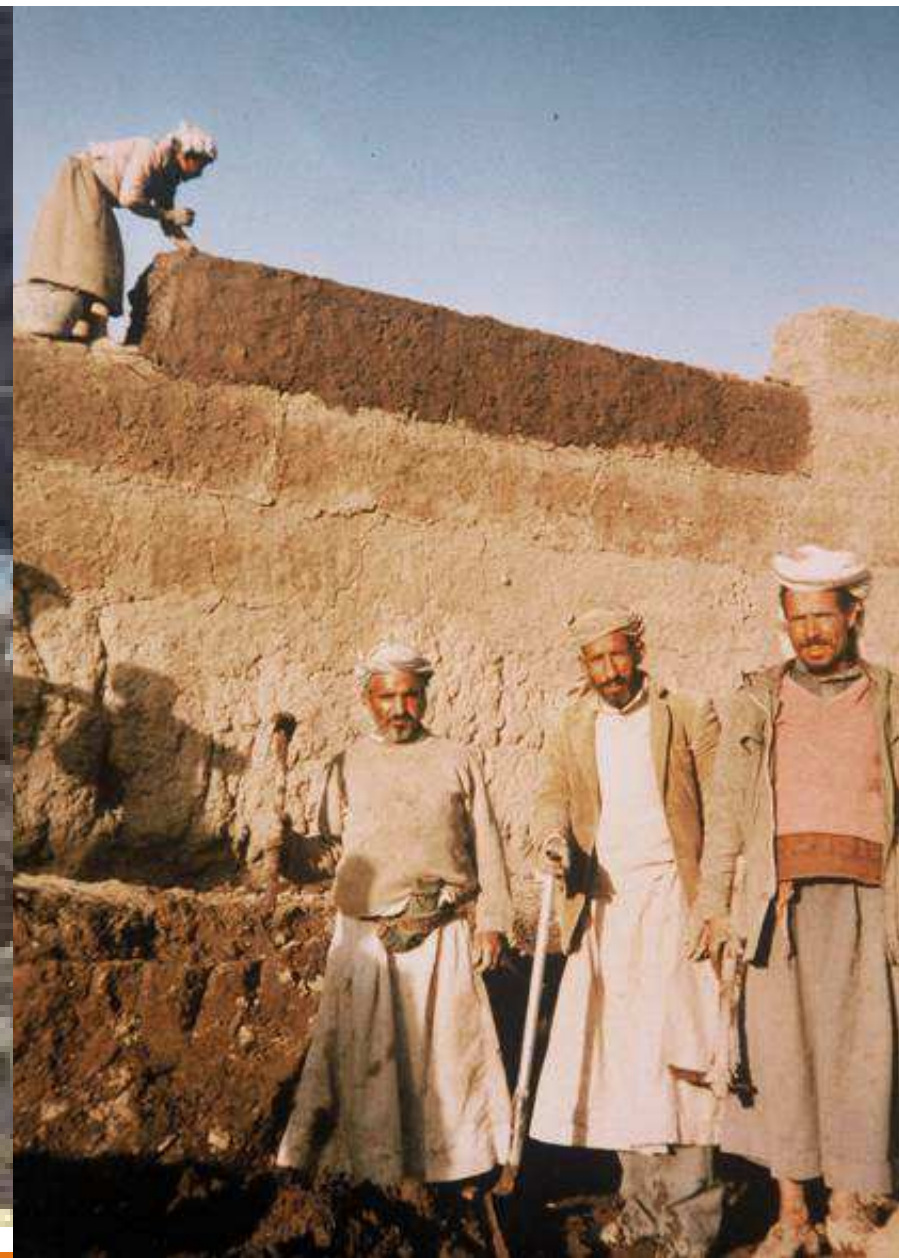


<http://maison-cob-paille-bazouges.blogspot.fr/>



www.ledomaineolivier.com

Murs modelés : zabour



Murs modelés : zavour



Matériaux «compactés /compressés»

- Sols (plus) grenus
 - Gravier → 50 mm
- Mise en œuvre
 - Directement en place : savoir-faire du maçon
→ **pisé** / compactage
 - Avec des presses : mise au point d'un produit « industriel »
→ **blocs** / compression ou vibro-compression
- Teneur en eau de mise en œuvre
 - Entre 8 et 15 %

Matériaux compactés : pisé

- Murs fabriqués sur site
 - Matériel : psoir (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

Matériaux compactés : pisé



Matériaux compactés : pisé



Kapelle der Versöhnung /Martin Rauch

Matériaux compactés : pisé



le domaine de la terre,
l'Isle d'Abeau

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>



gestes,
Chargement



30 secondes,
2. Pressage



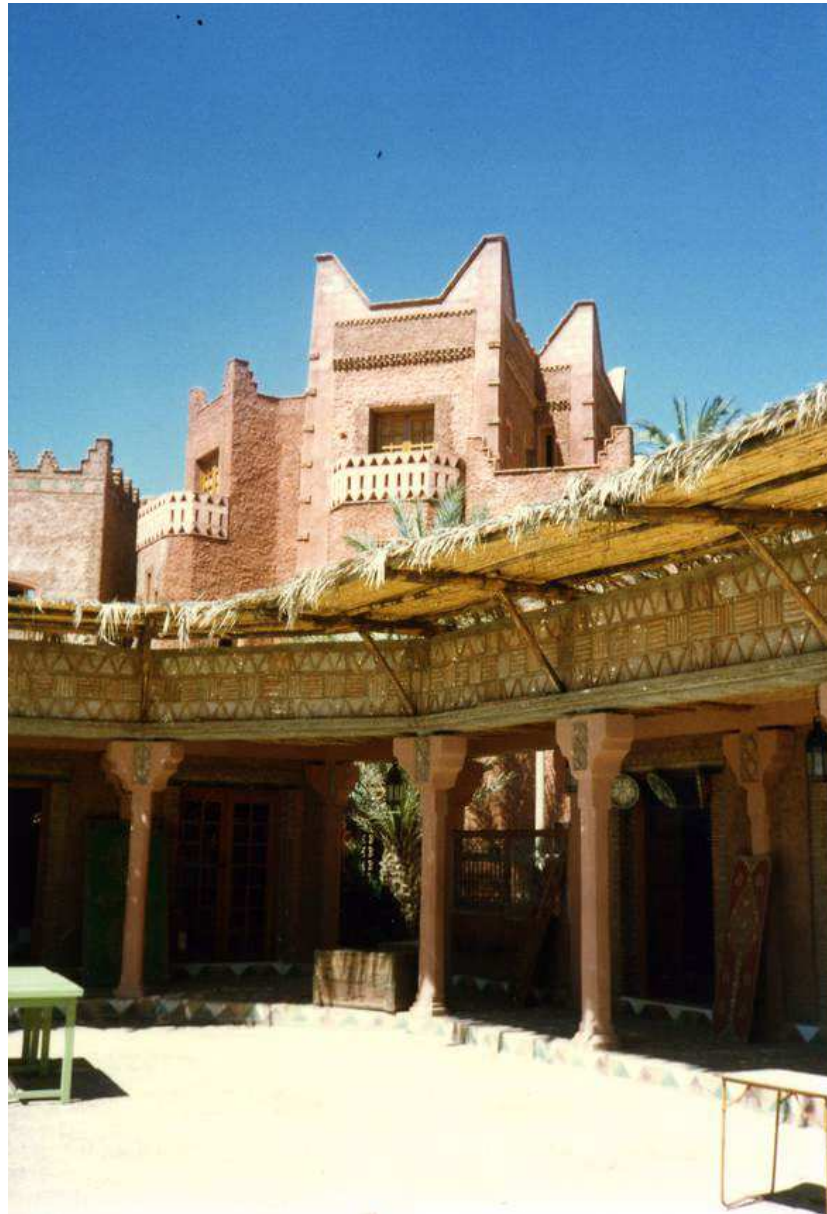
une brique !
3. Démoulage



Terre compressée : BTC



Terre compressée : BTC



Maroc

Terre compressée : BTC



Portugal, Alegria / José Alberto

Terre compressée : BTC



Mayotte : 20 000 logements

Terre compressée : BTC



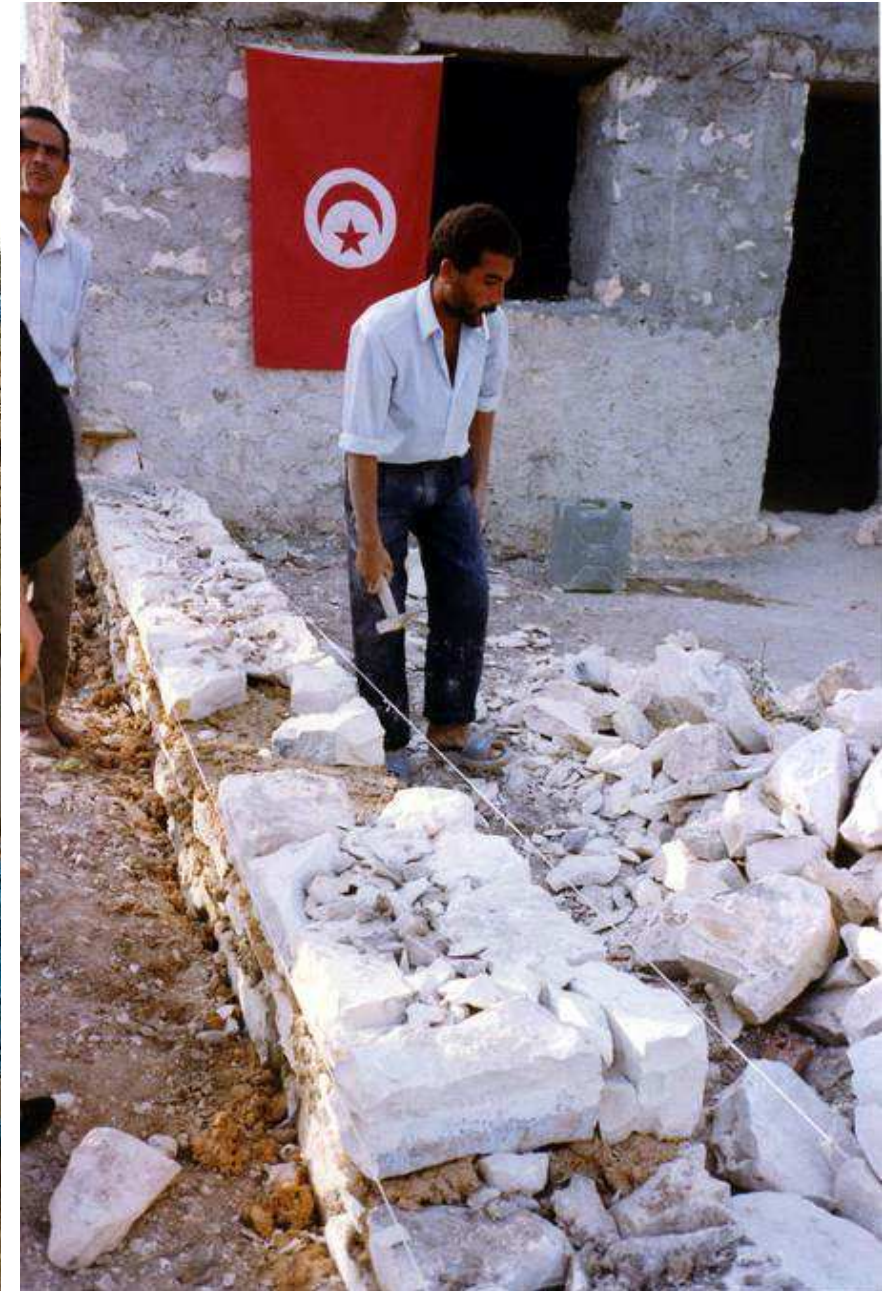
Mayotte : 20 000 logements

Terre compressée : BTC



Crèche Oranienburg-Eden / Gernot Minke

Maçonnerie avec mortier à base de terre



limousinerie

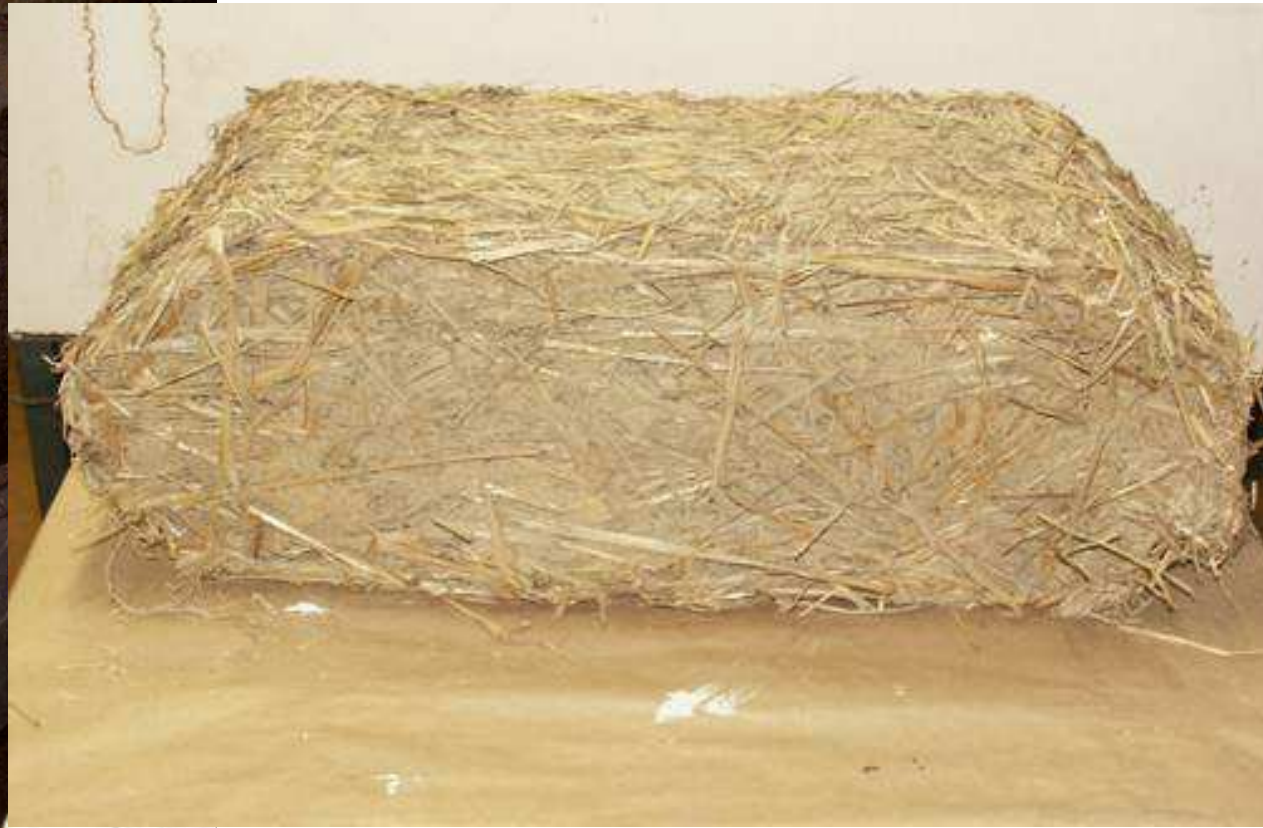
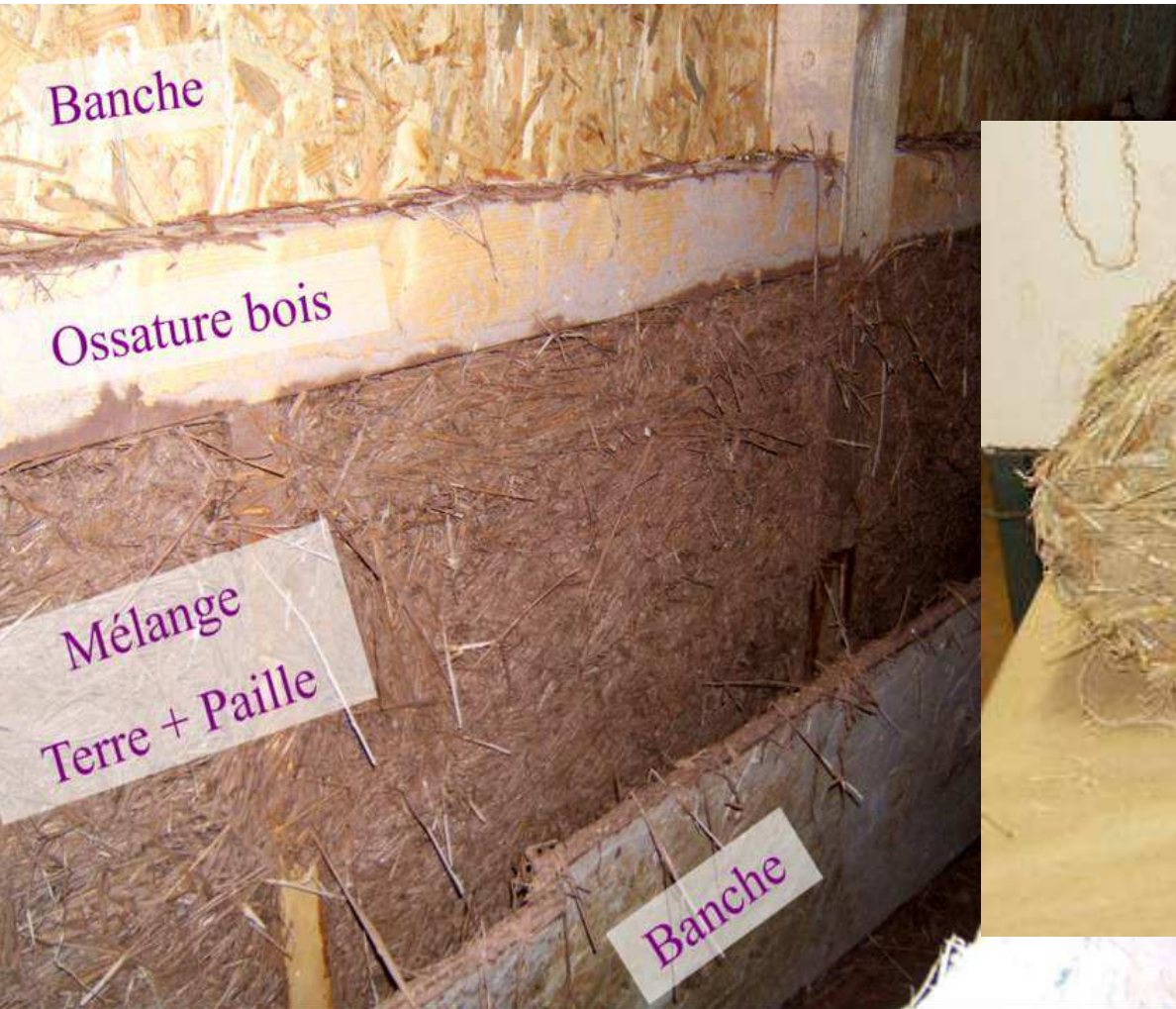
Construire en terre

Comment ?

Techniques de construction en terre
nécessitant une structure porteuse

Remplissage, non porteur, en terre

- Remplissage en terre - paille



Remplissage, non porteur, en terre

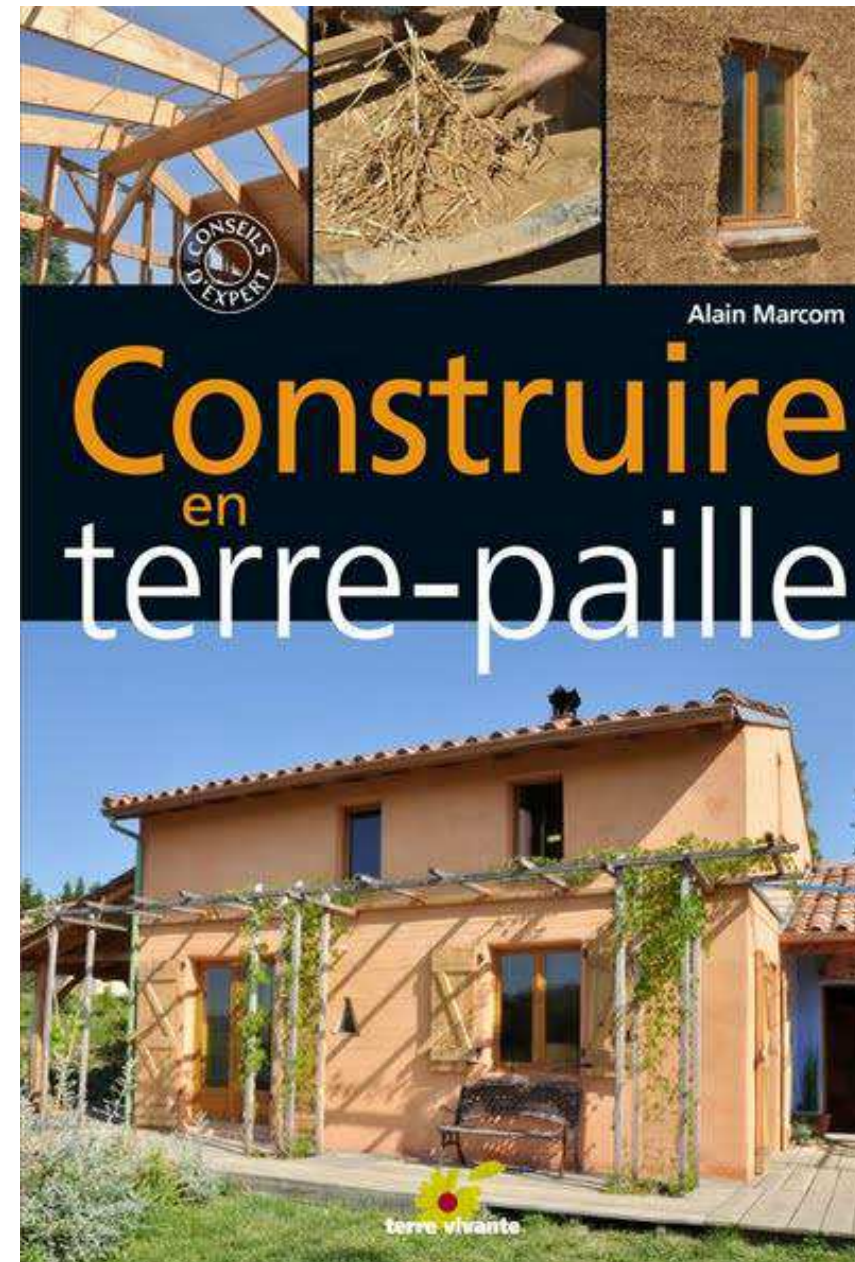
- Remplissage en terre - paille



Crèche de Thoiras / Atelier Inextenso, O.Scherrer,

Remplissage, non porteur, en terre

- Remplissage en terre - paille



Remplissage, non porteur, en terre

- Structure porteuse en bois : torchis



Remplissage, non porteur, en terre

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.

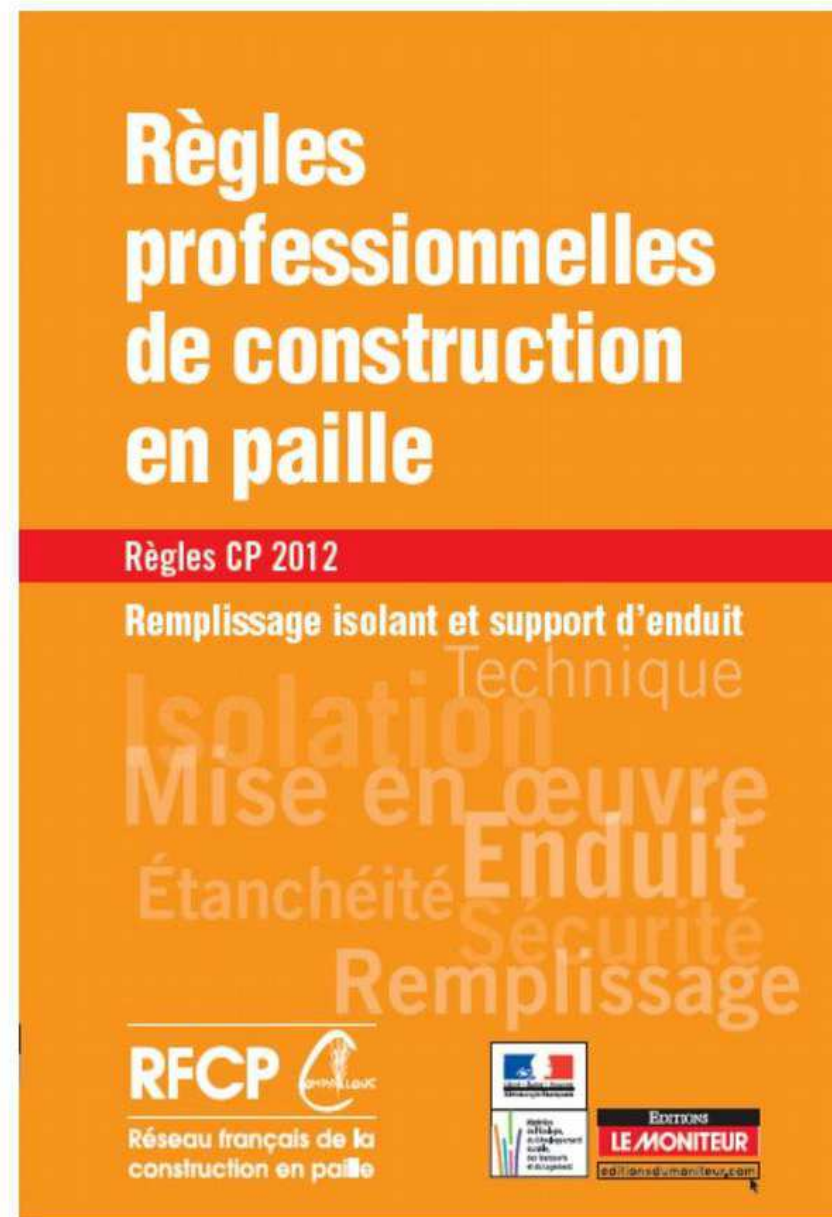
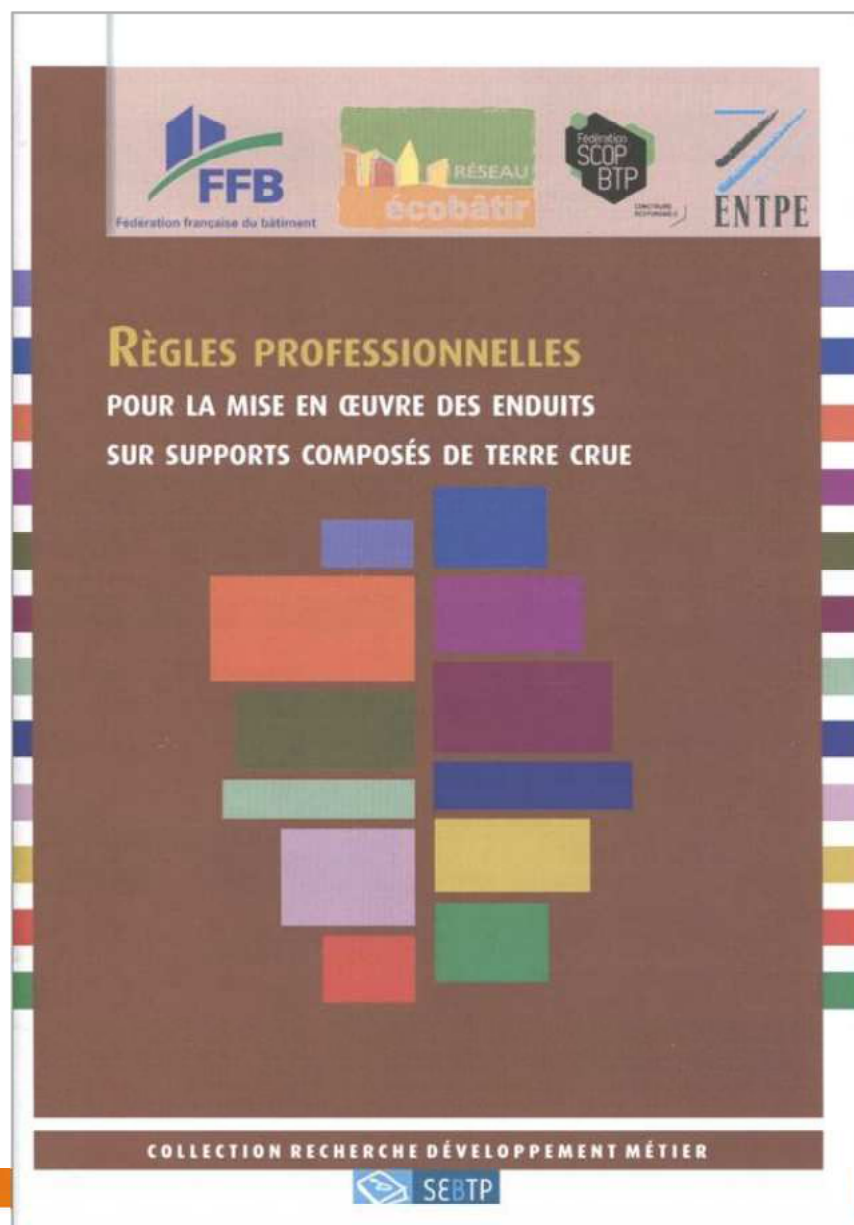
Les enduits à base de terre

- Protection des parois terre ou pierre



<http://terre-crue.barthe.fr/>

Règles professionnelles



Construire en terre

Quelles caractéristiques
mécaniques & hygro-thermiques ?

Comportement mécanique ... complexe

- Dépend du matériau

- granulométrie
- type d'argile
- liants
- Fibres

- Liants ?

- Et du produit

- technique de mise en œuvre
- teneur en eau
- densité sèche
 - à la fabrication,
 - après séchage et retrait

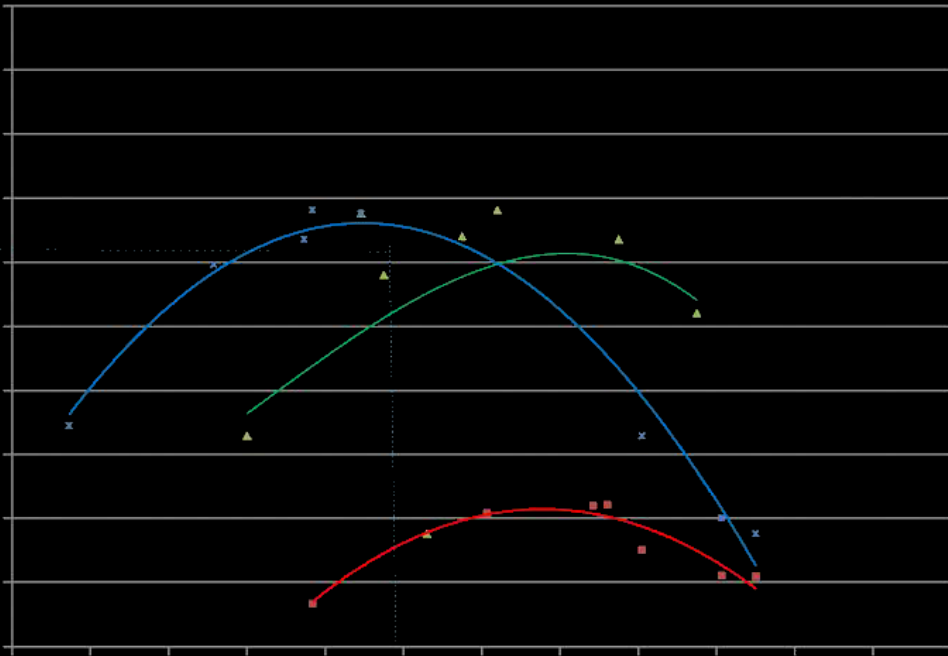
Terre compactée/compressée porteuse

- Stabilisation
 - Chaux aérienne, chaux hydrauliques naturelles
 - Ciment
 - Ciment + Chaux aérienne
 - Liant pouzzolanique
- Efficacité du liant
 - Type et quantité d'argile
- Objectif
 - Résistance à l'eau

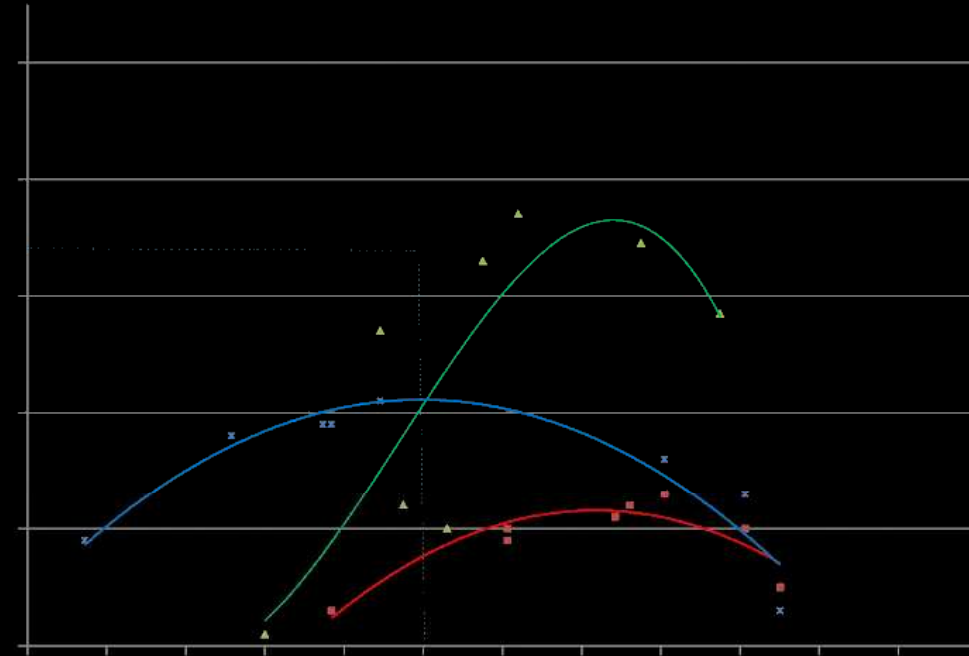
Terre compactée/compressée porteuse

- Essais de laboratoire

Densité sèche



Résistance compression



Résistance mécanique


| | Adobe et enduits | BTC et pisé |
|----------------------------------|---|--|
| Résistance en compression | 0,1 à 0,5 Mpa ... et plus selon les liants | 0,2 à 4 Mpa ... et plus selon les liants |
| Résistance en traction (fendage) | 0,1 à 0,2 x Rc ... et plus selon les fibres | 0,1 à 0,2 x Rc |
| « module » d'élasticité | sec, non stabilisé : 20 à 100 MPa sec, stabilisé : → 350 MPa | sec, non stabilisé : 100 à 1000 MPa sec, stabilisé : → 3500 MPa |

Caractéristiques thermiques

- conductivité thermique λ : fonction de la densité

| matériau | Densité sèche en kN/m^3 (t/m^3) | λ en W / m . K |
|------------------------|--|------------------------------------|
| (réf : laine de verre) | 0,02 | 0,035 |
| terre-paille | 3 à 12 | 0,10 à 0,45 |
| torchis | 4 à 14 | 0,12 à 0,5 |
| Adobe, Enduits | 12 à 15 | 0,4 à 0,6 |
| Pisé | 17 | 0,6 à 1 |
| BTC, briques extrudées | 20 (2 t/m^3) | 1 à 1,2 |

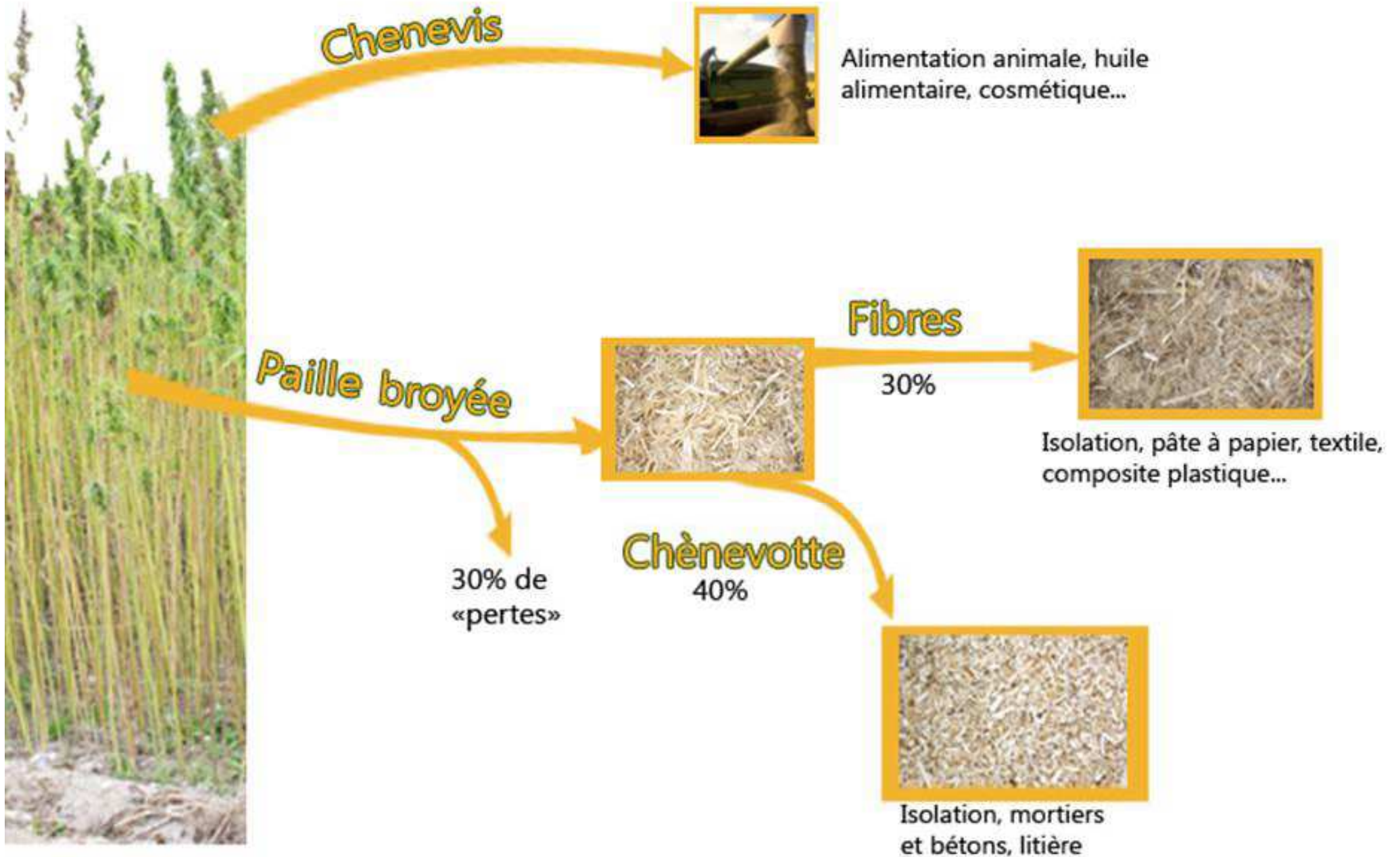
Comportement hygro-thermique

- Perméabilité à la vapeur d'eau → μ : fonction de la porosité, des matériaux, de la teneur en eau ...
 - $\mu = 1$ pour l'air
 - μ : 3 (terre-paille),
6-9 (enduit terre), 5-10 (pisé, BTC, bauge)
 - $\mu > 50$: matériau pare-vapeur
 - Enduits ciment / béton : 80 à 100
 - Briques cuites : 50 à 100
-  barrières étanches → condensation

Construire en Chanvre-Chaux

- Quoi ?
- Avec quoi ?
- Comment ?
- Quelles caractéristiques ?

Le chanvre

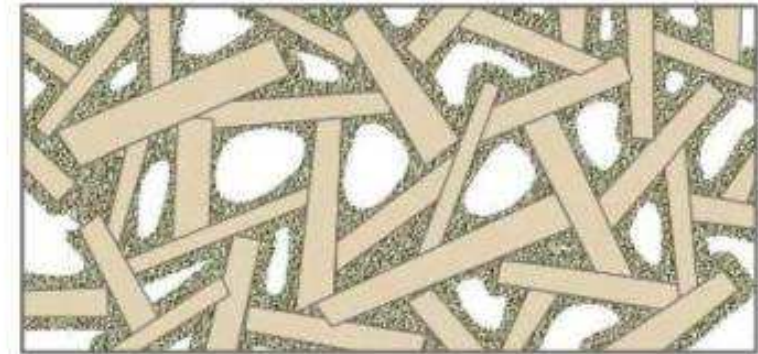
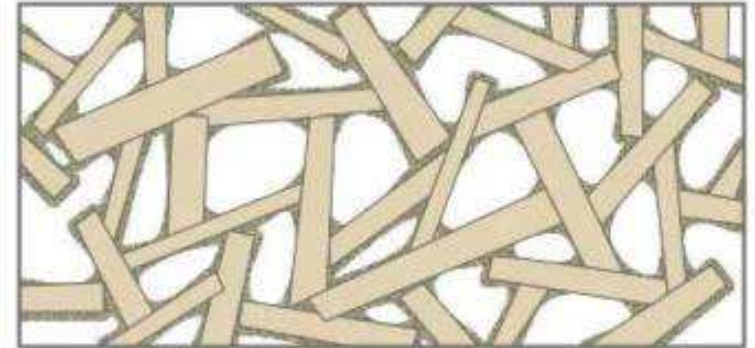


Construire en chanvre-chaux

- Composants
 - Chanvre
 - Chaux + eau
- Chanvre-chaux en bâtiment
 - Blocs
 - Projection
 - Enduits
 - Isolation sols et toiture
- Chanvre seul
 - Isolation phonique
 - Isolation thermique
 - Textiles, huiles, cordages, litières, combustibles, papeterie, alimentation animale, biocarburants, matériaux composites en association avec des matières plastiques

Mélanges chanvre-chaux

- ↗ % de liant => ↗ densité sèche
 - ↗ R_c
 - ↗ λ , donc baisse de l'isolation
- Densité des matériaux
 - Liant : 100 à 400kg/m³
 - Chènevotte : 100kg/m³
- Déclinaison
 - mur, enduits, isolation,



Construire des murs en chanvre-chaux

- Chènevotte + liant
 - 1m³ chènevotte /m³ de chanvre-chaux
- Murs en Chanvre-chaux
 - Banché → règles professionnelles
 - Blocs → « Pass Innovation » CSTB (chanvribloc)
 - + mise en œuvre DTU 20.1
 - + enduits DTU 26.1
- Faibles caractéristiques mécaniques
 - => besoin de structure porteuse (bois, béton)

Construire des murs en chanvre-chaux

- Blocs



- Murs banchés



Construire des murs en chanvre-chaux

- murs banchés (1m³)

- liant (chaux hydraulique naturelle, ou chaux aérienne seule ou ... ciment)

- Densité : 400 à 450 kg/m³

- Rc : mini 0,2MPa → 0,8MPa E > 15MPa

cf. Règles pro / Groupement des producteurs de chanvre en Luberon

- blocs

- Densité : 300 kg/m³ (bloc 30*20*60 = 11kg)

- Rc = 0,1 MPa

Enduits en chanvre & chaux

- Matériaux
 - Chènevotte (5mm, 15mm)
 - Liant : chaux aérienne seule ou mélange (chaux aérienne & chaux hydraulique naturelle)
- Produit
 - Densité : 600 à 800 kg/m³ R_c : mini 0,3 MPa → 1MPa
- Mise en œuvre
 - règles professionnelles
 - « à la main » ou projection mécanique

Enduits en chanvre & chaux

- manuel



- projection



Isolation en chanvre-chaux

- Toiture
 - mortier dosé à 120kg/m³
 - Densité : 250 kg/m³
- parois verticales
 - mortier dosé à 220kg/m³ :
- confection de chappe ou plancher d'étage
 - mortier dosé à 275kg/m³
 - Densité : 500 kg/m³


Isolation en chanvre-chaux



Construire en chanvre-chaux

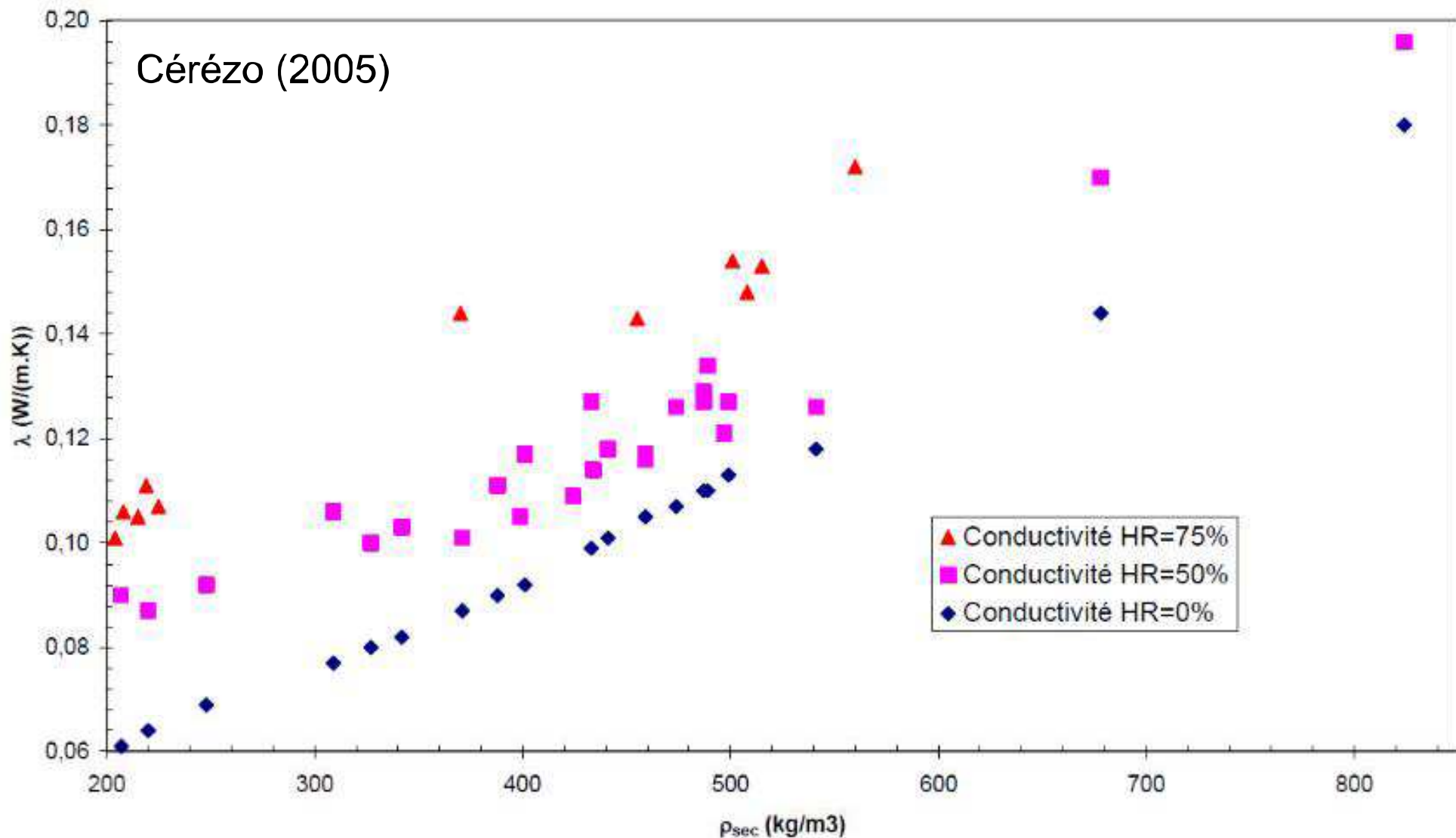
Quelles caractéristiques hygro-thermiques ?

Caractéristiques thermiques

- Conductivité thermique :
 - Chènevotte en vrac: $\lambda = 0,048 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$
 - mortier dosé à 120kg/m^3 : $\lambda = 0,06 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$
 - mortier dosé à 300kg/m^3 : $\lambda = 0,11 \text{ à } 0,12 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$
 - mortier dosé à 600kg/m^3 : $\lambda = 0,17 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$
→ matériau sec
-  plusieurs mois de séchage

Caractéristiques thermiques

- Impact de l'humidité sur λ



Caractéristiques hygro-thermiques

- Perméabilité à la vapeur d'eau
- μ : facteur de résistance à la vapeur d'eau
 $\mu = \frac{\text{perméa à la vapeur d'eau de l'air}}{\text{perméa à la vapeur d'eau du matériau}}$
 - Mur : $\mu = 8 \text{ à } 10$
 - Enduit : $\mu = 10 \text{ à } 13$
 - Isolant : $\mu = 1 \text{ à } 2$

Conclusions

Utiliser des Éco-matériaux

- Choix de la technique de construction
 - résultat d'une réflexion
 - Besoins du maître d'ouvrage
 - Contexte socio-économique
 - Ressources naturelles disponibles sur place
 - ... et non pas « choix a priori »
- Mise en œuvre de la technique choisie
 - Savoir-faire des artisans
 - Technicité de la maîtrise d'oeuvre
 - Formation



Merci de votre attention