

Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble
BP 2636- 60, avenue de Constantine - 38036 Grenoble Cedex

Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement
Architecture en Terre
DSA- Terre 2006-2008

Anne Lemarquis
Architecte, France
Soutenance: Grenoble, juin 2008

Étude sur les
Sols intérieurs
en terre crue

Directeur d'étude:

Patrice Doat, architecte, conseiller scientifique au
laboratoire CRATerre-ENSAG, professeur à l'ENSAG

Jury:

Anne-Monique Bardagot
Patrice Doat
Alexandre Douline
Olivier Moles

Ministère de la culture et de la communication
Direction de l'architecture et du patrimoine



Remerciements à

Patricia Marchante pour son amitié et notre voyage, Christian Tirel pour sa ténacité sans limite et sa précieuse aide à la mise en page, Thibault Mathevet pour son soutien et sa joie de vivre.

Patrice Doat pour son engagement pour la construction en terre, sa créativité, pour ses encouragements et son aide logistique, Anne Monique Bardagot pour ses encouragements et ses précieuses corrections, Romain Anger et Laetitia Fontaine pour leurs appréciations exigeantes, Philippe Garnier pour son aide pratique, David Gandreau pour sa gentillesse et ses documents, Olivier Moles pour sa disponibilité et sa motivation, Hugo Houben pour sa passion, Thierry Joffroy pour ses documents, Sébastien Morisset, Lydie Didier pour sa disponibilité, Marina et Agnès;

Sergio Sabbadini pour son accueil et son expérience, Marcelo Cortes pour sa créativité, sa ténacité et notre prochaine collaboration, Didier Boulaire pour ses conseils sur le plâtre et la manière tendre dont il en parle;

Johannes Riesterer pour ses descriptions, Richard Lacortiglia pour nos discussions, Martin Rauch et Christophe Ziegert pour leurs conférences, Cecilia Alderton pour sa douceur et son travail, Nicolas Meunier pour ses descriptions, Patrick Ribet pour son travail, Andreas Krewett pour son accueil et son aide logistique, Sylvie Wheeler pour son travail et sa passion, Ulf Unnington pour sa gentillesse et ses contacts, Annaïg Madec et Christelle Dupont pour leur façon de vivre, Maria Brown pour son engagement, Eduardo Carualho pour ses documents, David Milcent, Daniel Quintao et Victoria Delgado pour leurs descriptions, Pablo Miguez, et Markus Nolte pour leurs réalisations, Christian Sutter pour sa grande expérience, Laure Cornet et Gaëlle Boissoulier pour leur soutien.

Aide à la mise en œuvre pratique des échantillons de terre réalisés aux Grands Ateliers de Villefontaine:

Basile Cloquet et François Vittoux pour la conception et la réalisation du coffrage. Basile Cloquet, Patricia Marchante, Thib, Gigi, Toto, Daniel Quintao, Monawar Sarwari, Mathilde Chamodot, Wilfredo Carazas pour la mise en œuvre des échantillons.

Et, merci aux auteurs des documents cités dans la bibliographie.

Merci à tous pour leurs précieuses informations, pour leurs coups de mains, indispensables à la réalisation de cette étude.

Cette étude a été l'occasion de rencontrer des gens passionnés et passionnants, pertinents dans leur domaine, et forts de ce goût de la transmission des savoirs. Il y a comme une hypothèse qui serait : les gens qui naviguent dans le domaine de la terre ne peuvent pas être vraiment mauvais... que je n'ai pas encore pu, à ce jour, démentir. Les préoccupations qui animent les passionnés de la terre sont aussi une source de motivation pour la suite de mon parcours.



REMERCIEMENTS

Sommaire

Introduction	p 3
1. Démarche du mémoire	p 6
- Terminologie	
- Etat de l'Art de la documentation spécifique aux sols en terre	
- Recherche de témoignages de personnes ayant réalisés ou vus des sols en terre	
- Mise en œuvre concrète : chantier et échantillons	
- Transformation et transmission de l'information.	
2. Documentation et expérimentation	p 11
2.1. Les familles de sols en terre crue :	p 12
- Rappel des états hydriques de la terre à bâtir	
- Les différentes manières de réaliser des sols en terre crue	
• les dalles pleines	
• les systèmes de remplissages	
2.2. Fiches exemples de sols réalisés	p 15
- 01: Terre compactée en dalle- France- Bureau- Akterre/Caracol	
- 01bis: Terre compactée en dalle- France- Atelier de poteries- Akterre/Caracol	p 16
- 02: Terre compactée en dalle-France-Habitation-Nicolas Meunier	p 17
- 03: Terre compactée en dalle- Autriche- Habitation/Exposition-M.Rauch	p 18
- 04: Terre compactée en dalle-Italie- Musée- Sergio Sabbadini	p 19
- 05: Terre battue traditionnelle- Brésil-Honduras-France	p 20
- 06: Terre battue- Cathédrale-Ghana	p 21
- 07: Terre compactée en dalle- Guatemala- Virgilio Zapata	p 22
- 08: Terre compactée et galets/noyaux- Japon- Cameroun	p 23
- 09: Terrazo: dalle de chaux et de grains compactés	p 24
- 10: Terre étalée en dalle- Suède-Habitation-Café-Svenska Jordhus	p 25
- 11: Terre étalée sur plancher bambous- Bangladesh-C.Ziegert, M.Rauch	p 26
- 12: Terre versée en dalle- France- Geneviève Destouest	p 27
- 13: Torchis lourd en remplissage- Chili- Marcelo Cortes	p 28
- 14: Torchis léger en remplissage isolant- Thierry David	p 29
- 15: Terre foisonnée en remplissage- France	p 30
2.3. Echantillons	
- Terre compactée	
- Torchis lourd	
- Terre coulée	
- Terre et plâtre	
3. Synthèse et recommandations	p 35
- Analyse par thèmes des intérêts et inconvénients des différentes techniques et des sols en terre en général	
• La mise en œuvre et l'entretien	
• L'apport au climat intérieur	
• Le bilan écologique	
• Le coût	
• La satisfaction.	
Conclusion	p 41
Annexe 1: Fiches de principe des six familles principales	p 45
• dalle compactée	
• dalle étalée à l'état plastique	
• dalle coulée	
• remplissage en torchis lourd	
• remplissage en torchis léger	
• remplissage en terre foisonnée	
Annexe 2: Questionnaire	p 51
Bibliographie spécifique sur le thème des sols, dalles et planchers en terre crue.	p 54



Introduction

Ce travail est centré sur la terre comme matériau de construction pour les sols, dalles et planchers et basé sur l'expérimentation et l'évaluation des qualités des sols en terre crue pour des applications dans les constructions actuelles.

Le point de départ de cette étude est né d'un constat : beaucoup d'efforts sont faits pour construire plus écologique, or, concernant les sols, dalles et planchers, la réponse quasi unique est celle de la dalle en béton, Est ce la meilleure réponse ?

Ainsi, le sujet s'inscrit directement dans une préoccupation plus large, celle du développement soutenable, dans la lignée des principes de constructions raisonnées, d'architectures raisonnées.

Développer un habitat sain fait aujourd'hui l'objet d'un consensus. Bâtir sain est nécessaire pour la santé des occupants, leur confort. Et, les architectures doivent être raisonnées dans l'objectif de diminuer le pourcentage d'énergie grise consacrée au domaine du bâtiment, l'énergie grise étant l'énergie de production d'un élément. Ceci est indispensable d'un point de vue d'équilibre des ressources et des énergies à grande échelle.

Une construction doit répondre notamment à quatre éléments pour assurer d'une part le bien être dans le climat intérieur de l'édifice et d'autre part pour l'économie des énergies : l'isolation, l'inertie, les transferts d'air et d'eau.

Certains éléments du bâtiment, composition des murs, des toitures sont largement étudiés pour obtenir des réponses, et donc des techniques valables.

Pour ce travail, mon hypothèse est la suivante : **les sols intérieurs participent à part entière à la réalisation d'une habitation raisonnée.**



Introduction

Un rapide tour d'horizon de l'état de l'Art des pratiques des sols en terre en 2008 permet de constater que les publications sur la connaissance des sols en terre est très avancée concernant les routes, les jardins publics, peu d'études concernent les sols des bâtiments.

Les constructions en terre font dorénavant partie des thèmes renseignés. Des études apportent des informations sur les cultures constructives, les architectures contemporaines en terre et sur les cycles de productions mis en place selon les différents environnements humains. Les apports des murs, en inertie et en hygrorégulation (régulation du taux d'humidité intérieur) sont bien décrits également. La matière terre elle-même est de plus en plus décrite.

Par contre, cherchant des informations sur les mises en œuvre des sols en terre dans le domaine de la construction, et sur leurs qualités, je me suis aperçue de la dispersion des informations sur ce thème, il s'agit de paragraphes isolés parmi des ouvrages sur d'autres thèmes. Ainsi avec ce mémoire, je vais tenter de contribuer à rassembler des informations portant sur des cultures constructives diverses. L'étape suivante consistera à diffuser largement ces informations, notamment sur internet, avec l'accord des auteurs.

Pour cette étude, la collecte des informations a été orientée vers tous les horizons, tandis que les analyses et les recommandations seront, elles, plutôt orientées vers un contexte industrialisé.

Les sols, dans les contextes industrialisés, continuent d'être majoritairement des dalles en béton de ciment (lorsque l'économie locale ne le permet pas, elles restent l'élément rêvé). Pourquoi ? Cette mise en œuvre est passée dans le savoir commun, par exemple en Europe chacun peut en réaliser chez lui, avec du matériel provenant de son distributeur de matériau le plus proche. Par prolongement, les maîtres d'œuvre se dirigent généralement vers cette solution.



introduction

Introduction

Deux questions essentielles sont abordées dans ce mémoire:

- Quelles sont les caractéristiques auxquelles doivent répondre les sols intérieurs?
- Les sols en terre crue répondent-ils à ces conditions ?

Un sol fini, c'est un système de revêtement qui rend utilisable, praticable, un sol d'espace bâti.

Les sols finis s'appuient sur des éléments structurels sensiblement horizontaux. Les principales fonctions qu'ils remplissent sont l'isolation thermique et acoustique et l'ornementation, ils doivent en même temps résister à l'abrasion et aux poinçonnements dus au passage des personnes et des meubles, la chute d'objets et la compression due aux éléments qu'ils supportent. De plus, les sols finis doivent être résistants à la lumière solaire directe et au lessivage.

L'hypothèse de cette étude est la suivante : non seulement les sols en terre crue peuvent répondre aux critères classiques exigés pour des sols, mais ils peuvent également contribuer à l'amélioration du climat intérieur, du confort, et de l'esthétique, en restant dans des coûts acceptables au regard de tous ces apports.

Ce travail veut ainsi répondre à une préoccupation extrêmement contemporaine : la proposition de sols contribuant à un habitat sain. **Il s'agit de placer les sols, planchers et dalles en terre crue en tant que techniques constructives efficaces et actuelles. Ceci, en présentant les réalisations traditionnelles encore utilisées, issues de cultures constructives variées, ainsi que leur développement récent : des mises en œuvres contemporaines optimales d'un point de vue constructif et sensible.**

Le parcours de l'étude s'articule en phases distinctes :

- La démarche entreprise pour cette étude
- La description des grandes familles de sols, planchers et dalles en terre
- La compilation sous formes de fiches, des témoignages de descriptions de sols en terre
- La réalisation d'échantillons pour éprouver certaines caractéristiques décrites
- La synthèse des intérêts et des inconvénients de la mise en œuvre et de l'usage des sols en terre, par thèmes. Au fil de la synthèse sont indiquées des recommandations pour la réalisation de sols intérieurs en terre crue.



1. Démarche



Photographies de Bruno Morandi - Rajasthan-

1. Démarche

Description générale :

Les étapes pour cette étude sont liées étroitement aux questions suivantes :

Quelles sont les motivations qui déterminent le choix d'un revêtement de sol en Europe? Quels types de sols en terre sont disponibles actuellement? Comment les réalisent-on ? Quelles sont leur durabilité et qualités?

Ces questions de départ ont donné lieu à une recherche documentaire. Mais, le manque de littérature a orienté l'étude vers des recherches de témoignages. La découverte d'informations a stimulé l'envie de mettre la main à la pâte et donné lieu à la réalisation d'échantillons, soit de méthodes éprouvées, soit expérimentales. L'ensemble des informations récoltées a permis d'établir une bibliographie spécifique sur le thème et d'établir une synthèse sur les sols en terre crue.

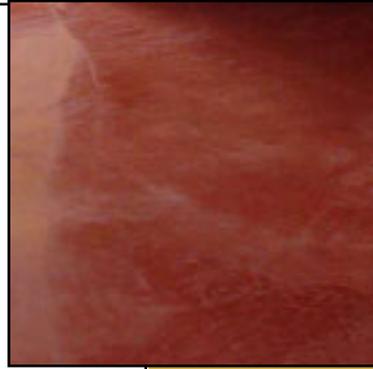
Description détaillée :

1.Terminologie :

- Le concept de sol : En cherchant des informations sur les méthodes et les intérêts de réaliser des sols en terre crue, je n'ai d'abord pas trouvé d'information. Notamment, du fait que, dans d'autres langues le concept de sol n'est pas la traduction littérale du mot français « sol ». Il s'agira par exemple de « pavimento » en italien, « floor » en anglais, « fussboden » en allemand et « piso » en espagnol et non pas « suolo », « ground », « boden » et « suelo ». - Le mot plancher : La langue française n'a pas l'équivalent de « entresols » qui en espagnol qualifie la partie horizontale située entre deux étages, on utilise donc le mot plancher. Mais, « plancher » en français, désigne aussi le revêtement en assemblage de planches qui constitue une finition de sol. Je parle donc dans cette étude de « plancher intermédiaire entre deux étages » rempli en terre ou fini en terre.

- La notion de dalles/ dalle : On parle de dalles en pierre ou bien d'une dalle de béton de ciment, de béton de chanvre-chaux, c'est pourquoi les termes de dalle en terre compactée, ou dalle de béton de terre semblent appropriés.

C'est également du fait de cette ambiguïté de vocabulaire que je n'ai rencontré que très tardivement l'étude très importante, très détaillée de T. David (41) qui a choisi, lui, de regrouper ces systèmes constructifs sous le nom de «surfaces planes en terre» .



1. Démarche

2. Etat de l'Art de la littérature sur le thème des sols en terre crue

Les premières documentations m'ont été transmises par Sergio Sabbadini, architecte milanais, qui réalise actuellement des dalles en terre contemporaines. Il s'est lui-même penché sur ce thème et avait déjà regroupé quelques documents. Puis, la bibliographie s'est enrichie grâce au fonds de bibliothèques spécialisées en architecture vernaculaires.

Les ouvrages, qui décrivent les cultures constructives traditionnelles locales, évoquent la présence des sols en terre battue mais sans les décrire ni les qualifier.

Les publications contemporaines françaises sur les constructions écologiques ne mentionnent pas encore les sols en terre. Les bâtisseurs en paille en font déjà état, et les préconisent. Des auteurs allemands, autrichiens, italiens, américains d'ouvrages spécifiques sur les constructions en terre en décrivent.

Je n'ai malheureusement pas eu accès au livre de Bill et Athena Steen, intitulé *Earthen Floor*. Ils sont en train de rédiger un nouvel ouvrage sur ce même thème qui sera édité prochainement. Sur leur demande, cette étude leur sera communiquée.

Les mises en œuvre détaillées sont très bien décrites dans l'étude de Thierry David. Les ouvrages de Gernot Minke, de Frantz Volhard, décrivent certains procédés, et le *Traité de Construction en Terre* donne des règles d'implantation dans le bâtiment.

3. Recherche de témoignage de personnes ayant vu ou réalisés des sols en terre

Les personnes ressources ont été rencontrées par des réseaux de contacts successifs oraux ou par internet. Les sites internet contenant des informations sont tous des sites orientés vers la construction écologique, pérenne. Des blogs racontent des chantiers participatifs, des associations proposent des formations sur les matériaux sains et diffusent des expériences privées de chantier.

Un questionnaire a été formulé comme moyen de communication pour interroger les auteurs des sols en terre. Il a été rédigé en français, en anglais, et en espagnol. Ce n'était pas le meilleur moyen de recueillir des informations. Les questions concernaient la mise en œuvre. Il s'est avéré par la suite que les informations intéressantes concernaient davantage l'usage.

Il m'a été indiqué qu'il serait intéressant d'avoir à disposition ce type de questionnaire lors de l'étude d'une culture constructive donnée, pour inclure la réalisation du sol en tant que technique à part entière. Connaître les différents éléments d'une culture constructive permet d'intervenir de manière plus cohérente sur le bâti ancien et neuf. J'ai donc formulé un questionnaire spécifique dans cet objectif, en annexe 2.



1. Démarche

3. Mise en œuvre concrète- Chantier et échantillons

L'objectif de ces mises en œuvre concrètes est de diffuser les résultats obtenus pour valoriser l'usage des sols en terre et de les préconiser, en tant qu'architecte, aux maîtres d'ouvrage.

- **Chantier** : Au Chili, j'ai pu participer à la mise en œuvre de remplissages de planchers contemporains en torchis sur ossature métallique, au sein de l'équipe de Marcelo Cortes.

- **Echantillons** : grâce aux grands ateliers de Villefontaine, j'ai réalisé des échantillons de dalles en terre, qui sont la première étape d'un protocole d'essais défini comme suit :

- objectif : valider des finitions de sols en terre crue.

Phase réalisée

- construction d'un coffrage métallique permettant la compaction de la terre.

- mises en œuvre d'échantillons de dalles 50/50cm par environ 6cm de hauteur (cf chap 2.3.)

- techniques connues : dalles compactées, dalles en torchis lourd à l'état plastique

- techniques expérimentales : mélange terre-plâtre, et terre coulée (cf chap 2.1)

- constat des surfaces obtenues après séchage

L'état actuel des échantillon ne permet que de tirer des conclusions sur la mise œuvre.

Phases suivantes non réalisées

- application différents traitements de surface

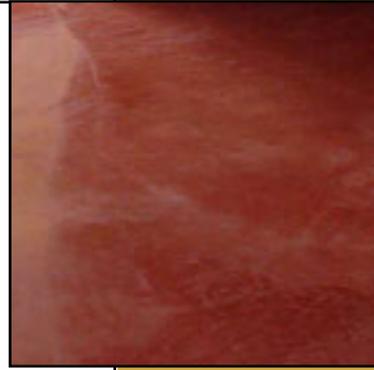
- mise en œuvre d'autres échantillons en utilisant à la fois un additif naturel dans la masse et un traitement de surface

- définition des essais d'abrasion, de poinçonnement et de lessivage

- soumission des différents échantillons aux tests

- comparaison des résultats des différents échantillons

Un autre projet a été initié, il est seulement à l'état embryonnaire: La mise au point d'un système de plancher collaborant bois-terre avec le concours de Richard Lacortiglia du Gabion et son expérience sur les planchers collaborants bois-béton de ciment.



1. Démarche

4. Transformation et transmission de l'information :

Un premier classement des informations au début de l'étude a permis de donner une brève description des types de sols en terre pour la rédaction du premier questionnaire.

Ensuite, les documents édités, et prêtés pour l'occasion, et les témoignages se sont organisés sous forme de fiches nommées fiches exemples.

Remarque : les fiches exemples sont parfois très empiriques puisqu'elles viennent de témoignages de personnes qui ont vu les sols finis, mais qui n'ont pas assisté à leur réalisation. Elles ont le mérite d'énoncer la très grande variété des types de sols et de montrer à quel point leur usage est répandu.

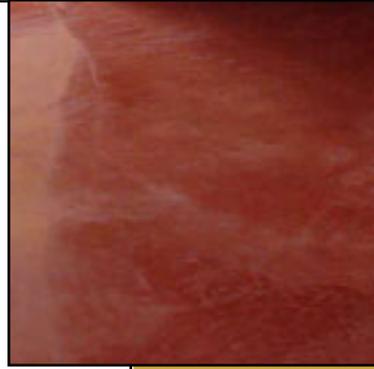
Quant à la synthèse et aux recommandations, elles concernent les réalisations contemporaines. Elles s'adressent ainsi à ceux qui veulent réaliser des sols en terre et s'interrogent sur la méthode et les résultats.

Pour pouvoir s'adresser à un public divers, d'auto-constructeurs, d'artisans, d'architectes, de particuliers, il fallait répondre aux questions évidentes que se posent les usagers potentiels de sols en terre.

C'est dans cette perspective qu'ont été rédigées des **fiches de principe** (cf annexe 1) qui mentionnent notamment à quel type d'usage sont adaptés les sols en terre, et leurs apports spécifiques au rendement de l'édifice.

Cette étape ne pourra être aboutie que lorsque des mesures scientifiques viendront appuyer les constats empiriques. Ces fiches de principe, une fois validées par des données chiffrées, permettront de faciliter la lecture des différentes familles de sol par le grand public. Ces données concrètes deviendront également comparables aux données des revêtements de sol utilisant d'autres matériaux.

Ces fiches de principes sont donc comme une trame de ce qui pourrait devenir des fiches techniques de sols en terre crue.



2. Documentation et expérimentation



Université des Beaux-Arts à Santiago de Chile - Rénovation par l'arch. Marcelo Cortes

2.1. Les familles de sols en terre crue

Rappel des états hydriques de la terre à bâtir

-Mélange humide : Un mélange de terre qui contient la quantité d'eau nécessaire pour que cette terre soit compactée, battue, pisée.

-Mélange plastique : Un mélange de terre qui contient la quantité d'eau nécessaire pour permettre que la terre soit étalée et façonnée à la main. Par exemple, **le torchis lourd** ou le banco pour les terrasses sont des mises en œuvre à l'état plastique. Un torchis dit lourd ou classique contient environ 1/3 de volume de fibres, par exemple de la paille.

-Mélange liquide : Un mélange de terre qui contient la quantité d'eau nécessaire pour réaliser un enduit, qui peut être taloché et lissé.

-Barbotine: Un mélange d'eau et d'une terre très fine. La barbotine qui aura une consistance de yaourt s'obtient en mélangeant un volume d'eau avec un volume de terre sèche tamisée à environ 2mm. La barbotine sert à donner de la cohésion soit à la « terre coulée » soit à la « terre-paille ».

Terre-coulée et terre-paille :

La « **terre coulée** » est en cours de mise au point par des membres de CRATerre. Elle est composée exclusivement de très gros grains et de très petites particules : des gros cailloux et de la terre très fine. Les gros cailloux peuvent notamment être le refus de la terre utilisée pour d'autres techniques constructives, d'un criblage compris entre environ 2 et 5 cm. La terre très fine contenant les argiles sera tout simplement celle qui est restée agglomérée aux gros cailloux lors du tamisage qui a servi à récupérer une terre inférieure à 2cm.

La « **terre-paille** » également appelée **torchis léger** est un volume de paille auquel on donne une cohésion grâce à une barbotine. Ceci permet notamment de préfabriquer des briques ou des panneaux de différentes tailles pour emplir des planchers ou pour remplir des structures verticales. La « terre-paille » a une très forte capacité d'isolation grâce à l'air immobile présent dans la paille.



2.1. Les familles de sols en terre crue

Les différentes manières de réaliser des sols en terre crue:

Il existe plusieurs manières d'utiliser la terre crue pour réaliser des sols. Elle se répartissent en deux ensembles, les dalles pleines et les système de remplissage qui sont divisées chacune en trois grandes familles.

Parmi **les dalles pleines**, on distinguera :

- **les dalles en terre compactée**, à partir d'un mélange humide, qui reçoivent un traitement de surface. ;
- **les dalles étalées**, réalisées avec un mélange plastique, recouvertes d'un enduit de finition ;
- **les dalles en terre coulée**, recouvertes d'un enduit de finition.

Existent aussi les différentes formes de remplissage de planchers intermédiaires entre deux étages. Le mélange de terre vient en remplissage de cette structure. Dans ces systèmes de remplissage, la terre est souvent intérieure au plancher, non visible. Il existe des cas où la terre est visible en sous-face, c'est à dire en plafond.

Parmi **les systèmes de remplissage**, on distinguera :

- **un remplissage en torchis lourd** sur un support végétal ou sur support métallique ;
- **un remplissage en torchis léger**, sur un coffrage perdu/mobile, ou en éléments préfabriqués ;
- **un remplissage de terre foisonnée** sur un coffrage perdu

Il existe également deux autres types de surfaces en terre crue :

- des carreaux de terre crue ;
- un mélange liquide à base de terre, étalé à la spatule en couche superficielle.





2.2. Fiches exemples de sols réalisés

- 01: Terre compactée en dalle- France- Bureau- Akterre/Caracol
- 02: Terre compactée en dalle-France-Habitation-Nicolas Meunier
- 03: Terre compactée en dalle- Autriche- Habitation/Exposition- M.Rauch
- 04: Terre compactée en dalle-Italie- Musée- Sergio Sabbadini
- 05: Terre battue traditionnelle- Brésil-Honduras-France
- 06: Terre battue- Cathédrale-Ghana
- 07: Terre compactée en dalle- Guatemala- Virgilio Zapata
- 08: Terre compactée et galets/noyaux- Japon- Cameroun
- 09: Terrazo: dalle de chaux et de grains compactés
- 10: Terre étalée en dalle- Suède-Habitation-Café-Svenska Jordhus
- 11: Terre étalée sur plancher bambous- Bangladesh-C.Ziegert, M.Rauch
- 12: Terre versée en dalle- France- Geneviève Destouest
- 13: Torchis lourd en remplissage- Chili- Marcelo Cortes
- 14: Torchis léger en remplissage isolant- Thierry David
- 15: Terre foisonnée en remplissage- France

Terre compactée en dalle

Bureau / Réhabilitation

Andras Krewett et l'entreprise Caracol
vers 1998

Cette dalle en terre compactée a été réalisée il y a une dizaine d'années, au siège social de l'entreprise Akterre. Elle constitue le sol du bureau d' Akterre.

Technique employée : Une dalle en béton de ciment préexistait. Une dalle de chaux-chanvre a été mise en place. Puis, les tuyaux, pour le système de chauffage par le sol, ont été disposés. Ces tuyaux ont été recouverts d'un enduit terre pour les protéger de la future compaction.

Précaution:

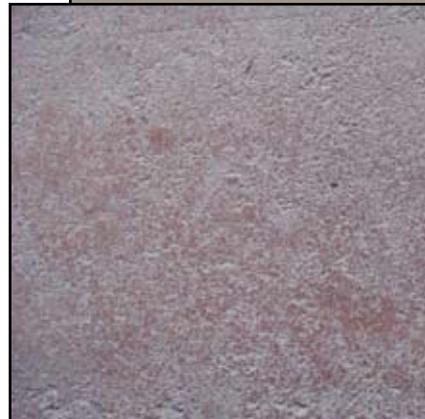
Les essais ont montré que compacter en différentes couches, et notamment en dissociant une dernière couche plus fine, fragilisait le sol: en effet, si la surface connaît un accroc, cette dernière couche se détache en écailles. Il faut donc compacter les dalles en une fois.

Une couche d'environ 8cm de terre, terre à pisé locale, tamisée à 22 mm est nivelée, puis subit un léger compactage. Il ne faut pas marcher sur la terre avant le compactage. Ensuite, aux emplacements des creux entre les gros cailloux, une terre plus fine est saupoudrée, il s'agit toujours de la terre à pisé locale, mais tamisée à 0,8 cm. Le tout est compacté, ici, avec une dame à main.

Finition:

Après le séchage complet, de l'émulsion de carnauba est passée à la serpillière en deux passes.

Puis, après un jour de séchage, une deuxième couche d'émulsion de carnauba est passée de la même manière.



POINT IMPORTANT

Système de chauffage intégré

01

Terre compactée en dalle

Ateliers de poterie, lieu qui accueille du public

Andras Krewett et l'entreprise Caracol,
vers 2000

Ces deux ateliers de poterie, qui accueillent du public, possèdent eux aussi une dalle en terre compactée. Ils se trouvent sur le même site que la dalle de la page précédente.

Ces dalles ont été réalisées sur un hérisson, recouvert de 10 cm de chaux-pouzzolane. Puis, vient la terre selon le même procédé que la dalle du bureau, celle-ci sans système de chauffage intégré.

Aucune des trois dalles n'ont été ni réparées ni entretenues, elles auraient pu l'être avec des couches régulières de carnauba. Les dalles sont en bon état, mais elles ont subi ponctuellement l'abrasion des pieds de chaise.

Caracol, entreprise iséroise de construction en terre, qui a participé à la réalisation de ces dalles, a réalisé également une dalle en terre compacté selon cette mise en oeuvre au domaine de Cantercel dans le Larzac, et en réalise une autre actuellement, dans un bureau, en Isère. Caracol utilise soit une dame à main, soit une table vibrante.



01 bis

Terre compactée en dalle

Terre battue - Sol à chauffage intégré
France- Rénovation d'une habitation
Témoignage internet (57)

Mise en oeuvre:

Cette famille a fonctionné en auto-construction assistée. La "force de travail" était constituée des parents + enfants + amis.

La compétence technique est venue de Nicolas Meunier et de Bruno Darribert. Le jardin contient du gneiss et de la terre noire dessus, elle est inutilisable pour réaliser ce sol. Faute de temps, il a fallu prendre la première source de terre trouvée, sur la colline en face. Belle terre mais avec des cailloux. Alors, il a fallu tamiser. Mais ça, ils ne le feront plus jamais! 110 mètres carrés avec 15 cm ça fait... 20 tonnes!

Pourquoi un sol en terre battue?

La maison a dû être très saine tant qu'il lui a été permis de "perspirer" c'est à dire d'évaporer son humidité. Mais, au vingtième siècle, sa "peau" extérieure et son sol ont été cimentés, d'où l'effet de mèche, de prise de l'eau du sol. Il a est donc été décidé de rétablir toutes les perspirations : les deux faces des murs et le sol seront débarrassés de tout ciment ou plâtre ; il y en a jusqu'à six générations!

La dalle en ciment a donc été enlevée pour être remplacée par de la terre battue qui, pour le confort, sera chauffée "comme une dalle en ciment" et pour le nettoyage recouverte de tomettes.

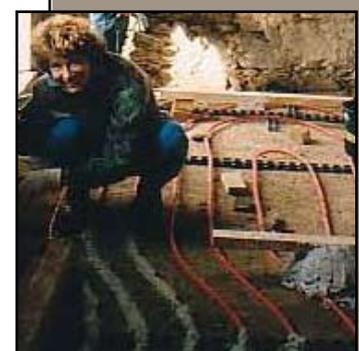
Un système de "caniveau" accessible où l'on met tous les réseaux permet l'accès pour les réparations et les modifications.

L'objectif étant la perspiration il n'y a, bien sûr, aucune feuille étanche. La première couche de terre est considérée comme "isolante". La même terre, en couche sur les tuyaux de chauffage, est considérée comme "conductrice avec inertie".

Le sol brut doit être uniformément bien tassé avant de réaliser la première couche de terre. Après un piétinage, le premier damage s'effectue à la main. Nicolas utilise une dame en chêne de 30 x 20 x 14 cms. Puisque la terre, mal bâchée, a pris l'eau, Nicolas saupoudre d'abord la terre avec de la chaux, pour que la glaise ne colle pas à la dame.

Après le damage à la main, suit le damage pneumatique. Puis, vient la pause des tuyaux de chauffage. Puisque la terre est caillouteuse, pour éviter un poinçonnage d'un tuyau par un caillou, la protection des tuyaux de chauffage est obtenue grâce à un cordon de mortier de chaux.

Ensuite, est mise en oeuvre la seconde couche de terre comme l'a été la première. Viendront par la suite les tomettes, en revêtement final du sol.



Terre compactée en dalle

Travaux neufs

Etablissements recevant du public, expositions, habitations

Architecte autrichien: **Martin Rauch**

Martin Rauch, architecte et artiste autrichien réalise des constructions en terre crue très contemporaines. Il utilise la technique de la terre compactée, pisée, pour réaliser des murs et des sols, dont quelques uns sont visibles ici. Il développe également des systèmes de murs préfabriqués, qui peuvent intégrer des conduits de ventilation, les réseaux électriques, le chauffage.

Il a installé des dalles en terre compactée dans plusieurs

lieux, dont la chapelle de la Reconciliation à Berlin (kapelle-versoehnung), des habitations dont la sienne, l'installation Olafur Eliasson, (voir la page d'annonce des annexes) qui est une surface gigantesque réalisée en dalle de terre.

R é a l i s a t i o n :

Pour la réalisation de ces sols, il explique que la granulométrie de la terre diminue en allant vers les couches supérieures, la dernière couche est très fine. Une attention particulière est portée à la compaction qui doit être très forte. Après séchage, la finition se fait à la cire de Carnauba.

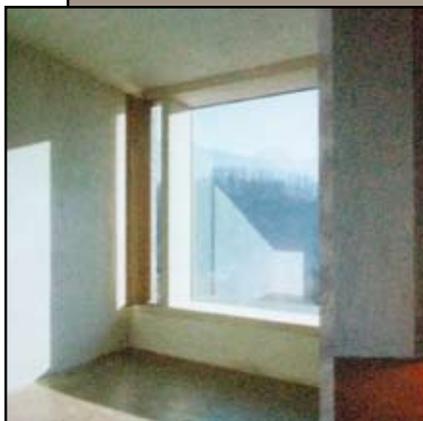


Références:

<http://www.erden.at>

<http://www.lehmtonerde.at>

<http://www.kapelle-versoehnung.de>



POINT IMPORTANT

Système de chauffage intégré

03

Terre compactée en dalle

MIAAO (Musée International des Arts Appliqués
d'aujourd'hui)

Projet architectural: Studio Kha

Projet muséographique : Dr. Enzo Biffi Gentili

Responsable des travaux: Père Giuseppe Goi d'O

Consultant terre: Architecte **S. Sabbadini**

L'architecte Sergio Sabbadini est spécialiste de la terre crue. Il enseigne à l'université Polytechnique de Milan.



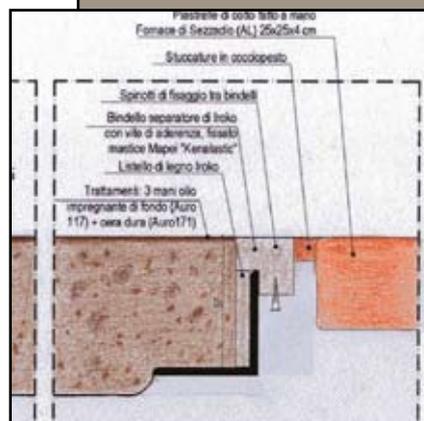
Pour ce projet de musée le choix de la terre est un choix de composition esthétique, mais avec une motivation historique. Cette réalisation sera le témoin d'une culture de la terre crue rarissime en Italie, qui existait dans cette région.

Après une sélection très rigoureuse de la terre, grâce à des échantillons, les 10 tonnes de terre sont tamisées, désagrégées, mélangées à sec, puis humidifiées. La terre est disposée, compactée grâce à un vibro-compacteur, et manuellement. Des impostes créent les dessins dans le sol.

Pour le traitement de surface: le sol est balayé, mouillé, lissé, épongé; puis aspiré. Le traitement de surface consiste en trois passes d'huile étalées à la serpillère, puis vient la cire dure.



Echantillon réalisé pour un autre chantier: La villa Ficana



Traitement de surface: trois passes d'huile imprégnante de fond (Auro 117) + cire dure (Auro 171)



Terre battue

traditionnelle

Brésil: La photo montre une rue de la ville historique de Tiradentes, dans l'état de Minas Gerais. C'est un exemple d'architecture où l'on trouve souvent l'emploi de sols en terre crue dans les pièces du rez-de-chaussée

Dans l'architecture coloniale brésilienne, il y a une tradition de sols en terre battue.

Le sol est laissé au naturel, la terre est simplement tassée de façon à rendre la superficie plus consistante et plus homogène. Quand la terre ne permet pas de former un bon liant, on y ajoute une terre argileuse et de l'eau, pour ensuite faire le pilonnage. Par exemple un type de terre argileuse nommée "**tabatinga**" pouvait servir de liant.

La tradition veut qu'on utilise du **sang de bœuf** dans ses sols pour

obtenir un meilleur liant, mélangé à la terre.

Dans certains cas il pouvait y avoir de la **chaux**, mais pas souvent. Celle-ci était obtenue à travers de la **poudre de coquillage**, dans les territoires proches de la côte.

Parfois, dans les constructions plus soignées, on mettait en dessous de la couche de terre battue une certaine quantité de sable ou de pierreaille de façon à faire un drainage des eaux, si nécessaire, en évitant ainsi son accumulation.



Honduras: La photo montre une maison traditionnelle

En Honduras, les sols sont traditionnellement réalisés en terre. Le sol est régulièrement enduit à la main avec une **barbotine** de terre. Chaque jour, un peu d'eau est jetée au sol, et c'est par le passage quotidien du balai que le sol est poli jour après jour.

Pour stabiliser la terre, de la cendre est utilisée, notamment pour la fabrication des fours.

Le reste de la canne à sucre nommé "**Dulce de panela**" est parfois utilisé pour les constructions en terre. On mélange cette substance à la terre puis on laisse reposer une semaine avant la mise en oeuvre.



France, Vendée: Autre exemple traditionnel, dans le nord ouest vendéen

Les sols des constructions traditionnelles et vernaculaires du nord ouest vendéen étaient eux aussi fréquemment réalisés en terre battue.

D'après un témoignage, lorsqu'un sol en terre battue était "usé", ils le détrempeaient, le retournaient avec

une fraie (pelle bêche du marais), ajoutaient de la terre fraîche et damaient le tout.

On se rend bien compte ici de la qualité **réparable et recyclable** de ces sols, où la terre est remélangée et réutilisée sur place

05

Fiche exemple N° 05

Étude sur les sols intérieurs en terre crue

Terre battue en dalle

Traduction d'une partie du rapport: Navrongo-Ghana- Conservation of « our lady of seven sorrows » cathedral. Final report 1996-2004- Bolgatanga Diocese/ Ghana Museums and Monuments Board / CRATerre-EAG/ The Getty.

Tradition et évolution

Dans le nord du Ghana, les sols des cours et des pièces intérieures sont traditionnellement réalisés en terre latéritique damée, un matériau qui est extrait localement dans le territoire alentour.

Quand le sol de ces pièces et de ces cours est abîmé, ou a été lavé par la pluie, il peut être réparé ou bien refait entièrement. La surface du sol est recouverte de 1 à 2cm, le sol précédent reste en place, mélangé avec le nouveau matériau et compacté à nouveau.

Les hommes extraient et apportent le matériau mais la réalisation du sol, comme celle des décorations, sont le travail des femmes. Elles le réalisent traditionnellement à la même saison- en mars- avant la saison des pluies. C'est un moment de l'année relativement libre des travaux agricoles et les femmes sont invitées par grand groupe de 10-20, selon la surface de sol qui doit être faite. C'est généralement le travail d'une journée.

L'organisation sociale du travail est cruciale.

De nos jours, les sols sont encore réalisés avec cette terre



suivant la technique traditionnelle, mais ils sont souvent couverts d'une fine couche de mortier de ciment qui procure une « croûte » de surface plus dure. Cette fine couche craque souvent, après un temps, et provoque des trous qui s'élargissent progressivement. Si au début, cette solution offre une protection contre la pluie, quand les trous apparaissent, la dégradation des sols est vraiment rapide. Alors, il faut les refaire dans leur totalité.

Mise en oeuvre

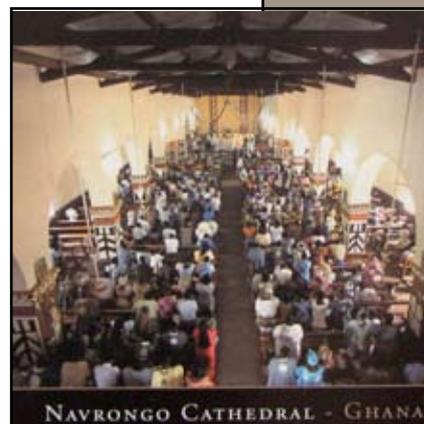
La terre latéritique est tamisée. De la bouse de vache ramassée fraîche est conservée dans l'eau. Le mélange terre, eau, bouse repose une nuit.

La terre mélangée et humidifiée est répandue sur le sol. Elle est nivelée avec une règle en bois. Le compactage dure au moins 4 à 5 heures. La texture du sol évolue durant le compactage. L'eau de bouse est ajoutée en petite quantité, au fur et à mesure pour agréger la terre. Quand la compaction est achevée, le sol repose 1 heure ou deux.

Puis elles frottent le sol avec une pierre plate pour le rendre aussi lisse que possible.

Quelques jours après, de la bouse fraîche est étalée à la main.

Trois jours après, la décoction Dawa-dawa est appliquée deux fois sur toute la surface. On laisse sécher le sol entre 10 jours et deux semaines.



Les« Banlere »

Si plus couramment, la terre latéritique est utilisée seule, des petites pierres très dures, rouges et brillantes, les« Banlere » peuvent être ajoutées en surface pendant la réalisation du sol. Elles améliorent la résistance du sol à l'abrasion.



La décoction "Dawa-dawa"

Elle est faite à partir des cosques de haricots locaux avec des autres végétaux s'ils sont disponibles : des branches et des feuilles d'arbres spécifiques. Les cosques sont mises à tremper une nuit et seront bouillies quelques heures. Les femmes frottent la surface des sols avec les cosques bouillies pour faire briller les « banlere ». La décoction donne une très jolie couleur foncée au sol. Cette décoction est aussi utilisée pour la décoration des murs.



Moyens humains

Un groupe de 30 femmes travaillent une journée entière pour réaliser un sol de 25 m2

Terre compactée en dalle

Ce texte (traduction) et ces images sont issus d'une étude du Dr.Ing. Virgilio Ayala Zapata au Guatemala: Propositions technologiques pour la construction en terre de sols pour l'habitat économique.

Au Guatemala, selon les données obtenues au dernier recensement sur l'habitat de nov 2002, il y a 736753 habitations avec des sols en terre, soit 28,58% du total des sols.

Les sols les plus fréquemment rencontrés sont simplement réalisés avec la terre du lieu, cette terre est humidifiée et compactée et avec le temps, et le trafic auquel est soumis le sol, et l'usure due à l'usage, il tend à se former une surface plane, sans poussière et résistante.

Dans l'étude V. Zapata, sont identifiés et caractérisés les matériaux, les proportions, les procédés de construction des sols en terre compactée, et des sols au ciment et à la chaux à base de terre. Les autres essais réalisés sont la granulométrie

des sols, la compaction, la densité sèche maximale, l'humidité optimale, la flexion, l'abrasion, l'absorption et le poinçonnement.

L'étude permet d'identifier un système constructif facile à mettre en œuvre avec des résultats satisfaisants et fait une analyse de coût du matériau et de la mise en œuvre de sols avec d'autres matériaux. Le mélange le plus économique et qui présente en même temps un comportement efficace aux soumissions d'efforts que subissent les sols à l'usage, est 5 vol de terre pour 1/2 vol de chaux.

Coût au m²
Dalle de béton. USD 11,09
Sol Terre /Chaux. USD 5.17

Réf: voir bibliographie (44)



Un pisolite de grande dimension facilite la mise en oeuvre.



Texture du sol sans traitement de surface



Texture du sol avec l'application d'une couche de patine.

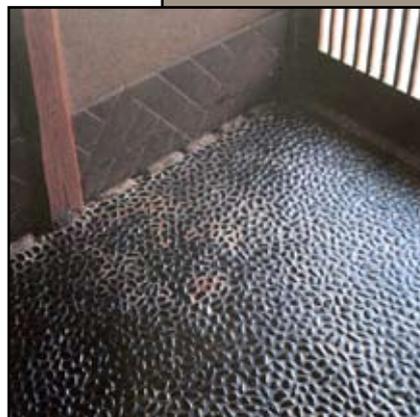
Terre compactée

et galets/ noyaux

Le Japon connaît une grande tradition d'usage de la terre dans ses constructions, autant dans le gros oeuvre que pour les finitions. Leurs savoirs faire sont remarquables et continuent à être transmis. Les finitions sont de très grande qualité.

La photo montre un sol

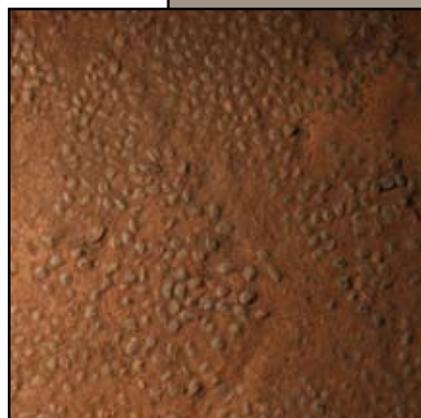
très courant au Japon, la surface est parsemée de galets. Il semble que les japonais utilisent parfois de l'encre de Chine pour colorer les enuils et les sols.



Ce sol est à l'intérieur du Temple sacré de Bafut au Cameroun. Le bâtiment qui date de plusieurs siècles révèle des compétences constructives remarquables.

Comme dans les habitations voisines, ce sol est en terre battue. Il a lui la particularité de contenir à sa surface des noyaux. Les noyaux sont extrêmement durs, ils proviennent des fruits des palmiers locaux.

Ce sol date de l'origine du bâtiment. L'accès du bâtiment est limité de part son caractère sacré. Aujourd'hui, la communauté précise qu'elle ne saurait pas refaire ce sol, quand bien même il faudrait effectuer des réparations.



Terrazo:

dalle de chaux et de grains compactés

Traduction d'extraits de *The Venetian Terrazo*, A. Crovato, foreword by Vittorio Galliazzo, Edizioni Crafi, 1ère éd. 1989 titre original « I pavimenti alla veneziana », édition en anglais 2002

Histoire:

Pendant 600 ans au moins au nord-est de l'Italie, les artisans des "terrazzo" ont été riches en imagination et pauvres en poche, ils ont traversé l'Europe de Paris à St Petersburg.

Les origines du Terrazzo remontent à la Grèce antique qui utilisait des mortiers de chaux ou d'argile.

À Venise au XII^e s. les maisons sont construites en toit de chaume avec des murs en terre et des sols en terre battue ou en "opus siggninum": éclats de briques ou de marbres liés par un mortier de chaux. La dureté est remarquable et la maintenance facile.

Vitruve dans *De Architectura* définit le terrazzo, Le Traité de Plinie l'ancien et A. Palladio en 1570 dans ses "Quatre livres d'Architecture" le décrivent également.

Mise en oeuvre du Terrazzo:

Le terrazzo peut se mettre en oeuvre sur un plancher.

Il est réversible, lorsqu'il est fait à la place d'un ancien sol, ce dernier peut être concassé et remélangé pour le nouveau.

Ces sols peuvent être restaurés.

Il est meilleur d'huiler une fois par an le sol.

1. Préparation de la sous-couche:

Elle mesure de 10 à 20 cm. Mélange d'éclats de brique, de tuiles ou de pierres avec un mortier de chaux dans une proportion de volume de 4/1. Le mortier de chaux contient une chaux issue de cailloux de rivière ainsi que du sable, de la poussière de marbre, de brique ou de verre et de l'eau. Aujourd'hui ce mélange se fait à la bétonnière et est déversé par brouettes.

Cette sous-couche est battue avec un "battipalo" et avec un rouleau de 80 kilos. Puis la terre est à nouveau battue avec un outil "ferro da

bater" c'est à dire un "fer à battre", la partie qui bat fait 80 cm de long et 10 mm d'épaisseur.

Cette opération avec les battipalo, rouleau et ferro da bater, est répétée jusqu'à ce que la couche soit parfaitement compacte et qu'il n'y ait plus d'eau qui sorte.

Cette sous-couche pour une pièce de 20 m² demande le travail de deux ouvriers qualifiés pour quatre jours.

Couche suivante:

Elle est composée d'éclats de briques et de tuiles et de chaux 3/1, pour former un mortier granuleux et rosé qui est étendu sur la sous-couche à la truelle en épaisseur de 2 à 4 cm.

La préparation du mélange nécessite quatre heures pour que les agrégats absorbent l'eau, et il faut quatre heures à deux pour l'étaler.

Cette couche est battue à plusieurs reprises avec un ferro da bater. 2 ou 3 jours après sa pose, il est prêt à recevoir la finition.

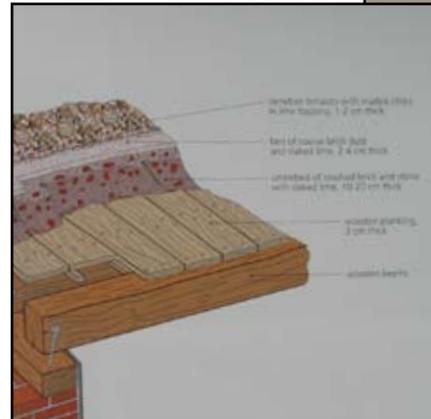
Couche finale:

La couche finale de terrazzo sera de 1 à 2 cm selon la taille des agrégats qui seront des éclats de marbres mélangés à un mortier de chaux en proportion 1/2. Des pigments sont ajoutés.

La consistance grasse du mélange permet de l'étaler à la truelle. Une journée à deux ouvriers spécialisés permet d'étaler cette couche.

Répartition des éléments de surface:

Les morceaux de marbres sont répartis manuellement à la surface de la dernière couche. La dimension des éclats va de 5 à 40 mm, selon 8 catégories de dimension. Cette mise en place demande beaucoup de patience et d'habileté, les éclats doivent être placés avec leur face la plus arrondie en haut. La qualité de cette répartition déterminera la qualité du sol.



En cas de mise en place de différentes tailles d'éclats, les plus grands seront disposés en premier. Puis, les interstices seront progressivement remplis par des éclats plus petits. Un sol sera toujours différent d'un autre. Cette phase prend 2 ou 3 heures pour des éclats entre 10 et 15 mm s'il n'y a pas de dessin spécifique.

Après la répartition, les éclats sont rentrés dans la couche tendre grâce à un rouleau. En même temps, la couche est battue avec un ferro da bater, cette opération adoucit la surface, ce que le rouleau ne fait pas.

Ensuite, il s'agit de faire glisser l'outil "orso" en métal avec une certaine pression sur la surface encore rugueuse pour rentrer les petits éléments qui n'étaient pas encore à leur place. Le nom de l'outil "orso" qui signifie littéralement "ours" vient du bruit que produit le passage de l'outil qui est similaire au cri de l'animal.

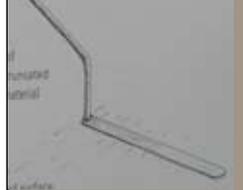
Après plusieurs heures de cette phase, un enduit de jointoiement composé d'huile de lin cuite et de plâtre est étalé à la spatule.

Après une semaine, il faut passer à nouveau l'orso en ajoutant un peu de chaux blanche.

La surface est frottée à plusieurs reprises avec un tissu de jute jusqu'à ce que l'opération de polissage soit achevée.



Ferro da bater



Orso



Terre étalée en dalle

Références:

WWW.svenskajordhus.se

Travaux neufs et Réhabilitation

Etablissements recevant du public et habitations

Entreprise Suédoise : Svenska Jordhus- Johannes Riesterer

L'entreprise a réalisé de nombreuses dalles en terre.

Des sols ont été réalisés de cette manière dans des salons, des cuisines, des salles de bains, un café, une salles de dance...

Technique employée :

Les dalles sont comme un enduit de sol avec de l'huile de lin dans le dernier mélange, elles ne sont pas compactées.



- Finition :

Quand la dalle est sèche, davantage d'huile de lin est ajoutée.

Souvent, la finition consiste en une peinture composée d'oeuf, d'huile, d'eau et de pigments.

Choix de la terre pour la réalisation de ces dalles :

C'est un sol à **bon marché**, mais il prend du temps pour sécher entre les différentes couches.

La qualité du sol est bonne. Spécialement avec la peinture on obtient un bon sol, solide et agréable pour marcher dessus.

Le sol est **facile à laver**, on peut laisser tomber un verre d'eau sans problème.

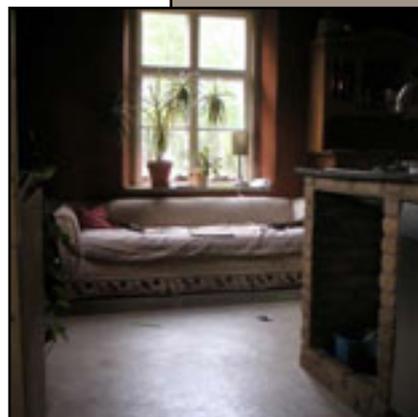
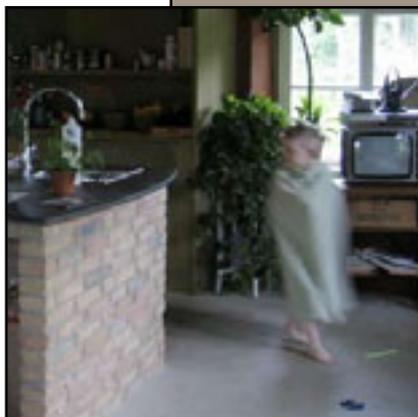
De plus, il est possible d'intégrer le **chauffage au sol**.

Moyens humains :

Entreprise.

Durée :

Séchage long



POINT FORT

La finition par une peinture dans laquelle est présentée des pigments permet d'offrir une gamme de couleurs variées.

10

Terre étalée sur plancher bambous

Références:
www.lehmtonerde.at

Travaux neufs- 2005

L'école de Rudrapur, Nord-ouest du Bangladesh

Elèves, parents, professeurs et les artisans locaux l'ont bâtie

Aide technique autrichienne/allemande.

Cette école fait partie de l'Institut Moderne d'Education et de Formation, élément de l'ONG bangladaise Dipshika qui a pour but d'aider les enfants à développer leur propre potentiel pour l'utiliser de manière créative. Le bâtiment suit les mêmes principes, révélant le meilleur des matériaux locaux.



Sont combinés de manière inventive avec des techniques de construction plus élaborées pour réaliser une construction dont la durabilité est exemplaire.

Cette élégante école de deux étages dans le Bangladesh rural est le résultat d'une profonde compréhension des matériaux locaux ainsi que d'un rapport sincère avec les populations locales. Son innovation réside dans son adaptation aux méthodes traditionnelles et aux matériaux de construction pour créer d'agréables espaces lumineux ainsi que des espaces informels pour les enfants.

Technique employée :

La dalle du RDC est compactée.

La dalle de l'étage est mise à l'état plastique, comme un enduit très épais et talochée.

- Finition :

Dalles cirées

Choix de la terre pour la réalisation de ces dalles :

Matériau local.

Permet une dalle plane sur des grandes surfaces et s'applique également à des surfaces courbes.



Données du projet

Dipshikha/ METI Société d'Education non-formelle, Formation et Recherche pour le Développement des Villages, Bangladesh: Paul Cherwa Tigga, directeur exécutif, Prodip Francis Tigga, proviseur

Architectes: Anna Heringer, Aut. et Eike Roswag, All.

Superviseurs Sepal Debsharma, Afser Ali, Abu Solaiman, Dipshikha, Bangladesh.

Emmanuel Heringer, charpentier, tisserand de paniers, consultant en bambous, All.

Stefanie Haider, forgeron, All.

Ingénieur civils Ziegert Roswag Seiler (ZRS), Allemagne: Christof Ziegert, Uwe Seiler. Martin Rauch

Artisans Section en terre: Reboti Roy, Nikhil Chandra Roy, Buden Chandra Roy, Aminul Islam, Apon Chandra Roy, Suresh Chandra Roy, Jitendra Nath Roy, Sonjib Roy.

Section en bambous: Romesh Roy, Fatik Roy, Bimol Roy, Upendra Nath Roy, Khokendra Nath Roy, Susen Roy, Vhomol Chandra Roy, Bimol Chandra Roy. Sontosh Purification, charpentier (tous au Bangladesh)

Surface construite 325 m²
Coût total US\$ 22,835

Prix Aga Khan 2007

11

Terre versée

en dalle

Référence:
Geneviève Destouest (53)

Autoconstruction 100% - Habitat individuel / Travaux neufs

Présentation d'un seul élément du chantier: béton de terre coulé sur galets. Geneviève Destouest

Technique employée :

La préparation du béton s'est faite avec une bétonnière :la terre a été préparée en « barbotine » (très liquide) avec un malaxeur électrique dans une poubelle (100 l). Celle-ci a été versée dans la bétonnière sur le sable, sans eau.

- Dosage: 1 vol. barbotine pour 4 à 6 vol. Sable gravillonné.

Une fois le contenu de la brouette versé directement sur le sol de galets mouillés (60/40), le mélange est étalé, un peu damé avec une dame de 15/ 15 cm et tiré à la règle : comme pour une dalle à la chaux.

- Finition :le rattrapage des fissurations se fait par damage de chaque côté de la fissure dès que possible (8 jours en hiver, 2 en été)



Problèmes rencontrés

- boules dans la bétonnière à cause d'un mauvais choix de terre au début.

Choix de la terre pour la réalisation de ces dalles :

Dalle avec inertie thermique été/hiver. Etendue directement sur le hérisson de galets car fondations isolées verticalement.

Le ciment est à exclure à cause de ces propriétés non perspirant, la chaux également car son écobilan est moins bon que celui de la terre.

Après un an: constat d'une hyper solidité et vérification de la fonction rafraîchissante en été des 40 m2 de l'espace tampon (25°C dedans pour 39°C dehors) construit en bottes de paille (murs) et plafond isolé. Très bon bilan écologique de la terre (moins bon en énergie grise pour le sable gravillonné or il correspond au 3/4 du volume utilisé).

Surface dalle en terre: 20 m2: en 10 cm d'épaisseur soit 2 m3.

Moyens Matériel :

Bétonnière 120 l ,brouette, pelle et règle aluminium

Moyens humains :

3 personnes

Durée :

1 journée pour la dalle (déplacements de terre en plus)

Prix de revient :

(hors main d'oeuvre) environ 2,7 € /



Commentaire: ici la barbotine donne de la cohésion à du sable. La version «terre coulée» développée par CRA-Terre et décrite plus loin, dans les échantillons n°11 et 12, donne elle de la cohésion à des gros cailloux .

CONSEILS ET SUGGESTIONS

Préparation du béton :

- Terre délitée (obligatoire), qu'elle soit sèche ou légèrement humide, préparer, vérifier à l'avance et ventiler si nécessaire.
- Essais préalables conseillés pour éviter les boules de terre dans la bétonnière et prévenir des fissurations.
- La barbotine est une méthode anti-grumeaux efficace dans la bétonnière, un malaxeur électrique à main est suffisant mais bruyant et fatigant.

Mouillage des galets :

Attention en été le mouillage ralentit le séchage.

12

Torchis lourd

en remplissage

Référence:
www.marcelocortes.com

Travaux neufs et Réhabilitation
Etablissements recevant du public et habitations
Entreprise Chilienne- Architecte Marcelo Cortes

Technique employée :

Cette technique est une réinterprétation du torchis. Traditionnellement appliqué sur une ossature de bois ou de végétaux tréssés, il est ici appliqué sur une ossature métallique.

La préparation du mélange de terre se fait selon la méthode classique du torchis: terre locale, paille et eau sont mélangées puis appliquées à la main ou par projection mécanique. La pose se fait d'abord par le dessus, puis après un séchage relatif, la sous-face est raclee pour égaliser et les trop grandes fibres sont coupées. Puis, la seconde passe se fait par le dessous, elle vient terminer la sous-face.

- Dosage : 1 vol. paille pour env 3 vol. terre (ajout facultatif de sable selon la qualité de la terre)

- La finition du plafond se fait soit en terre lissée ou par un badigeon de chaux.



Choix de la terre pour la réalisation de ces dalles :

Les adobes font partie de la culture constructive à Santiago du Chili.

Cette technique de torchis métallique répond aux critères antisismiques grâce au système de treillis qui forme une enveloppe solidaire et flexible qui ne s'effondrera pas, même si la terre fissurera et s'effritera.

La terre est utilisée pour ses qualités d'inertie thermique. Un système de double toiture assure une ventilation supérieure.

La terre est disponible et facile à mettre en oeuvre.

Les gaines sont incluses dans les planchers.

La terre permet d'avoir directement une finition en sous-face. Ici on peut voir des voûtes en finition terre dans une habitation et un remplissage convexe en coupes à base de losange pour la réhabilitation d'une Ecole des Beaux-Arts à Santiago du Chili.

Moyens Matériel :

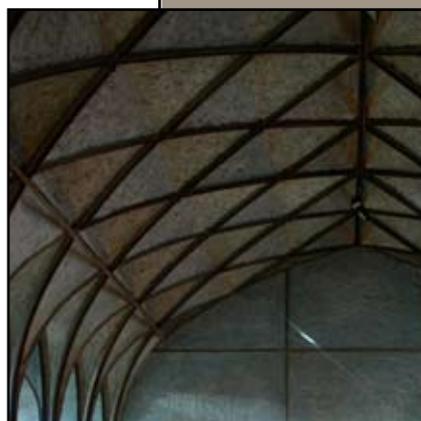
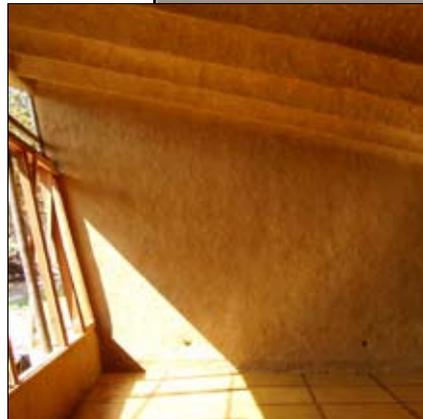
Manuel ou projeteuse.

Moyens humains :

Autoconstruction assistée ou entreprise.

Durée :

mise en oeuvre rapide, séchage long



POINT FORT

Cette technique développée par Marcelo Cortes s'adapte à des volumétries très diverses, elle permet d'intégrer les gaines techniques, une ventilation naturelle, et de mixer un torchis léger qui est isolant et un torchis lourd qui apporte inertie et isolation acoustique.

13

Torchis léger

en remplissage isolant

Références:
Thierry David (41)

Travaux neufs et Réhabilitation
Habitations
Traditionnel

Extrait de description de Thierry David- Plancher en palissons terre-fibres

Cette technique utilise des éléments préfabriqués. La fixation est assurée par insertion en rainurage, appui sur lattes ou clouage. Le dimensionnement en épaisseur des palissons est fonction de la composition du plancher: soit en remplissage total, soit avec un vide d'air. Pour assurer l'isolation thermique, et la protection au feu, un diamètre de 10 à 12 cm des palissons suffit.

Mise en oeuvre :

On utilise des pieux de bois ronds ou fendus, coupés à longueur utile, épointés et insérés d'avance entre les chevrons tous les 10 cm. Ceci donne le positionnement approximatif des palissons.

Un premier pieu est sorti pour être enroulé de terre paille, puis il retourne au poseur qui l'échange contre le

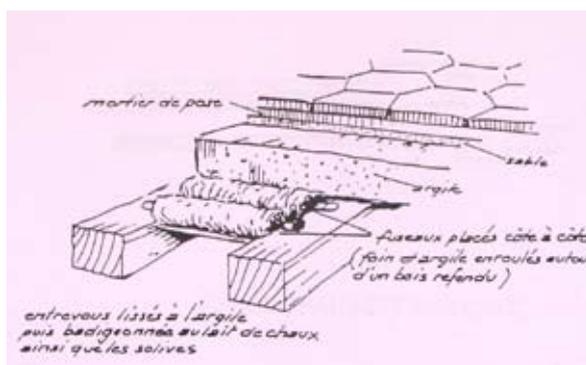
pieu suivant qui va être enroulé à son tour. Le premier palisson est fermement tassé contre le mur, puis les autres suivent. Au cours de l'avancement, les joints sont bouchés à la terre-paille.

Ce type de plancher ne comporte pas d'enduit de sous-face. Pour obtenir une égalisation, on racle avec une planche guide à 5 cm au dessus de l'arête inférieure des solives, jusqu'à obtenir une surface lisse et plane, en rajoutant de la terre si nécessaire. Un blanchiment à la chaux est possible après séchage.

Le remplissage terre-paille supérieur peut être remplacé par du sable brûlé, des cendres ou des scories.

Durée :

Long temps de séchage



Autre exemple d'utilisation de fûseaux= quenouilles= palissons

POINT FORT

Excellent isolant
De nombreuses variantes existe pour le remplissage en torchis léger: des hourdis, des hourdis cintrés, un remplissage sur espalier, sur un coffrage perdu ou mobile

RÉFÉRENCE

Le document de Thierry David « surfaces planes et inclinées en terre » est disponible à la bibliothèque d'architecture de Grenoble

Terre foisonnée

remplissage

Réalisation contemporaine neuve
Isère France

Technique employée :

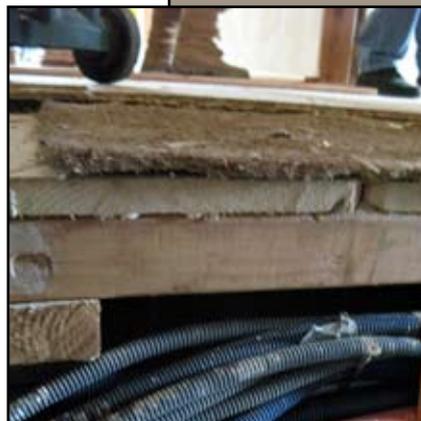
Sur un premier plancher en bois constitué de lames de bois posées sur un solivage, la terre vient en remplissage. Les gaines électriques sont disposées.

Ensuite des planches viennent en recouvrement. Puis est disposée une couche de natte en «coco» qui elle absorbe les bruits d'impact.

Enfin des plaques d'OSB viendront recevoir le plancher flottant qui constituera le sol fini.

Choix de la terre pour la réalisation de ce plancher :

La terre vient remplir le plancher ceci apporte une isolation acoustique par effet de masse.



Demeure traditionnelle
Région Lyonnaise France

Technique employée :

Il s'agit ici d'une méthode de remplissage courante dans la région lyonnaise appelée « le marin»

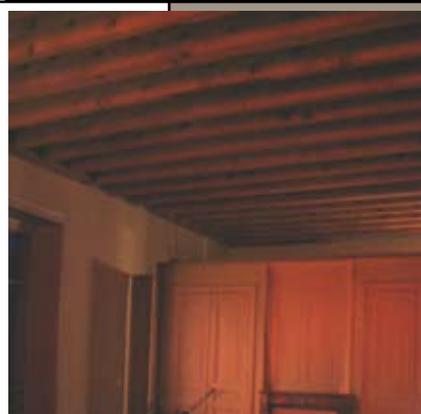
Dans cette demeure deux planchers intermédiaires sont réalisés selon cette méthode

Choix de la terre pour la réalisation de ce plancher:

La terre vient remplir le plancher, ceci apporte une isolation acoustique par effet de masse. Cela assure aussi une protection contre le feu puisque la terre ne brûle pas.

Stockage

Il est probable également que cela ait permis de réutiliser la terre décaissée pour les fondations. En effet, on retrouve ce système dans le centre urbain de Lyon où il devait être plus simple de stocker les déblais sur place dans les planchers d'étage que de sortir la terre hors de la ville.



2.3. Echantillons

- terre compactée
- torchis lourd
- terre coulée
- terre et plâtre

Les échantillons ont été réalisés en partie dans le garage de l'école d'architecture de Grenoble et ensuite aux Grands ateliers de Villefontaine. Comme il est précisé dans le chapitre «démarche», il s'agit ici seulement de la mise en oeuvre de la masse des échantillons. L'échantillon n°1 fait office d'exception puisqu'il a reçu un traitement de surface.

En général, deux photos sont montrées par échantillon. La photo de gauche montre soit la mise en oeuvre, soit l'état au moment du décoffrage, démoulage; et la photo de droite montre l'état de séchage complet, sans finition.

Les dimensions des échantillons de 1 à 12 sont 50 cm par 50 cm par environ 6cm d'épaisseur finie. Ils ont été réalisés dans le coffrage ci dessous. Les échantillons terre-plâtre sont plus petits et plus épais.

N.B: - Les différences de couleurs peuvent être dues à la lumière au moment de la prise de vue. Lorsqu'un changement de couleur notable apparaît, il est mentionné en commentaire.

- Lorsqu'il est écrit (3mm) cela signifie que le matériau est tamisé à 3mm

- Les expressions en italique par ex: *torchis lourd* et *endre*, sont justes une indication d'une particularité de l'échantillon. Il s'agit seulement d'un code de reconnaissance.



Echantillons

terre compactée

Echantillon 1: *carnauba/savon noir*

Masse: 13 litres de terre à pisé, tamisée à 22mm+ 2,5 litres d'eau, versées dans le moule, légèrement compactée. Puis, 3 litres de terre à pisé tamisée à 2mm+ eau, saupoudrés à l'état humide. Le tout est compacté au pisoir manuel. La surface a été légèrement remouillée et balayée, ce qui a créé des accrocs de surfaces.

Traitement de surface: ap.18 j. de séchage

1A: Savon noir passé au pinceau en deux passes à 3 jours d'intervalle. Semble très résistant. Le savon noir fonce considérablement la couleur de la dalle.

1B: Emulsion de Carnauba passée au pinceau en deux passes à 3 jours d'intervalle. Semble très résistant.



1A

1B



1A

1B

Echantillon 2: *premier test au plâtre*

Masse: cf échantillon 1. Mais, soit la couche saupoudrée devait contenir plus d'eau, soit le stockage durant le séchage n'était pas bien à plat. Il y a eu une fissuration.

Traitement de surface: ap.18 j. de séchage

2S3: 1 vol eau + 1 vol plâtre + 1 vol terre(tamisée à 1mm) en partie lissé. Cet essai est à l'origine du traitement de l'éch3.

2S4: 1 vol eau + 1 vol plâtre + 1 vol terre(tamisée à 1mm)+ 1 poudre de marbre: il n'apporte pas de résistance particulière

2S5: 1 vol caséine + 1 vol Plâtre + 1 vol terre (1mm) + eau : craquelle fortement



2



2S3

2S4

2S5

2

Echantillon 3: *terre-plâtre stuckée*

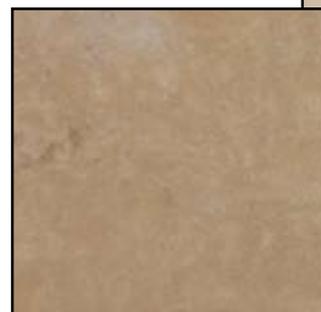
Masse: cf échantillon 1. Légères craquelures

Traitement de surface: ap.18 j. de séchage
Le mélange 2S3 est appliquée au pinceau puis stucké avec une lisseuse.

Le résultat est très dur. Aucun retrait. Il demande un traitement de surface puisqu'il se raye à l'ongle.

Esthétique très satisfaisante.

Voie à explorer.



Echantillons

terre compactée

Echantillon 4: *sable*

Masse: 13 litres de terre à pisé, tamisée à 22mm,+ 2,5 litres d'eau, versées dans le moule, légèrement compactée. Puis, 3 litres de: 2 vol terre(2mm) +1 vol sable(3mm) + eau, saupoudrés à l'état humide. Le tout compacté au psoir pneumatique puis manuel, sans traitement de finition.

Résultat très friable, non satisfaisant.



Echantillon 5: *pouzzolane*

Masse: 13 litres de terre à pisé, tamisée à 22mm,+ 2,5 litres d'eau, versées dans le moule, légèrement compactée. Puis, 3 litres de: 1 vol terre (1mm)+ 1 vol pouzzolane pilée+ eau, saupoudrés à l'état humide. Le tout compacté au psoir manuel, lissé à la truelle.

Résultat satisfaisant, un peu friable, il a besoin d'un traitement de finition.



Echantillon 6: *poudre de marbre*

Masse: 13 litres de terre à pisé, tamisée à 22mm+ 2,5 litres d'eau, versées dans le moule, légèrement compactée. Puis, 3 litres de: 1 vol terre (1mm)+ 1 vol poudre de marbre, saupoudrés à l'état humide. Le tout compacté au psoir manuel. Le résultat est satisfaisant et offre une possibilité de finition de couleur claire, un peu friable, il a besoin d'un traitement de finition.

Voie à explorer.



Echantillon 7: *poudre de marbre seule*

Masse: 13 l. de terre à pisé (22mm)+ 2,5 l. d'eau, versées dans le moule, légèrement compactée. Puis, poudre de marbre saupoudrée seule. Le tout compacté en une fois. Cette méthode ne fonctionne pas.

7S1-Barbotine 2vol terre (22 mm)+ 1vol eau

7S2-Barbotine 2vol terre(22 mm)+ 1vol eau +1vol plâtre. **Résultats non satisfaisants**



7S1 7S2 7



7S1 7S2 7

Echantillons

terre compactée

Echantillon 8: galets

Masse: 13 litres de terre à pisé, tamisée à 22mm,+ 2,5 litres d'eau, versées dans le moule, légèrement compactée. Puis, des galets choisis à un criblage d'environ 20mm sont disposés. Le tout est compacté au pisoir manuel.

Traitement de surface: sans temps de séchage. **8S6:** lait de chaux hydraulique

8S7: lait de chaux hydraulique + poudre de pouzzollane. Il faut un moment précis pour poser ce lait et également pour le frotter. Nous n'avons pas respecté ces temps, le résultat ne peut donc pas être pris en compte.

Cette piste peut faire l'objet de nouveaux essais, les galets apporte une dureté importante en surface



8



8

8S7

8S6

Remarque: un autre échantillon a été réalisé en sapoudrant des éclats de briques cuites, avant la compaction, mais ils ont continué à s'effriter à la compaction. Les briques cuites s'utilisent de manière plus judicieuse dans des mortiers.

Echantillons

torchis lourd

Echantillon 9: torchis lourd et cendre

Masse: Torchis lourd composé de 3 vol de terre à pisé + 1 vol de paille (5cm).

Traitement de surface: enduit avec une consistance assez sèche: 1 vol terre (4mm), 1vol sable (3mm), 1 vol cendre de hêtre (2mm), serré à la lisseuse.

Il y a eu fissuration au séchage complet. **Le résultat est cependant satisfaisant compte tenu de l'absence de séchage entre les deux couches.** On peut supposer un bon comportement de cet enduit, il faudrait le tester à nouveau mais sur une première couche presque sèche.



Echantillon 10: torchis lourd et crotin

Masse: Torchis lourd composé de 3 vol de terre à pisé + 1 vol de crotin de cheval préalablement réduit en poudre par tamisage.

La masse a peu fissurée, elle semble vraiment dure. Elle doit recevoir un enduit de surface.



Echantillons

terre coulée

Echantillon 11: terre coulée nivelée

Masse: Mélange à la bétonnière de terre issue du refus de tamis (30mm) et dont les très cailloux supérieurs à 5cm sont otés.

Le mélange est versé dans le moule, il est nivelé à la règle et lissé à la main.

Quelques petites fissures sont apparues mais la dalle peut recevoir une finition.

Le résultat est très encourageant, du fait de la très rapide mise en oeuvre.



Echantillon 12: terre coulée enduite

Masse: Mélange à la bétonnière de terre issue du refus de tamis (30mm).

Traitement de surface: sans séchage préalable de la masse

Enduit de 1 vol terre à pisé + 1/3 vol sable + eau, posé à un état assez sec. Puis, directement, une barbotine de 1 vol de terre à pisé (3mm) + 1 vol de sable (3mm) + 1 vol de cendre est passée au pinceau et lissée à la truelle. Pas de fissuration. La dalle peut recevoir une finition.

Le résultat est très encourageant, du fait de la très rapide mise en oeuvre.



Echantillons

terre et plâtre

Echantillon 13 (A), 14 (B), 15(D), 16 (E) :

Le but est de voir à partir de quelle proportion de terre ou d'eau le plâtre ne fait pas sa prise.

P= plâtre, T= Terre (22mm), S= Sable

A: 1 P+ 10T + 4 eau

B : 1P + 20T + 4 eau

D: 1 P + 5 T + 1 S + 2,5 eau

E: 1 P + 4T + 1 eau + poudre de marbre

Aucune fissuration. Le plâtre a pris à chaque fois ! Ceci implique qu'une mise en oeuvre très liquide aboutit à un volume solide sans fissure. Traitement de surface à appliquer.

Voie à explorer

Il faudrait poursuivre cette piste en augmentant encore le volume de terre par rapport au volume de plâtre et en maintenant une mise en oeuvre liquide pour atteindre la limite.



3. Synthèse et recommandations



Il s'agit, d'après les témoignages de sols réalisés et d'après les échantillons, de commenter les intérêts et les inconvénients de différentes techniques constructives de sols en terre. Les différents thèmes suivants seront analysés :

- 1. La mise en œuvre et l'entretien
- 2. L'apport au climat intérieur
- 3. Le bilan écologique
- 4. Le coût
- 5. La satisfaction.

Remarque: Il y a des situations où les sols en terre sont réalisés par défaut, lorsqu'ils sont les seuls sols possibles étant donné le contexte économique local. Si les moyens financiers des bâtisseurs le permettaient, ils choisiraient une dalle en béton. Dans ce cas, les sols en terre ne sont pas forcément reconnus pour leur qualité, ils sont même parfois dénigrés. Ce sont des cas où ils peuvent générer une insatisfaction des usagers. Tous ceux qui ont délibérément choisi les sols en sont satisfaits.

Synthèse et recommandations

1. Mise en œuvre et entretien

Intérêts:

Selon la technique de mise en œuvre choisie, terre compactée, terre à torchis, terre coulée, ou terre foisonnée, les temps de mises en œuvre et de séchage vont différer.

Un chantier sans gros outillage :

Pour une terre utilisée à l'état plastique, avec la consistance du torchis classique, les outils et le temps du mélange sont les mêmes que pour les préparations d'un torchis installé sur une paroi verticale. Pas ou peu d'outils sont nécessaires (un mélange mécanique est possible mais n'est pas indispensable). Par contre, le temps de séchage est très long, deux à trois mois selon la possibilité de ventilation du lieu et selon le taux d'humidité de l'air pendant le séchage. Une réalisation pendant les mois chauds et secs est fortement préconisée. La finition se fera par un enduit.

Une mise en œuvre rapide :

Regroupons ensuite les techniques qui permettent de verser un mélange issu d'une bétonnière : La terre coulée (cf le chapitre : familles de sol) ainsi que par exemple la technique qui consiste à mélanger une barbotine de terre avec une grande quantité de sable (cf la fiche n° 11). Ces techniques ont le grand avantage d'être mélangées dans une bétonnière, et de ne pas nécessiter de compactage. Cette voie pourra être explorée davantage. Par contre, il faudra une couche de finition, un enduit. Il faudrait déterminer quel est le moment propice pour réaliser l'enduit. Il est probable qu'il faudra mieux ne pas attendre le séchage complet afin d'obtenir une bonne cohésion entre les deux couches. La qualité de la couche supérieure est essentielle pour la résistance finale du sol.

Une dalle adaptée à un trafic important :

La terre compactée demande de réaliser des échantillons pour trouver un mélange optimal, en effet une dalle damnée demande une très bonne compaction. L'essai « Proctor » (cf manuels CRATerre) permet de mesurer la quantité d'eau optimale pour obtenir la meilleure compaction. Plusieurs types d'outils peuvent servir : des outils manuels tels un pisoir et un rouleau; des outils mécaniques tels un fouloir pneumatique et une table vibrante (du type de celle utilisée pour la compaction des routes) semblent très bien adaptés. Le traitement de finition qui est à tester également par des échantillons avant chaque réalisation semble donner de très bons résultats. Il existe, en effet, de beaux exemples de réalisations dans des lieux recevant du public. Le temps de séchage est plus court que pour

des dalles mises en œuvre avec plus d'eau.

Pas besoin d'armature pour les dalles :

Il est à noter que dans aucune des techniques il n'y a besoin d'armer le sol.

Possibilité de dissocier la masse et la finition :

On constate que toutes les techniques de dalles reçoivent un traitement particulier en partie supérieure: dans la masse de la dernière couche ou bien en surface. Il est donc possible de dissocier la masse du sol de la couche de finition, ce qui permet d'imaginer une masse de sol en terre avec une finition constituée d'un autre matériau. Ce qui est d'ailleurs le cas quand la terre est utilisée en remplissage. Toutes les finitions classiques peuvent être posées sur une dalle en terre. Suivant cette option, la terre peut conserver ces qualités d'inertie, par exemple en cas d'installation d'un chauffage par le sol, ainsi que sa qualité d'isolant acoustique. Par contre, selon le recouvrement, le sol peut perdre la qualité d'hygro-régulation qu'offre de manière excellente la terre.

Stockage :

Traditionnellement, les sols ont toujours été l'occasion de stocker les déblais. Ainsi, le stockage de la terre dégagée pour réaliser les fondations peut se faire en bâtissant des murs en terre et aussi en réalisant des dalles ou des planchers en terre. On sait très bien que le transport des matériaux représente un coût élevé dans la construction, ici, il est réduit à un déplacement sur le chantier même. Lorsqu'il y a l'opportunité d'utiliser la terre du lieu, le coût de la réalisation est réduit à la main d'œuvre puisque le matériau est récupéré. Lorsque la terre doit être apportée d'ailleurs le coût du matériau reste faible, il faut évaluer la cohérence de ce choix en incluant le coût du transport et de la manutention, ceci au regard de la qualité du sol produit.

Entretien:

Dans certaines cultures, l'entretien du bâti est rituelle et festive, il s'agit d'une réunion annuelle des communautés, l'entretien du bâti se conjugue avec l'entretien des liens sociaux. Par exemple, nombre de cours extérieures et de toitures terrasses en Afrique nécessitent une couche d'entretien annuelle ou bisannuelle. La durée de certains sols est donc limitée mais ils sont complètement réparables.

Comme on nourrit un parquet brut, à l'huile de lin de temps en temps, il est possible d'imaginer entretenir un sol en terre.



Synthèse et recommandations

Inconvénients:

Les inconvénients sont de plusieurs registres, liés au matériau lui-même :

Diffusion de l'information :

La remarque d'un constructeur de dalle en terre relevée sur internet : « J'ai improvisé cet ouvrage, je ne connais pas d'autre exemple de mise en oeuvre de cette technique » est révélatrice qu'il est nécessaire de rendre plus disponible les informations sur les sols, dalles et planchers en terre.

Préparation de la terre :

Relevons une différence notoire entre le ciment et la terre : un sac de ciment est disponible, en Europe, partout; et il contient strictement le même matériau, sec, quel que soit le lieu et la saison. La terre, elle, demande une préparation. Il faut en effet s'assurer que la composition de la terre disponible correspond à la technique que l'on veut employer et l'amender si nécessaire. Il faut également veiller à la quantité d'eau qu'elle contient. Pour compacter la terre, il faut qu'elle soit presque sèche, il faut donc la protéger de la pluie avant sa mise en oeuvre.

Autre exemple pour l'utilisation à la bétonnière, la terre doit être désagrégée, c'est à dire qu'il faut séparer les agrégats. La terre peut avoir besoin d'être tamisée notamment pour les couches de surface. Et, la préparation en barbotine ou en torchis demandera une nuit de repos avant la mise en oeuvre.

Spécificité de la dalle compactée:

Donnons une précision: pour une dalle compactée, il ne faut pas marcher sur la terre avant de la compacter, ce qui provoquerait des risques de compaction différentiels et rendrait difficile le nivellement de la dalle. Il faudra donc organiser le déroulement en phases : répandre la terre, la niveller, et la compacter sans marcher dessus avant.

Prendre en compte le poids et le temps de séchage:

Le calcul du poids de la dalle doit se faire en tenant compte de l'état hydrique de la mise en oeuvre. En effet, la structure devra supporter le sol fini sec mais

aussi le volume d'eau présent dans le mélange pendant la réalisation



Il faut également prendre en compte le temps de séchage dans l'organisation du chantier. En effet, selon le choix de la technique, il peut varier entre deux extrêmes: aucun temps de séchage en cas de terre foisonnée, jusqu'à trois mois pour un mélange qui contient beaucoup d'eau dans sa mise en oeuvre, en climat humide.

Rapellons en effet que la terre ne fait pas de prise, par contre elle sèche jusqu'à un état qu'on dit sec, qui contient en réalité environ 10 % d'humidité, qui vient de l'air ambiant. Le bois fonctionne de même, il contient toujours de l'humidité même lorsqu'on le nomme "sec".

Important: La préfabrication d'éléments en «terrepaille» demande un lieu pour entreposer les éléments durant leur période de séchage. Mais, cette méthode permet, elle aussi, d'annuler le temps de séchage «en place» puisque les éléments préfabriqués seront installés secs. La contrainte de durée est remplacée par une contrainte d'espace.

Eviter la fissuration:

Lorsqu'il s'agit de finition en terre, il faut faire des échantillons préalables pour déterminer les volumes des mélanges, s'assurer que la terre n'aura pas trop de retrait au séchage ce qui aboutirait à une fissuration. D'autre part, le séchage doit être protégé du rayonnement solaire direct qui provoque un séchage trop rapide qui peut conduire à des fissures. Lorsque des fissures apparaissent elle peuvent être compactées de part et d'autre au moment où la fissure apparaît, (il est trop tard lorsque le séchage est complet) ou bien «fermées» à la lisseuse.

Les inconvénients sont donc gérables par une bonne préparation, quelques précautions à prendre et une organisation de chantier adaptée.

Synthèse et recommandations

2. Apport au climat intérieur

Intérêts:

L'inertie thermique grâce à une dalle en terre :

L'inertie thermique d'un bâtiment, c'est sa capacité à stocker et à déstocker de l'énergie, quelle que soit la saison. Elle définit la vitesse à laquelle le bâtiment se refroidit ou se réchauffe. Elle permet d'amortir les variations de température intérieure. Ainsi une dalle en terre apportera de l'inertie thermique en opérant une accumulation de chaleur pour une restitution ultérieure par radiation.

A ceci s'ajoute la possibilité d'inclure un système de chauffage qui gagnera en efficacité grâce à cette propriété d'inertie.

L'absorption de la vapeur d'eau améliore le confort thermique : hygrorégulation

Les constructions vernaculaires possèdent traditionnellement des murs et des sols poreux.

La porosité d'un sol ou d'un mur lui permet d'absorber de la vapeur d'eau: en été les murs et les sols sèchent, ce qui provoque un rafraîchissement, et au début de l'hiver ils reprennent leur teneur en eau sous forme de vapeur qui se condense dans le mur, diminuant ainsi l'humidité ambiante.

Les usagers de dalles en terre confirment leurs fonctions rafraichissantes en été.

Dr. Ing. Christophe Ziegert a expliqué dans sa conférence à Grenoble en avril 2008 à propos des enduits en terre:

« Le confort intérieur est vraiment meilleur, notamment par la régulation hygrométrique qui est supérieure à tous les autres matériaux. Le matériau terre a une capacité d'inertie thermique similaire aux matériaux de même densité, mais a une capacité de régulation hygrothermique supérieure. Cette propriété est due aux argiles qui absorbent la vapeur d'eau. Plus le mur est capable d'absorber l'humidité ambiante interne, plus le climat intérieur sera agréable. La terre absorbe 3 fois plus d'humidité que les autres matériaux utilisés en enduit, et par exemple 6 à 10 fois plus d'humidité que le plâtre. Un enduit en terre de 1,5 cm d'épaisseur améliore déjà énormément le climat intérieur en régulant les variations quotidiennes d'humidité. »

Attention: Concernant les sols, il faut garder en tête que l'absorption de la vapeur d'eau est permise grâce à la porosité de surface.

Donc, pour le traitement de surface d'un sol, l'idéal sera d'obtenir un sol lavable, insensible à l'eau liquide, mais qui reste capable d'absorber la vapeur d'eau pour jouer un rôle de régulation de l'hygrométrie. (L'hygrométrie caractérise l'humidité relative de l'air, à savoir la proportion de vapeur d'eau qu'il contient).

Il serait très intéressant qu'une étude similaire à celle de M. Ziegert soit menée concernant les sols finis.

Capacité d'isolation thermique:

Inertie et isolation doivent être utilisées conjointement pour optimiser le rendement des bâtiments.

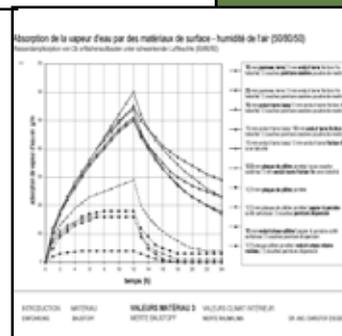
Un volume de terre très fibrée joue un très bon rôle isolant. Il s'agit même plus précisément de fibres à laquelle une barbotine donne cohésion. Une couche isolante peut être installée en sous face d'une dalle lourde en terre, ou en remplissage de planchers. Des blocs de terre-paille (ou autres fibres) peuvent être préfabriqués.

Capacité d'isolation acoustique

Pour réaliser une isolation acoustique, il existe des principes de base :

- la loi de masse : plus c'est lourd, mieux ça isole. La densité de la terre compactée et aussi celle du torchis lourd sont très élevées, la capacité d'isolation acoustique sera donc très efficace.

- la loi masse-ressort-masse : en combinant certains matériaux, on peut appliquer le principe dit « masse-ressort-masse ». Deux masses sont séparées par un ressort, lequel peut-être de l'air ou un matériau absorbant. Une terre très fibrée peut jouer le rôle d'amortisseur de sons.



Synthèse et recommandations



Inconvénients:

Le risque d'usure :

Si un objet dur est toujours en contact avec le sol, une chaise par exemple, elle peut par abrasion endommager la surface du sol, de la même manière qu'elle abîme un plancher bois.

Ce thème peut être abordé de plusieurs manières, il s'agit soit:

- de durcir: Mais est-il possible d'obtenir un sol en terre extrêmement dur? Oui, avec des additifs et traitements de surfaces spécifiques, mais cela d'annuler l'effet de régulation hygrométrique.

- d'adapter son usage: les japonais choisissent de se déchausser à l'intérieur de l'habitat. On peut également protéger les sols si on désire qu'ils ne subissent aucun accroc. On peut aussi accepter qu'ils connaissent les traces du temps, comme un plancher bois, des carreaux de terre cuite, des pierres usées arrondies...Il faudrait valoriser l'usure pour la rendre plus acceptable.

Notons au passage une contradiction au sein de notre société où nous vieillissons artificiellement des meubles neufs en bois, grâce à des produits toxiques et nous n'acceptons plus le vieillissement naturel des matériaux. Les traces du temps peuvent être interprétées positivement, de la même manière que les rides peuvent embellir les visages selon le regard que l'on porte. On se pame devant le patrimoine, devant " les vieilles pierres" mais nous désirons des matériaux inusables. Rappelons que les sols sont réparables. Il faut seulement veiller à retrouver une cohésion entre la réparation et le sol existant.

Synthèse et recommandations

3. Bilan écologique

Très bon bilan écologique de la terre

La terre est un matériau sain, au bilan écologique excellent: naturel, non transformé, non transporté (la terre peut être transportée, mais ce sera sur une courte distance, on trouve toujours à proximité une terre à bâtir.)

La terre est non toxique, elle peut être mise en oeuvre à la main. Puis, ensuite dans l'habitat, il n'y aura pas de toxicité dégagée. Un risque minime existe toutefois dans le cas où la terre serait extraite d'un sol ayant subi une pollution forte, industrielle.

Si la terre est mélangée à du plâtre, il faudra veiller à choisir un plâtre naturel qui ne risque pas d'être fabriqué à base de déchets industriels, ce qui induirait une toxicité.

Si la terre est mélangée à du sable lavé, ce dernier du fait d'avoir été extrait, lavé, stocké, transporté, consomme une énergie grise non négligeable.

Reversibilité- Recyclage

Lors d'un réaménagement dans la construction, s'il faut démonter un sol en terre, la terre peut servir à d'autres constructions ou retourner dans la nature sans la polluer. La terre est un matériau complètement réversible et recyclable.

Stockage :

Le transport des matériaux et leur retraitement est une proportion importante du coût dans le domaine du bâtiment. Les dalles, sols et planchers sont l'occasion de stocker notamment les déblais de fondations.

4. Coût

Le coût est très variable selon le contexte, selon les sociétés. Un sol sera gratuit quand il s'agit de la terre du lieu et d'un travail communautaire.

Une dalle de terre amendée à la chaux coûtera la moitié du prix d'une dalle en béton, dans un contexte de pays du sud. (Cf étude de Virgilio Zapata (44) dans la bibliographie)

En contexte européen, un sol est très économique quand il est réalisé en auto-construction, c'est à dire environ 3 euros du m². (Cf ref internet n°53)

En milieu urbain, la nécessité de s'approvisionner plus loin et le transport augmentera le coût.

Lorsqu'il s'agit d'une réalisation très spécifique, le prix peut augmenter très fortement, par exemple 200 euros /m².

Un sol en terre peut, dans des cas très particuliers, être considéré comme une œuvre d'art, unique, installée.

5. Satisfaction

Organisation sociale:

Dans le cas d'un chantier avec des entreprises, la non toxicité du matériau améliore sûrement la qualité du déroulement du chantier. Lorsque le choix de l'autoconstruction est un choix lié à une forte préoccupation d'habitation saine, le niveau de satisfaction d'une dalle en terre est excellent, du fait de la qualité intrinsèque du matériau et de la construction en tant qu'acte social. Dans une réalisation manuelle, beaucoup de bras seront nécessaires. Réaliser à plusieurs une construction en terre peut s'avérer une rencontre sociale notoire. Certains constructeurs organisent un chantier communautaire en incluant famille et amis à l'acte de bâtir.

Le sol sera unique:

Chaque mise en oeuvre sera unique puisque elle sera réalisée avec une terre donnée, dotée de caractéristiques de granularités et de couleurs propres, à la différence des carrelages, ou d'une chape en ciment qui sont issues de produits standardisés.

Marcher pieds-nus:

Une caractéristique des usagers des sols en terre en Europe: tous les usagers sont lucides sur la nécessité d'utiliser des matériaux sains, mais lorsqu'ils choisissent un sol en terre c'est pour marcher dessus pieds-nus.

Les hautes performances de la terre sur les plans de l'inertie thermique, de l'isolation acoustique, de l'hygro-régulation améliorent le climat intérieur et par ce biais le confort de l'utilisateur. La qualité de finition permet de répondre aux critères esthétiques contemporains et de donner un caractère unique aux sols en terre. A ces caractéristiques, viennent s'ajouter l'excellent bilan écologique de la terre. Tous ces éléments génèrent un grand niveau de satisfaction des usagers des sols en terre crue.



Conclusion

Des expériences récentes de dalles en terre montrent des résultats très satisfaisants tant sur le plan esthétique, thermique, acoustique que sur le confort d'usage. Les sols en terre crue répondent donc bien aux critères classiques des sols, avec des traitements et des couleurs naturels qui permettent de réaliser des lieux de vie, de rencontre et de travail plus agréables, notamment du point de vue de la perception sensorielle. Il s'avère ainsi pertinent d'intégrer dans la démarche constructive le questionnement sur la composition des sols, dalles et planchers et de promouvoir l'usage des sols en terre crue.

L'étude scientifique récente de l'ingénieur Christophe Ziegert, qui travaille en collaboration avec l'architecte Martin Rauch a montré les qualités exceptionnelles des enduits muraux en terre, pour la régulation hygrométrique interne au bâtiment. Je pense qu'il serait fort intéressant de poursuivre ce thème d'étude en l'appliquant à une analyse approfondie des sols en terre.

Ensuite, rappelons également que la mise en place des sols en terre permet un stockage de matériau, notamment au moment de creuser pour implanter les fondations, ou pour enterrer un bâtiment. En général, des bennes entières partent vers des lieux de remblais. Ces volumes de terre peuvent ainsi être stockés sous formes de sols et de planchers dans le bâtiment même, avec une adaptation de la structure au poids de la dalle.

Cette étude a permis de constituer le début d'une bibliographie spécifique sur le thème des sols. Elle réunit à ce jour une soixantaine de références et constitue une base qui devrait se développer. En effet je compte mettre en place une veille technologique sur ce domaine au bénéfice de ceux qui réalisent des sols et avec leur collaboration pour regrouper les informations afin de pouvoir mutualiser les expériences.

Je m'efforcerai donc, sous réserve d'accord des auteurs et des « raconteurs », de diffuser ces informations.

La pertinence de cette étude est son débouché : rendre accessible au plus grand nombre les informations sur ce thème, notamment par une diffusion sur les sites internet traitant des thèmes de systèmes constructifs durables : ARESO, OIKOS, Maisons Paysannes de France, Green builders, Compaillons, Inventerre, Le Gabion, ASTerre : l'association des professionnels de la terre, CRATerre (?), ... puisque ces savoirs existent mais les informations sont difficiles à trouver.



Conclusion

Conclusion

Pour nourrir cette banque de donnée, je fournis en annexe 2, un questionnaire. Ceci pour que les acteurs intervenants sur du patrimoine bâti ou sur des réalisations neuves, en terre, interrogent les populations locales et les professionnels, et obtiennent des informations qui viendront compléter la banque de données sur les techniques de sol. Ceci permettra le cas échéant de réintroduire des sols en terre cohérents avec les méthodes traditionnelles locales.

La filière terre :

Un point très positif en France est le développement de la filière bois, elle est reconnue et les entreprises sont nombreuses et compétentes. La filière terre est plus timide, elle n'est pas encore prise au sérieux à sa juste valeur. Il y a encore un travail de diffusion de l'information à faire et surtout une intégration des techniques constructives en terre dans les formations de maçons. Deux AFPA sont précurseurs dans ces domaines, mais la voie classique reste figée dans le domaine du béton « roi ». Le même phénomène est vrai au sein des formations de chefs de chantier et des autres acteurs de la construction en France.

Les artisans du matériau terre

Il existe une difficulté pour les artisans de réaliser des sols en terre. J'En effet, j'ai eu deux témoignages concordants sur le fait suivant : l'obligation de refaire un sol par ce que la première mise en œuvre était mal réalisée. Ceci s'explique de la façon suivante : un artisan acceptant la commande d'un sol en terre, qui n'a pas d'expérience en la matière, réalise le sol en omettant des paramètres ou en omettant de réaliser des échantillons préalables. Le résultat est mauvais, il faut recommencer. La seconde fois, le sol est réussi grâce à l'expérience du premier sol manqué. L'opération n'a pas été rentable pour l'artisan. Il n'est donc pas motivé à renouveler ce travail.

En opposition, dans le cas où la mise au point de la technique a été faite préalablement ou bien que la technique a été transmise par quelqu'un d'expérimenté, les artisans en réalisent volontiers et sont régulièrement sollicités pour réaliser des sols en terre crue. Pour cette raison aussi, il faut diffuser des informations sur le thème des sols en terre et offrir la possibilité aux gens motivés de rentrer en contact avec des personnes expérimentées.



Conclusion

Conclusion



Communication :

Enfin, je voudrais insister sur la nécessité de communiquer avec des outils contemporains pour s'adresser au grand public et aux maîtres d'ouvrages. Il serait probablement judicieux d'utiliser le langage classique qui s'utilise couramment pour la présentation des autres matériaux.

Lorsque quelqu'un veut choisir comment bâtir, qu'il veut déterminer quel matériau de structure, d'isolation, de finition sera optimal, il veut pouvoir comparer les matériaux qui sont à sa disposition. Il faudrait donc pouvoir, à terme, donner des informations chiffrées sur la terre. Quelle épaisseur de terre paille est nécessaire pour avoir l'équivalent de telle épaisseur de laine de verre ? Quelle épaisseur de pisé apportera quelle inertie, et donc quelle restitution calorifique ? Sans cet effort de communication de notre part, la terre reste une affaire d'urluberlus qui tripatouillent, certes avec joie, dans la boue et la paille et obtiennent au demeurant des résultats réussis. Les apports du matériau terre ne sont pas aujourd'hui assimilables quantitativement par tout un chacun. Les informations sur les constructions sont soit vernaculaires non chiffrables soit expérimentales non chiffrées. Les études pointues qui existent ne sont pas largement diffusées par le moyen aujourd'hui le plus accessible, du moins dans certains pays: internet.

Le bilan personnel de cette étude réside principalement dans l'opportunité qu'elle a constituée de rencontrer des acteurs de la filière terre.

Auto-constructeurs, maçons, ingénieurs, entrepreneurs, architectes, artisans qui m'ont apportés leurs connaissances. Ils m'ont surtout motivée à persévérer dans ce domaine. Ils m'ont confortée en me confirmant les réalités suivantes :

Quelques arguments pour construire en terre :

- **Il y a partout un important patrimoine de constructions en terre crue,**
- **Le matériau terre utilise l'énergie grise la plus faible, il sera donc amené à une place prépondérante,**
- **Une construction en terre induit des relations de chantier saines et riches,**
- **La terre apporte un plus pour l'esthétique et offre une grande variété de constructions,**

Le confort intérieur est vraiment meilleur, notamment par la régulation hygrométrique qui est supérieure à tous les autres matériaux.

Annexes



Exposition Olafur Eliasson réalisée par l'arch. Martin Rauch

Principe de dalle compactée

USAGE:

• intérieur :

Habitations, chambres, salons, musées, ateliers ...

• extérieur (avec une terre spécifique) :

Ex : en Afrique l'utilisation de la latérite pour les cours extérieures est courante. (voir aussi le domaine des jardins publics)

Quel trafic possible ?

Normal à très élevé selon la finition. Eviter pour du mobilier très abrasif et des talons. La variante avec des éléments très durs en surface notamment des galets permet de répondre à des sollicitations très fortes.

TYPE D'ENTRETIEN:

• lavable

• réparable

En intérieur, selon la dureté obtenue en surface, il est parfois souhaitable d'appliquer épisodiquement, fréquence 5 ans, une couche de traitement de surface, de type cire.

En extérieur, l'ajout d'une nouvelle couche de surface sera annuelle ou bisannuelle.

REALISATION:

• Temps de mise en oeuvre :

Temps de compaction.

Ex: terre latérite: 25 m²/ 30pers/ 1jour / manuel, avec finition

Ex: terre à pisé: 20m²/ 3 personnes/ 1jour/ matériel mécanique, hors traitement de surface.

• Temps de séchage :

Selon le climat, au moins 10 jours avant le premier traitement de surface, puis un jour entre traitements, puis quelques jours pour le séchage complet.

APPORTS SPECIFIQUES:

Le principe de la dalle de terre crue compactée apporte une réponse positive en terme de :

- Inertie, **excellent**
- Isolation acoustique par effet de masse
- Chauffage intégré dans la dalle, **fort rendement grâce à l'inertie**
- Passage des gaines
- Hygrorégulation (avec une finition à base de produits naturels)
- Protection contre la propagation du feu
- Stockage (le volume de terre foisonnée stockée sera 1,5 fois le volume de la dalle finie du fait de la compaction)

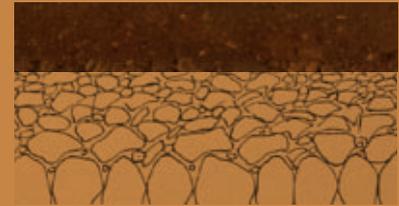


TERRE :

Terre humide compactée selon la technique du pisé.

COUCHES :

Une couche jusqu'à crible 4cm saupoudrée d'une couche de terre fine, 0,8 cm, compactées en une fois. Traitement de finition dans la masse ou en surface



OUTILS :

Peuvent être combinés: psoir manuel, pneumatique, rouleau, table vibrante pour damer. Un concasseur peut être nécessaire pour désagréger la terre.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE:

- Thierry David (41)
- Traité de Construction en terre (3)
- rapport Navrongo-zGhana (42)

- Fiche exemples n° 01 à 09

Principe de dalle étalée à l'état plastique

USAGE:

• intérieur :

Habitations, chambres, salons...

Café, salle de danse,

• extérieur :

Toiture terrasse accessible ou de séchage en climat adapté

Quel trafic possible ?

Normal à élevé selon la finition. Eviter pour des usages intensifs, du mobilier très abrasif et des chaussures à talons.

TYPE D'ENTRETIEN:

• lavable

• réparable

En intérieur, selon la dureté obtenue en surface, il est parfois souhaitable d'appliquer épisodiquement, fréquence 5 ans, une couche de traitement de surface, de type cire.

En extérieur, l'ajout d'une nouvelle couche de surface sera annuelle ou bisannuelle.

REALISATION:

• Temps de mise en oeuvre :

Temps pour réaliser le mélange, étaler, talocher, lisser

• Temps de séchage :

Long du fait de la grande quantité d'eau présente dans le mélange. Selon climat de trois semaines à deux mois pour la première couche, puis temps de séchage pour la finition.

APPORTS SPECIFIQUES:

Le principe de la dalle étalée à l'état plastique apporte une réponse positive en terme de :

- Inertie
- Isolation thermique possible si on utilise une sous-couche de terre-paille
- Isolation acoustique par effet de masse
- Installation de chauffage
- Passage des gaines
- Hygrorégulation
- Protection contre la propagation du feu
- Stockage



TERRE :

Terre à consistance de torchis lourd, état hydrique dit plastique

COUCHES :

La première couche: pour éviter la fissuration, le mélange est amendé de sable et/ou paille en quantité variable. La couche de finition sera un enduit ou une peinture à l'argile.



OUTILS :

Mélange manuel ou mécanique.
Taloche, lisseuse.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE:

- Thierry David (41)
- *Traité de Construction en terre.* (3)
- VeroFrançoisblog (56)

- Fiche exemples n° 10-11

Principe de dalle

coulée**USAGE:**• **intérieur :**

Hypothèse: semblable à dalle étalée puisque la finition par enduite est la même

Quel trafic possible ?

Hypothèse: semblable à dalle étalée puisque la finition par enduite est la même

TYPE D'ENTRETIEN:

- lavable
- réparable

REALISATION:• **Temps de mise en oeuvre :**

Très rapide. Terre coulée à la sortie de la bétonnière

• **Temps de séchage :**

Non évalué, probablement long.

APPORTS SPECIFIQUES:

Le principe de la dalle coulée apporte une réponse positive en terme de :

- Passage des gaines
- Installation de chauffage
- Hygrorégulation
- Protection contre la propagation du feu
- **Stockage et utilisation du refus d'autres techniques constructives en terre**

**TERRE :**

Mélange de gros cailloux , de fines particules et d'eau.

COUCHES :

Une couche qui peut être très épaisse puisqu'elle ne nécessite pas de forte compaction, elle sera juste tassée. Finition par enduit taloché et lissé.

**OUTILS :**

Bétonnière.
Taloche, lisseuse

- Fiches exemples n° 12
- Echantillon 11 et 12

Principe de remplissage en **torchis lourd**

USAGE:

• intérieur :

Tout type d'édifice public et privé, entre deux niveaux

Quel trafic possible ?

En intérieur: en fonction du recouvrement supérieur, planches, béton de ciment, carreaux de terre cuite

TYPE D'ENTRETIEN:

En cas de réaménagement, la terre totalement réversible peut servir à nouveau pour une autre construction.

REALISATION:

• Temps de mise en oeuvre :

Temps du mélange important puis mise en oeuvre assez rapide

• Temps de séchage :

Très long, comme un torchis sur structure verticale

APPORTS SPECIFIQUES:

Le principe du remplissage en torchis lourd apporte une réponse positive en terme de :

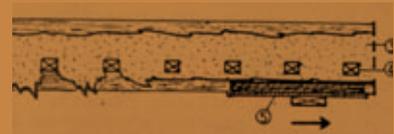
- Inertie
- Isolation acoustique par effet de masse
- Installation de chauffage: elle est possible mais l'intérêt dépendra du recouvrement
- Passage des gaines
- Hygrorégulation nulle ou faible selon recouvrement
- Protection contre la propagation du feu
- Stockage direct si la terre du lieu est adéquate, ou en partie selon la quantité de fibres et/ou de sable ajoutée au mélange



TERRE ET OUTILS :

Terre à torchis étalée ou projetée. Certaines techniques nécessitent un coffrage.

COUCHES :



Sur espalier: Une couche par dessus puis talochée par dessous



Sur un treillis métallique: une couche par dessus, puis une couche par dessous

DESCRIPTION DÉTAILLÉE:

- Thierry David (41)
- *Traité de Construction en terre* (3)
- *Maisons paysannes de France* (17 à 20)
- *Terre Crue* (26)

- *Fiche exemples n° 13*

Principe de remplissage en **torchis léger**

USAGE:

• intérieur :

- en remplissage de planchers
- en sous face d'une toiture plate en terre battue
- en isolation de toiture inclinée

. Quel trafic possible ?

Tous types de trafic, en fonction du recouvrement supérieur: planches, béton de ciment, carreaux de terre cuite...

REALISATION:

• Temps de mise en oeuvre :

Temps important de la préparation du torchis léger et le cas échéant de sa préfabrication. Puis, mise oeuvre très rapide

• Temps de séchage :

Long. Le torchis léger doit absolument être très bien ventilé, sinon il existe un risque de moisissure. Préfabriquer les éléments annule le temps de séchage sur le chantier.

APPORTS SPECIFIQUES:

Le principe du remplissage en torchis léger apporte une réponse positive en terme de :

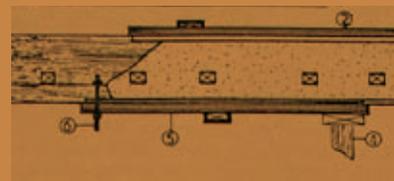
- **Isolation thermique excellente** : air immobile emprisonné dans les fibres
- Isolation acoustique en tant que amortisseur des bruits aériens
- Peut être disposé en couche isolante sous un système de chauffage en RDC
- Résistant au feu (test au Chili: 3 minutes au chalumeau fort sur une brique de torchis léger de 6 cm d'épaisseur, sans enduit: l'échantillon ne flambe pas, ne fume pas. Après les trois minutes, la face opposée à celle qui a subi le chalumeau est froide, on peut poser sa main)



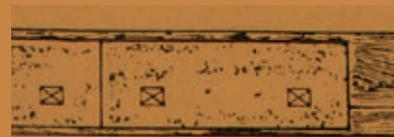
FABRICATION:

Fibres agglomérées par une barbotine

POSE:



Volume de terre-paille posé sur un coffrage perdu ou mobile



La pose d'éléments préfabriqués ici des hourdis terre-paille annule le temps de séchage sur le chantier



Pose des quenouilles, puis complètement par remplissage, et finition par un enduit de surface et de sous-face

DESCRIPTION DÉTAILLÉE:

- Thierry David (41)
- Frantz Volhard(4)
- *Traité de Construction en terre* (3)
- *Maisons paysannes de France* (17,18,19)
- *Terre crue* (26)
- *Fiche exemples n° 14*

Principe de remplissage en terre foisonnée



USAGE:

• intérieur :

Tout type d'édifice public et privé.

Cette technique s'utilise entre deux niveaux en remplissage de planchers

Quel trafic possible ?

En intérieur: en fonction du recouvrement supérieur, planches, béton de ciment, carreaux de terre cuite

REALISATION:

• Temps de mise en oeuvre :

Très rapide. Il s'agit en effet de remplir de terre foisonnée brute.

• Temps de séchage :

Aucun temps de séchage n'est nécessaire

(sous réserve d'utiliser une terre qui a été stockée au sec préalablement)

APPORTS SPECIFIQUES:

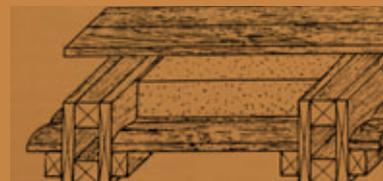
Le principe du remplissage en terre foisonnée apporte une réponse positive en terme de :

- Isolation thermique
- Isolation acoustique par effet de masse
- Installation de chauffage possible mais l'intérêt dépend du système utilisé en recouvrement
- Passage des gaines
- Hygrorégulation nulle ou faible selon recouvrement
- Protection contre la propagation du feu
- **Stockage excellent : la terre ne demande aucune préparation. Cette technique offre un remblai simple et direct**

TERRE:

La terre utilisée est une terre de récupération de déblai, par exemple la terre qui a été décaissée pour les fondations

POSE:



Volume de terre versée sur un coffrage perdu.

Cette technique est très courante dans beaucoup de cultures constructives qui utilise des planchers intermédiaires en bois

Description détaillée non connue

Fiche exemple n° 15

Information sur les sols en terre

Questionnaire

Ce questionnaire a pour objectif d'identifier les sols traditionnels et contemporains en terre crue. Ceci permet d'une part d'enrichir la connaissance sur une technique de sol, au sein d'une culture constructive spécifique, et d'autre part de rassembler ces informations pour compléter les connaissances générales sur les sols en terre.

Remarque : les sols de cours extérieures, et les toitures terrasses extérieures réalisées en terre, avec de la chaux ou du plâtre entrent dans ce questionnaire, puisque les méthodes employées et les qualités recherchées sont souvent très proches.

Une introduction vous permet d'identifier les différents types de sols en terre.

INTRODUCTION :

Rappel des états hydriques de la terre à bâtir :

-Mélange humide : Un mélange de terre qui contient la quantité d'eau nécessaire pour que cette terre soit compactée, battue, pisée.

-Mélange plastique : Un mélange de terre qui contient la quantité d'eau nécessaire pour permettre que la terre soit étalée et façonnée à la main. Par exemple, **le torchis lourd** ou le banco pour les terrasses sont des mises en œuvre à l'état plastique. Un torchis dit lourd ou classique contient environ 1/3 de volume de fibres, par exemple de la paille.

-Mélange liquide : Un mélange de terre qui contient la quantité d'eau nécessaire pour réaliser un enduit, qui peut être taloché et lissé.

-Barbotine: Un mélange d'eau et d'une terre très fine. La barbotine qui aura une consistance de yaourt s'obtient en mélangeant un volume d'eau avec un volume de terre sèche tamisée à environ 2mm. La barbotine sert à donner de la cohésion soit à la « terre coulée » soit à la « terre-paille ».

Terre-coulée et terre-paille :

La « terre coulée » est en cours de mise au point par des membres de CRATerre. Elle est composée exclusivement de très gros grains et de très petites particules : des gros cailloux et de la terre très fine. Les gros cailloux peuvent notamment être le refus de la terre utilisée pour d'autres techniques constructives, d'un criblage compris entre environ 2 et 5 cm. La terre très fine contenant les argiles sera tout simplement celle qui est restée agglomérée aux gros cailloux lors du tamisage qui a servi à récupérer une terre inférieure à 2cm.

La « terre-paille » également appelée **torchis léger** est un volume de paille auquel on donne une cohésion grâce à une barbotine. Ceci permet notamment de préfabriquer des briques ou des panneaux de différentes tailles pour emplir des planchers ou pour remplir des structures verticales. La « terre-paille » a une très forte capacité d'isolation grâce à l'air immobile présent dans la paille.

Il existe plusieurs manières d'utiliser la terre crue pour réaliser des sols. Elles se répartissent en deux ensembles, les dalles pleines et les systèmes de remplissage qui sont divisées chacune en trois grandes familles.

Parmi les dalles pleines, on distinguera :

- **les dalles en terre compactée**, à partir d'un mélange humide, qui reçoivent un traitement de surface ;
- **les dalles étalées**, réalisées avec un mélange plastique, recouvertes d'un enduit de finition ;
- **les dalles en terre coulée**, recouvertes d'un enduit de finition.

Existent aussi les différentes formes de remplissage de planchers intermédiaires entre deux étages. Le mélange de terre vient en remplissage de cette structure. Dans ces systèmes de remplissage, la terre est souvent intérieure au plancher, non visible. Il existe des cas où la terre est visible en sous-face, c'est à dire en plafond.

Parmi les systèmes de remplissage, on distinguera :

- **un remplissage en torchis lourd** sur un support végétal ou sur support métallique ;
- **un remplissage en torchis léger**, sur un coffrage perdu/mobile, ou en éléments préfabriqués ;
- **un remplissage de terre foisonnée** sur un coffrage perdu

Il existe également deux autres types de surfaces en terre crue :

- des carreaux de terre crue ;
- un mélange liquide à base de terre, étalé à la spatule en couche superficielle.

Information sur les sols en terre

Questionnaire

1- CONTEXTE

Nom / Prénom/ Qualité, de celui qui réalise l'étude :

Nom / Prénom , de celui qui a réalisé le sol :

S'agit -il d'un autoconstructeur, d'un artisan ?

2- LIEU

- Pays :

- Localité (le plus précis possible) :

- Localisation du sol en terre :

- Habitation / bâtiment public ?

- Rez de chaussée ou étage ?

- Position dans la construction : entrée, pièce principale, cuisine, salle d'eau, chambre, terrasse extérieure, autres.... ?

3- TYPE DE SOL (voir l'introduction et **choisir**)

Dalle en terre compactée/Dalle étalée à l'état plastique/Dalle en terre coulée

Remplissage en torchis lourd/Remplissage en torchis léger/Remplissage de terre foisonnée

Carreaux de terre crue/ Fine couche à base de terre étalée à la spatule

4- REALISATION

Quand a été réalisé ce sol ? Date connue : / si inconnue, date estimée :

4.1- Support

Le sol en terre est réalisé sur ou dans :

- un plancher, description :

- le terrain naturel, description :

- un support préparé (ex: drainage, hérisson, couche de graviers...), description :

4.2 Description de la mise en oeuvre:

- Quel est le type de terre ?

- Y a-t-il un ajout minéral ? Quelle proportion en volume de sable, de chaux, du ciment ?

- Y a-t-il un ajout végétal/animal ? Quelle est la proportion en volume, par exemple de fibres, et comment se fait la préparation ?

- Quelle est la technique utilisée : verser, étaler, compacter ?

- Quel matériel et quels outils sont utilisés ?

- à la main : psoir, taloche, lisseuse, éponge ?

- mécanique : bétonnière, psoir pneumatique, table vibrante, concasseur... ?

- Epaisseur du sol fini (20 cm, 10 cm, 1 cm...)

- Précautions pendant la réalisation :

- Quelle finition reçoit le sol ?

- Quel est le temps de séchage entre les différentes couches, et pour le séchage complet avant usage ?

Information sur les sols en terre

5- PROPRIETES

5.1- Entretien:

- Est-il nécessaire d'entretenir le sol, comment et à quelle fréquence?
- Le sol est-il lavable, réparable, recyclable?

5.2 - Durée du sol en terre (1 année, 3 ans, 20 ans, beaucoup plus...):

- âge du sol à ce jour :
- durée estimée :

5.3 – Quels sont les apports spécifiques constatés pour ce sol ?

- Régulation de la température ?
- Régulation de l'humidité ?
- Le sol a-t-il la fonction de stocker la terre creusée pour les fondations ?
- Le sol assure-t-il une protection contre la propagation du feu ?
- Le sol a-t-il permis de faire passer des gaines techniques ?

5.3- Inconvénients de la mise en œuvre et/ou de l'usage de ce sol ?

Poids, usure, temps de séchage... ?

6- MOTIVATIONS

S'agit-il du seul matériau disponible?

S'agit-il d'une motivation:

- pour le confort d'usage: thermique, acoustique, régulation de l'humidité, "élasticité" du sol?
- esthétique?
- En liaison avec le bilan écologique de la terre?

7- Coût

- Le coût englobe-t-il, le matériau, le transport du matériau, la main d'œuvre?
- Quel est le coût en monnaie locale?
- Représente-t-il un investissement important par rapport au coût global de la construction?
- Quel est l'équivalent du coût au m², en euros?

8- DOCUMENTATION

S'agit-il d'une réalisation traditionnelle?

Quelle sont les innovations récentes pour la réalisation de ces sols?

Existe-t-il des descriptions écrites de cette mise en œuvre ?

Existe-t-il des photographies ?

Suggestion : Réaliser selon les possibilités, des photos des personnes qui les réalisent, des mélanges qui servent à la mise en œuvre, de la phase de réalisation, du sol fini.

Commentaires :

Merci beaucoup

Précisez si vous ne désirez pas que ces informations soient diffusées librement.



Bibliographie spécifique

sols en terre crue

Bibliographie spécifique

sols en terre crue

Ouvrages et articles publiés

- (1) **Earthen Floors**, Bill and Athena Steen, ed : Canelo Project, 1996
- (2) **The straw bale house di Steen**, Bill and Athena Steen Chap :Floors., 1994
- (3) **Traité de construction en terre**, CRATerre , ed : Parenthèses, 2006, 1ère édition 1989.
- (4) **Leichtlembau**, Franz Volhard, ed : C.F.Müller, 1986
- (5) **Der Praktische Lembau**. W.Fauth 1946
- (6) **Technik des Lehmbaues**, Dipl. Ing. E.Pollack, Ing.E.Richter. 1952
- (7) **Lehmbaufibel**. Prof. Dipl-Ing.T.Miller-Baumeister E.Grigutsch -Dr.K.W.Schulze, 1947
- (8) Martin Rauch Rammed Earth /Lehm und Architektur/Terra cruda, Otto Kapfinger, 2001
- (9) **The Venetian Terrazo**, Antonio Crovato, foreword by Vittorio Galliazzo, ed : Edizioni Crafì, 1ère édition 1989 titre original « I pavimenti alla veneziana », édition en anglais 2002
- (10) **Trattato di costruzioni civili** , Pavimenti- Intonaci-Pareti-Impalcature-Tavolati, G.A Breymann,Consigliere delle Pubbliche Costruzioni e Professore nel Politecnico di Stoccarla. ed : Librerie Dedalo Roma,1996
- (11) **Costruire con la terra**, Tecniche costruttive, campi di utilizzo e prestazioni., G. Scudo- B.Narici- C. Talamo, ed : Esselibri- Simone, 2001
- (12) **Handbook for building** (1981)
- (13) **Building with earth. A Handbook**, John Norton, Printed by Salvo Print, Leamington Spa, Warwickshire, U.K. , 1986
- (14) **Adobe Architecture- Conservation Handbook**, Cornerstones Community Partnerships, ed 1998
- (15) **Construire en paille aujourd'hui**, Astrid et Herbert Gruber, ed : Terre vivante, *sols contemporains*
- (16) **L'habitat au toit en terrasse, spécimen d'architecture paysanne en corse**, Joseph Orselini, ed : Sagep editrice, 1990, *Terrasses en terre battue*
- (17-18-19-) : articles issu de PISE-BAUGE-TORCHIS, extraits de la revue « **Maisons paysannes de France**» Patrimoine rural, 2005
- (17) **Les planchers en bois et terre argileuse**, Jacques Litzler et Chantal Pontvianne *Remplissage plancher quenouilles*
- (18) **Nouvelles réalisations en torchis allégé**, Frédéric Félix et Christian Sutter *Remplissage sous-toiture*
- (19) **Des planchers-plafonds isolants**, Jean Fouin remplissage plancher sur palissons et sur doëllles, Beauce Perche
- (20) **Carrelages en terre cuite anciens ou « à l'ancienne »**, Aline et raymond Bayard, article issu de BRIQUE- CARRELAGE , extraits de la revue « Maisons paysannes de France »- Patrimoine rural . 2002
- (21) **La maison rurale en Lorraine**, C.Gérard, ed Créer, 1982, *terre battue*
- (22) **La maison rurale en Basse-Normandie**, J.Boithias C.Mondin, ed Créer, 2001
- (23) **La maison rurale en Haute-Normandie**, J.Boithias C.Mondin, ed: Créer, 2001
- (24) **Maisons traditionnelles du Nord-Ouest Vendéen**, J.P.Bertrand, ed : mémoire des Vendéens, AREXCPO, 1995,
- (25) **Les bourrines du marais nord-vendéen, témoins d'une histoire et d'une culture**, G. Perraudeau, ed : Séquences, 1988,
- (26) **Terre Crue**, B. Pignal, ed : Eyrolles, 2005, *remplissage plancher*
- (27) An introduction to the Iranian Rural Architecture, Akbar Zargar Ph.D, ed : University Press Shadid Beheshti University,1999, *planchers traditionnels*
- (28) **L'architecture Iranienne**- mise en œuvre des bâtiments avec les matériaux traditionnels, Hossein Zomarchidi, 1995, *planchers traditionnels*
- (29) **Build with adobe**, M. Southwick, ed: the swallow Press, 1965, *dalle avec un mélange de terre plastique*
- (30) **Atlante delle terraze**, Ed : UTET, *terrasses traditionnelles en terre*

Bibliographie spécifique

sols en terre crue

Ouvrages et articles publiés

- (31) **Etude sur les savoirs constructifs au Burkina Faso**, CRATerre- EAG
- (32) **Naturbaustoff LEHM**, Klaus Schillberg- Heinz Knieriemmen, ed : AT Verlag, 1993
- (33) Revue : **Confort 6**, Japon, 2006
- (34) Revue : **Confort 2**, Japon, 2006
- (35) **Sous les toits de terre Haut Atlas**, Karin Huet et Titouan Lamazou, ed : Belvisiral Madariss Publi-Action , *photos de plafonds décorés*
- (36) **Habiter un monde**, Jean-Paul Bourdier et Trinh T. Minh-ha, ed : Alternatives, *photos de terre battue en Afrique*
- (37) Revi-Handbuch, **Richtig und nachhaltig revitalisieren**, Dipl.-Ing. Johann Rathmanner, 2005, version1.01
- (38) **Plastique et technique des sols et mobiliers urbains**, Ministère de l'Environnement et du Cadre de vie
- (39) **Les planchers anciens**, Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat, ed : Moniteur *remplissage plancher*
- (40) **Traité de couvertures traditionnelle**, P. Leboutoux, ed : H.Vial

Autres documents

- (41) **Surfaces planes et inclinées en terre**, Thierry David, mémoire, 1984, en consultation à la bibliothèque d'architecture de Grenoble
- (42) **Navrongo-Ghana-Conservation of « our lady of seven sorrows » cathedral**, Bolgatanga Diocese/ Ghana Museums and Monuments Board / CRATerre-EAG/ The Getty Grant, rapport final 1996-2004
- (43) **L'attualità delle terra battuta**, Studente: Franco Giola, relatore: G. Scudo, correlatore: S. Sabbadini , 2004. Politecnico di Milano, facoltà di architettura e società corso di laurea in architettura
Pavimento per il SAIE 2 dello scorso anno (esposizione al 100% calpestabile di Bologna) Sergio Sabbadini et Mina Bardiani.
- (44) **Propuestas tecnologicas para la construccion con tierra de pisos para vivienda economica**, Dr.Ing.Virgilio Ayala Zapata, Guatemala, étude présentée au SIACOT 2005 Portugal
- (45) **La terra nelle mani delle donne, Burkina Faso**, Sylvia Quattrocchi, description
- (46) **Down and Dirty**, David Gelles, article dans The News York Times, Jeudi 8 février 2007, Rubrique : House and Home
- (47) **Argilla invece di piastrelle**, Paola Trione, article dans la revue Casaviva n.11, 2004

Bibliographie spécifique

sols en terre crue

Sources internet

Sites internet de l'équipe de Martin Rauch:

(48) www.erden.at

(49) www.lehmtonerde.at

(50) www.kapelle-versoehnung.de/bin/deutsch/dokumentation/index.php?Btyp=5&Bname=0

(51) www.marcelocortes.com

Site internet de Johannes Riesterer

(52) www.svenskajordhus.se

Site : www.areso.asso.fr

(53) Fiche ouvrage n°16: Dalle de béton de terre, Geneviève Destouest

(54) Fiche ouvrage n°34: Dallage en terre damée, Christian Baur

(55) Fiche ouvrage n°35: Dalle de béton de terre, Alain Tournebize

(56) **Dalle en terre crue**, <http://verofrancois86.blogspot.com/search/label/Dalles>

(57) **Sol en terre battue**, http://www.euronto.com/gredyco/technique/terre_battue/tb1.htm

(58) www.ecoact.org/Programs/Green_Building/green_Materials/earthen_flooring.htm

(59) www.lehmprojekt.de/6_galerie/6_frame.html

Se trouve sur le site dans la galerie photo dans Stampflehm, iBarockgarten Grosseddlitz 1996, Fussboden

(60) Dalle terre-paille : www.ouestfrance-immo.com/actu_eco-construction---une-dalle-en-paille-et-terre_763.htm

(61) www.dancingrabbit.org/newsletter/Newsletter0701-floors.php

(62) www.geologika.it

(63) www.landerland.com

Autres sites à consulter, même s'ils ne concernent pas encore les sols en terre.

www.sylviewheeler.com

gabionorg.free.fr

www.cantercel.com

www.salimanaji.org

www.maisons-paysannes.org

Le site de Bruno Morandi

Entreprise Caracol www.alpesolidaires.org/caracol-une-scop-d-eco-construction

un clin d'oeil à Patricia et Christian:
"Va patrach Tubiech",
à Marcelo, Thibault et Didier les joyeux terreux,
à ma famille qui me supporte affectueusement

