



photo David Tatin

Les adobes

Production et mise en œuvre



25 janvier 2015

Les adobes

Pierre Delot

es adobes

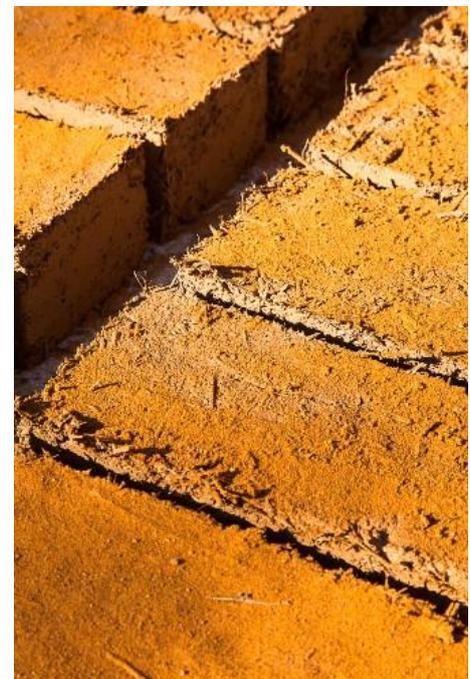
L'adobe est certainement l'un des premiers matériaux de constructions élaboré par l'homme il y a des millénaires. « Adobe », c'est un terme générique utilisé pour toutes les briques de terre crue moulées (manuellement ou mécaniquement) et séchées (au soleil ou artificiellement), peu importe leur taille et leur composition.



Aujourd'hui, les adobes sont façonnés dans des moules rectangulaires et sont maçonnées comme n'importe quelle autre brique (cuite, parpaing, ...). Les adobes permettent de construire des murs, des piliers, des arcs, des voûtes et des coupoles. A la différence de la technique du pisé où la terre est mise en œuvre sur place, l'adobe est façonnée à l'avance et stocké, pour une mise en œuvre ultérieure.

Le terme « adobe » viendrait de l'égyptien « thobe » (brique), terme qui aurait voyagé jusqu'en Espagne où il est devenu « adobe ». Ce nom a ensuite été repris dans le monde entier. En Afrique de l'ouest, on utilise aussi le mot « banco ». Quelque soit le terme choisi, le principe reste commun : mélanger sur le lieu de construction de la terre argileuse, de l'eau, du sable, parfois de paille. Résultat : une brique 100% naturelle, 100% écologique, 100% recyclable, 100% locale, tout ça en consommant peu d'énergie, mais beaucoup de sueur. C'est donc potentiellement la plus écologique des briques crues, à moins que vous ne la fassiez voyager.

Dans les pays où l'on ne monnaie pas son temps, dans les pays où les produits industrialisés ne sont pas disponibles ou inabordables, on continue de produire des adobes une à une, à la main. Dans les pays occidentaux, à partir de la seconde moitié du vingtième siècle, la production des adobes a été mécanisée pour faire face à la hausse du coût de la main d'œuvre et pour augmenter la productivité. On parle encore d'adobe, même si ça n'en est plus vraiment une.



Révision

Auteur	Date	Révision
Pierre DELOT	Mai 2014	Première version

Contact

Pierre Delot

Apt

06 25 05 81 04

pierre.delot@hotmail.fr

www.lechampdesartisans.fr

www.associationlevillage.fr



Sommaire

Une architecture située	8
L'adobe, brique de terre moulée	9
Comprendre les matières	10
<i>L'eau.....</i>	<i>10</i>
<i>L'eau pour donner sa cohésion au mélange</i>	<i>10</i>
<i>L'eau, ça colle et ça fait rouiller.....</i>	<i>10</i>
La terre argileuse	10
<i>Terre végétale ≠ Terre à construire</i>	<i>10</i>
<i>La composition de la terre à construire</i>	<i>11</i>
<i>Les cailloux, graviers et sables</i>	<i>12</i>
<i>Les fines et les argiles</i>	<i>13</i>
La charge.....	15
<i>Les sables</i>	<i>15</i>
<i>Les fibres.....</i>	<i>16</i>
Les stabilisants.....	17
Comment choisir sa terre argileuse ?	18
<i>En acheter dans les magasins de matériaux écologiques</i>	<i>18</i>
<i>En trouver ailleurs</i>	<i>18</i>
<i>En prélever pour les essais</i>	<i>19</i>
<i>Tester la terre pour mieux la connaître.....</i>	<i>19</i>
La constitution de la terre à adobes	23
<i>Trop sableuse</i>	<i>23</i>
<i>Trop argileuse</i>	<i>23</i>
<i>Trop caillouteuse</i>	<i>23</i>
<i>Pas de mottes sèches</i>	<i>23</i>
Préparer les matériaux secs	24
Préparer la terre argileuse	24
<i>Broyer la terre.....</i>	<i>24</i>
<i>Tamiser la terre.....</i>	<i>25</i>
Préparer les fibres.....	27
<i>Quelles fibres ?</i>	<i>27</i>
<i>Broyer la paille</i>	<i>33</i>
<i>Tamiser la paille</i>	<i>33</i>
Remplissage des seaux	34
La production des adobes	35
Période de production.....	35
Les dimensions et la masse des adobes	36
<i>Contraintes de production</i>	<i>36</i>
<i>Retrait au séchage.....</i>	<i>36</i>
<i>Contraintes de mise en œuvre</i>	<i>37</i>
<i>Les moules.....</i>	<i>37</i>
<i>Une liberté de forme pour se conformer à votre projet architectural</i>	<i>38</i>



L'état hydrique de la terre	38
Malaxer à la main, au malaxeur ou à la bétonnière	39
<i>Généralités</i>	39
<i>Les malaxeurs à arbre vertical</i>	41
<i>Les malaxeurs à arbre horizontal</i>	42
<i>Avec un pétrin de boulanger</i>	45
Temps de maturation des mélanges	46
<i>Adobes peu fibrées</i>	46
<i>Adobes largement fibrées</i>	46
Le moulage et le démoulage	46
<i>Production élémentaire au sol</i>	46
<i>Production sur table</i>	47
<i>Production multiple au sol</i>	48
<i>Production sur planches</i>	49
<i>Production sur palettes</i>	49
<i>Production mécanisée d'adobes</i>	51
<i>Comment « bien » mouler ?</i>	55
<i>Comment « bien » démouler ?</i>	57
Le lavage des moules	58
Le séchage des adobes	59
<i>L'aire de séchage</i>	59
<i>Mes adobes germent ?</i>	61
<i>Retourner les briques</i>	62
<i>Empiler les briques</i>	62
Le conditionnement	63
Contrôle de la qualité	66
<i>Nos amis à 4 pattes</i>	66
<i>Contrôle de la terre</i>	66
<i>Contrôle de la forme des adobes</i>	66
<i>Contrôle du retrait</i>	67
<i>Contrôle de la résistance mécanique</i>	67
<i>Contrôle de la résistance à l'arrachement</i>	68
<i>Contrôle de la sensibilité à l'eau</i>	69
Restrictions d'usages	70
Tolérances de fabrication	70
Les principes constructifs	72
<i>De bonnes bottes, un bon chapeau et des murs en goretex</i>	72
<i>La protection des murs par la toiture</i>	72
<i>La protection des murs par le soubassement</i>	73
<i>La protection des murs par les enduits</i>	74
<i>Un sol en goretex</i>	76
<i>Les fondations</i>	77
<i>Le fruit</i>	77
<i>Elévation des murs</i>	78
<i>L'élancement</i>	78
<i>Mur maçonné et mur non maçonné</i>	78
<i>Mur porteur et mur non porteur</i>	79
<i>Murs porteurs</i>	79
<i>Murs non porteurs</i>	79
<i>Remplissage intérieur de cloisons OSB/placo/...</i>	80
<i>Parement en adobes</i>	81
<i>L'appareillage</i>	81
<i>Le renforcement de la structure</i>	83
<i>Ancrage de la sablière dans la maçonnerie</i>	83



<i>La protection des murs dans les angles</i>	84
Le contreventement et les aléas sismiques	84
<i>Le contreventement</i>	84
<i>Le chaînage</i>	85
<i>Les aléas sismiques</i>	85
La gestion des ouvertures	87
<i>Percer une ouverture</i>	87
<i>Fixer une fenêtre</i>	88
<i>Fixer les gonds d'un volet</i>	89
Renforcer les angles contre l'usure par friction	89
Peindre les adobes	90
Savoir mixer les techniques	90
Le chantier	95
<i>Les fondations</i>	95
<i>La protection du sol</i>	95
Les conditions de travail	95
<i>Pas trop froid</i>	95
<i>Ni trop chaud</i>	95
<i>Se protéger des intempéries</i>	95
Le mortier	96
<i>Essai de tenue du mortier</i>	98
Mouiller les adobes	99
Découper les adobes	99
Combien de rang par jour ?	100
Les outils	100
Fixer du mobilier	100
La sécurité sur le chantier	101
Les caractéristiques techniques	102
Isoler un mur en adobe	105
Les différentes techniques d'isolation	105
<i>Bas des murs</i>	105
<i>Reste des murs</i>	105
<i>Isolation par l'intérieur</i>	105
<i>Isolation par des paillasons de roseaux</i>	106
<i>Isolation par des enduits épais chaux-chanvre</i>	106
L'isolation par l'extérieur en botte de paille	107
Les désordres des murs en adobes	108
Le mur est-il en terre / adobes ?	108
Le ruissellement	109
<i>Origines</i>	109
<i>Désordres constatés</i>	109
<i>Travaux à entreprendre</i>	109
La condensation	110
<i>Origines</i>	110
<i>Désordres constatés</i>	110
<i>Travaux à entreprendre</i>	110
Les remontées capillaires	111
<i>Origines</i>	111
<i>Désordres constatés</i>	111
<i>Travaux à entreprendre</i>	112
Les désordres structurels	112
<i>Origines</i>	112



<i>Désordres constatés</i>	113
<i>Travaux à entreprendre</i>	113
Le bombement ou écartement du mur	114
<i>Origines</i>	114
<i>Désordres constatés</i>	114
<i>Travaux à entreprendre</i>	114
Les adobes au secours des ouvrages en terre	115
<i>Reboucher une cavité</i>	115
<i>Assécher les murs en terre</i>	116
Et l'environnement dans tout ça ?	117
Les prix pratiqués	118
<i>La matière première</i>	118
<i>Les adobes à l'achat</i>	118
<i>La main d'œuvre</i>	118
Un point réglementaire	120
<i>La garantie décennale</i>	120
<i>L'assurabilité, comment s'y retrouver</i>	120
<i>Les textes de référence</i>	121
<i>Les « DTU », les « normes produits » et les « règles professionnelles »</i>	121
<i>Les textes sur lesquels s'appuyer</i>	122
<i>Montage des adobes</i>	122
<i>Enduits sur adobes</i>	123
Ils l'ont fait en adobes !	124
En dehors des cloisons, l'aventure continue	125
Un peu de lecture	126
<i>Références bibliographiques</i>	126
<i>On aime aussi</i>	126
Notes personnelles	127



Une architecture située

Aujourd'hui, la terre peut être transportée en camions et on peut construire en terre partout. Nos anciens faisaient avec les moyens du bord et se contentaient des matériaux disponibles sur place pour construire leurs bâtiments : la terre dans les vallées et les pierres dans les hauteurs.

La construction en briques est praticable sur des périodes plus longues que la construction en pisé ou en bauge, très/trop dépendantes des conditions climatiques (temps de séchage). L'utilisation de briques de terre sèches permet aussi l'utilisation de terres plus grasses, puisqu'elles ont déjà fait leur retrait au séchage, alors que les techniques du pisé ou de la bauge ne peuvent pas utiliser directement de terre trop grasse, terre qui doit alors être amaigri avec du sable.

Les vieilles maisons en adobes utilisant des pierres ou des briques cuites pour renforcer la structure dans les zones exposées (angles, ...) étaient celles des plus riches. Ils étaient les seuls à pouvoir payer le transport, la taille et la cuisson de tels matériaux.



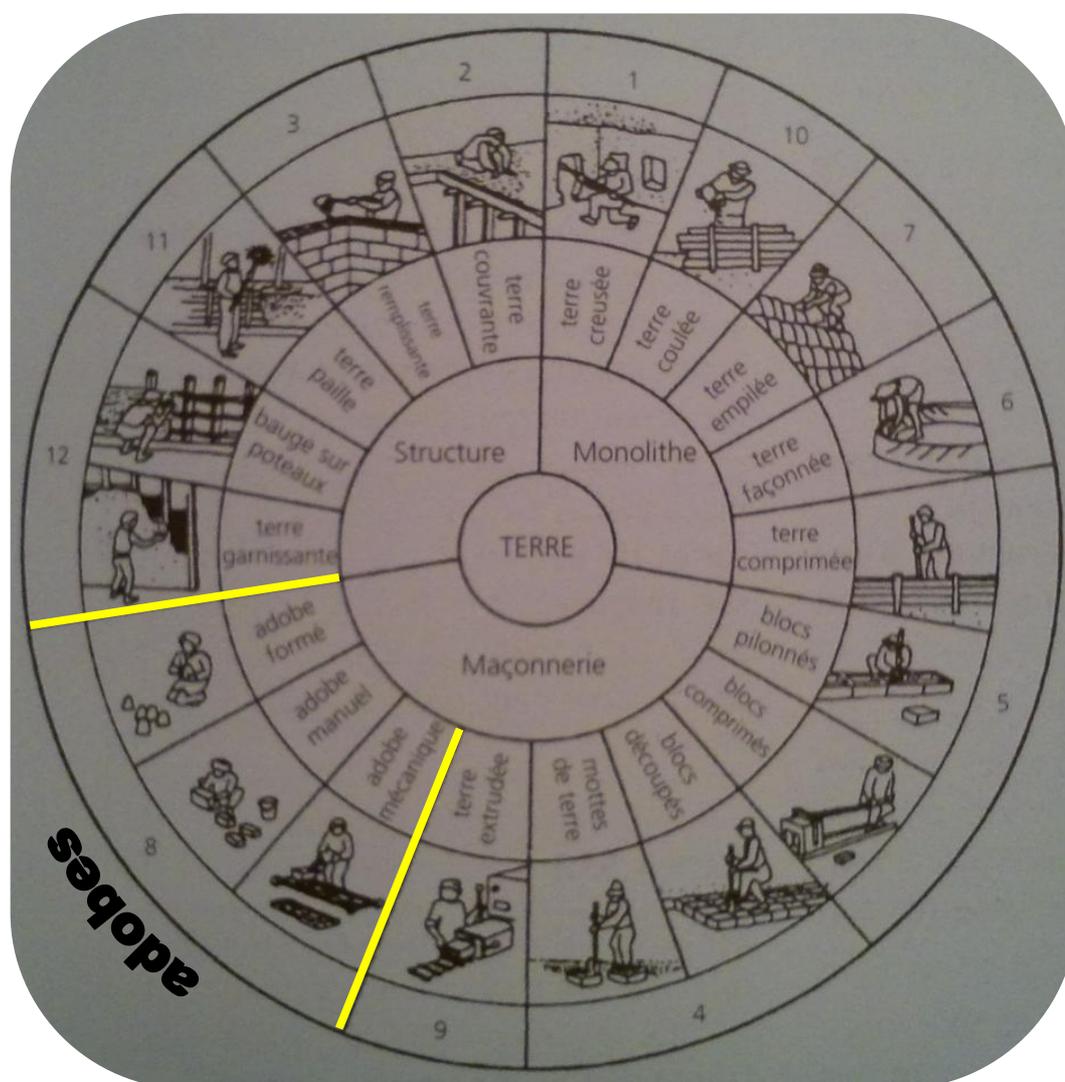
Régions d'utilisation traditionnelle de l'adobe en France métropolitaine



L'adobe, brique de terre moulée

Aujourd'hui, plusieurs types de briques en terre crue sont commercialisées, dont les adobes. Les deux autres types de briques sont :

- Les « briques de terre crue extrudée/filées » (parfois vendues comme des adobes), évidées ou pas. La brique de terre cuite est la cousine germaine de la brique de terre crue extrudée. Ces briques sont fabriquées par les briquetiers de terre cuite.
- Les « briques de terre crue comprimée » (BTC).



Comprendre les matières

L'eau

L'eau pour donner sa cohésion au mélange

Il reste toujours de l'eau dans la terre argileuse, même sèche (il faut cuire la terre à plus de 600°C pour que toute l'eau s'évapore). L'eau permet de lier les particules d'argiles aux grains de sable/graviers/cailloux. Même sèche, la cohésion de la terre est donc maintenue. Essayez de briser à la main une motte d'argile sèche si vous êtes septiques !

La qualité de l'eau n'a pas d'impact immédiat sur la texture des adobes.

Trop d'eau et le mortier est liquide, pas assez et on ne peut pas mélanger correctement la terre au sable et à la paille. Dans les deux cas, impossible à fabriquer. La juste proportion d'eau est facile à atteindre, mais si on la dépasse, les adobes vont se ratatiner au démoulage. La solution pour éviter ça est de mettre de côté un seau de mortier sec qu'on rajoutera au mélange s'il est trop mouillé.

L'eau, ça colle et ça fait rouiller

Si le mélange ne contient pas de stabilisant (chaux/ciment), les outils seront faciles à nettoyer et oublier de nettoyer ses outils n'est pas grave. Néanmoins, il ne faut pas laisser tremper dans l'eau les parties des outils qui peuvent rouiller et les parties en bois.

L'argile à l'état de boue devient vite envahissante, colle aux chaussures, rend le travail moins intéressant.

La terre argileuse

Terre végétale ≠ Terre à construire



Le terre provient de la décomposition mécanique et chimique de la roche mère. Cette roche se désagrège en particules de taille très variable allant pour simplifier des cailloux jusqu'à l'argile. Dans la couche de surface, ces particules ont été mélangées aux matières organiques provenant de la décomposition du monde vivant. Cette terre végétale est réservée à l'agriculture et ne doit pas être utilisée pour construire. Elle doit être éliminée au maximum à cause des éléments organiques en décomposition qui la compose. Elles sont reconnaissables à leur odeur de moisi, qui s'amplifie lorsqu'on les humidifie et lorsqu'on les chauffe. Les autres couches, beaucoup plus pures sont des terres minérales. Elles contiennent généralement une part d'argile suffisante pour être utilisées dans la construction.

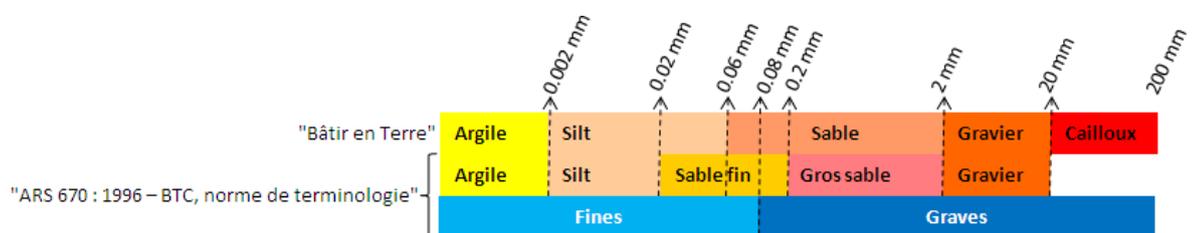
Les propriétés fondamentales d'une terre sont sa granularité, sa plasticité, sa compressibilité et sa cohésion, sans oublier sa couleur. Comme les adobes sont généralement enduits, la couleur de la terre n'a que peu d'importance.

La composition de la terre à construire

On parle de terre, mais on devrait parler des terres. La composition de la terre peut varier sur un même terrain d'un prélèvement à l'autre. Les caractéristiques de la terre utilisée influent énormément sur les proportions de granulats ou de fibres à lui ajouter et conditionnent les usages qui seront faits de chaque terre.

Le composant dominant définit le type de terre auquel on a affaire : terre graveleuse, terre sableuse, terre silteuse, terre argileuse.

La terre est faite de grains de tailles et de formes différentes. En dehors de l'argile, la terre est composée, du plus gros au plus petit, de cailloux, graviers, sables et silts. La seule différence entre eux est une différence d'échelle, mais pas de forme. Seule l'argile a une forme différente. La classification donnée par la Norme ARS 670 (« 1996 – BTC, norme de terminologie ») est reprise dans le schéma ci-dessous. Cette norme accepte d'autres classifications. Celle donnée dans le livre « Bâtir en Terre » est donnée à titre comparatif :



COMPOSANTS



Les Cailloux
200 - 20 mm



Les Graviers
20 - 2mm.



Les Sables
2 - 0.02 mm.

Les Silts
0.02 - 0.002

Les Argiles
 $\phi < 0.002$ mm.

Il existe plusieurs types de terre selon l'importance en quantité d'un des composants:
TERRE GRAVELEUSE - TERRE SABLEUSE - TERRE SILTEUSE - TERRE ARGILLEUSE.

Pour produire un matériau de construction de bonne qualité, on ne peut se passer ni du liant, ni du squelette granulaire ni de l'eau (qui n'est pas considérée dans la classification, mais qui est un élément essentiel pour assurer sa cohésion du matériau).

Les cailloux, graviers et sables

Les graviers et les sables sont le résultat de l'érosion des cailloux. Ensemble, ils constituent le squelette granulaire de la terre : ils apportent leur rigidité au matériau et assurent le rôle de la matrice stable de la terre, grâce aux frottements internes et à leur nature inerte.

Les sables ne sont utiles pour réaliser des adobes que dans le cas où la terre est trop argileuse (temps séchage trop long). Ils permettent de faciliter le séchage des adobes, de corriger la densité des adobes fibrées, de diminuer leur retrait et la tendance à se creuser au milieu des faces. Pour ne pas trop alourdir les adobes fibrées en rajoutant du sable, on utilisera une terre plus argileuse, ce qui permettra de rajouter plus de paille pour retrouver la densité souhaitée.

Avec la mécanisation du tamisage et du malaxage, voire du façonnage, on utilise aujourd'hui des terres non caillouteuses, ce qui a l'avantage de ne pas abîmer les machines. Là où on ne peut pas faire autrement, on utilise de la terre caillouteuse pour faire des adobes (ou du pisé). Attention cependant à ne pas s'abîmer les mains avec les cailloux !



Cailloux dans des adobes (Sardaigne)





Cailloux dans des adobes (Nekob, Maroc)

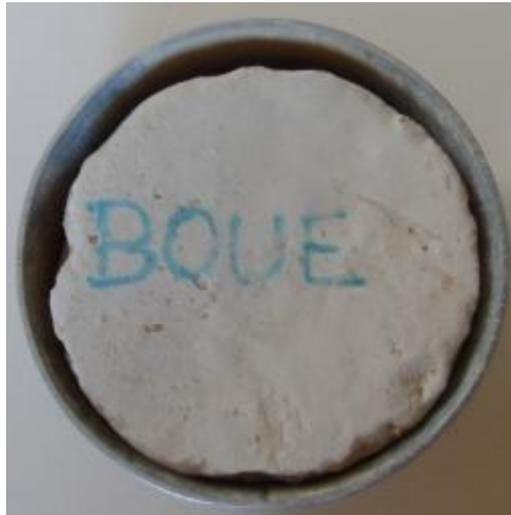
Les fines et les argiles

Les fines (ou silts) assurent le remplissage de la matrice granulaire. Ce sont des sables de très faible diamètre. Les fines montrent un certain degré de cohésion à l'état humide (l'eau les colle entre eux par succion) et peuvent, lorsque l'humidité varie, subir de sensibles variations de volume, de gonflement et de retrait. Ils possèdent peu de cohésion lorsqu'ils sont secs.



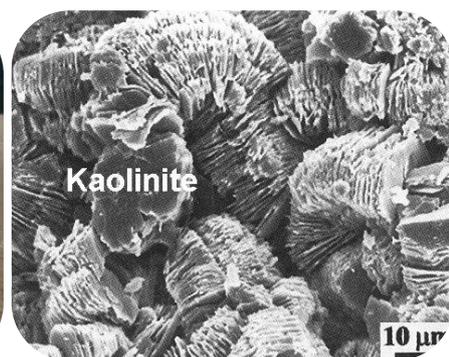
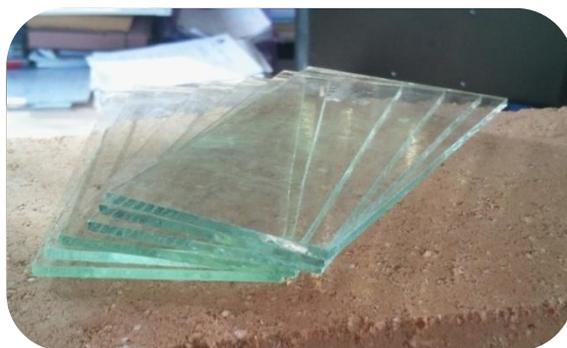
Silts au microscope, tirée du livre « Bâtir en terre » - résidus de lavage de sables/graviers





Retrait au séchage des boues de lavage de sable de la Durance

La différence entre les argiles et les silts ne se limite pas à leurs dimensions. La forme des argiles est très différente de celle des autres constituants de la terre, ce sont des structures plates, plutôt rectangulaire, comme des feuilles microscopiques qui peuvent se superposer pour former un jeu de cartes. Cette forme leur permet de coller les grains plus gros qu'eux grâce au filet d'eau qui s'intercale entre les feuillets, essentiellement par les tensions superficielles de surfaces. On observe ce phénomène si on prend deux plaques de verre qu'on passe sous l'eau et qu'on les rapproche. On ne peut pas les séparer sans les faire glisser l'une par rapport à l'autre. Quand l'eau s'évapore, il devient impossible de faire glisser les plaques, elles sont collées. Si on ajoute de l'eau, les plaques vont à nouveau pouvoir glisser l'une par rapport à l'autre et on va pouvoir les séparer.



Plaques de verres – Photo de feuillets d'argile (kaolinite)

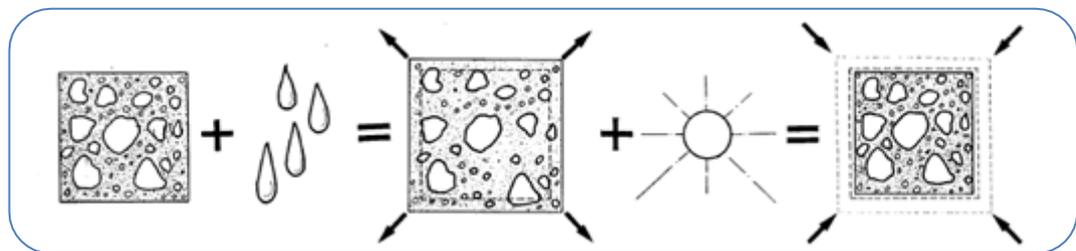
La nature a créé plus d'une dizaine de familles d'argiles, plus ou moins « actives », qui peuvent cohabiter au sein d'une même terre, dont les :

⇒ Pyrophyllites : pas de gonflement.



- ⇒ Kaolinites : < 30 m² de surface externe par gramme, gonflement modéré. La kaolinite sert à la fabrication de la porcelaine.
- ⇒ Illites : 100 m² de surface externe par gramme, gonflement moyen.
- ⇒ Vermiculites : gonflement fort.
- ⇒ Montmorillonites : 800 m² de surface externe par gramme, gonflement très fort.

Toutes les argiles ne présentent pas le même retrait ou la même résistance à la cassure à sec. La bentonite (famille des montmorillonites) est très hydrophile, elle gonfle donc beaucoup, se fissure facilement au séchage et ne se stabilise jamais.



La capacité d'un mur en terre à réguler l'hygrométrie de l'air ambiant dépend du type d'argile qu'elle contient. Plus l'argile est active, plus la terre pourra absorber de vapeur d'eau.

En France, les terres sont bien souvent trop argileuses. On leur ajoute donc du sable et des fibres végétales pour qu'elles ne fissurent pas et qu'elles présentent moins de retrait. Si la terre dont vous disposez est au contraire trop maigre, il faudra au contraire lui ajouter de l'argile.

Il est souvent plus facile de réaliser un mélange à partir d'argile sèche en poudre qu'avec de l'argile imbibée, à cause du caractère imperméable et cohésif de l'argile. Un adobe fait à partir d'argile pure, de sable et de paille mettra beaucoup plus de temps à sécher qu'un adobe fait avec un mélange fait à partir de terre argileuse, de sable et de paille.

La charge

Les sables

Que ça nous plaise ou non, le sable n'est pas un matériau renouvelable. On se réintéresse à la construction en terre à chaque fois qu'on pressent une pénurie de sable ou qu'on est mis face au problème du transport des matériaux. Le meilleur sable est exploité en premier. Il se fera de plus en plus rare et cher. Reconstituer de la terre à partir de terre trop argileuse ou trop sableuse est envisageable aujourd'hui grâce à la facilité du transport et à la disponibilité des agrégats. Il n'en sera pas forcément de



même dans quelques décennies (prix du transport, prix et disponibilité du sable). On peut donc aujourd'hui construire en terre à peu près partout.

Les sables constituent la charge inerte du mélange. Ils diminuent la proportion d'argile et diminuent ainsi le retrait au séchage (et donc la fissuration). Un sable non lavé contient une petite proportion d'argile, qui influence le dosage.

Les sables vendus sont souvent lavés et calibrés, même si on préfère avoir des sables présentant des granulométries étalées (→ mélange de plusieurs sables lavés par exemple). Une granulométrie bien étagée et équilibrée donnera de la consistance et de la résistance aux adobes.

On utilise généralement des sables aux arrêtes vives (sables concassés issus de carrières, granulométrie étalée), plutôt que des sables roulés (arrondis, de granulométrie restreinte, issus de bassins alluvionnaires ou de rivières). Les sables concassés donnent plus de résistance puisque les grains sont bloqués par les arrêtes vives de leurs voisins, alors que les grains ronds seront plus « indépendants » de leurs voisins. Les adobes faites à partir de sables ronds sont plus agréables à produire, mais sont moins résistantes que les adobes faites à partir de sables anguleux.

Les fibres

La présence des fibres dans les adobes permet:

- ⇒ D'empêcher la fissuration des adobes au séchage
- ⇒ D'accélérer le séchage en drainant l'humidité vers l'extérieur
- ⇒ De diminuer la sensibilité à l'eau (gonflement, retrait) de la brique et de ralentir sa dissolution.
- ⇒ D'améliorer la résistance à la traction (mouvement de sol, ...)
- ⇒ De diminuer leur masse volumique. Si on en ajoute beaucoup, le mur ne sera plus porteur, mais seulement autoporteur (cloisons, remplissage). Dans ce cas, la taille des fibres peut être diminuée pour faciliter le moulage.
- ⇒ De faire baisser la conductivité thermique de la brique (« un peu plus isolant »)
- ⇒ D'augmenter la sorption d'eau en drainant l'eau vers l'intérieur de la brique
- ⇒ D'améliorer la qualité acoustique du mur (surface souple et poreuse, qui réfléchit moins le son). C'est vrai, mais ça peut ne plus l'être si vous faites des enduits trop rigides et lisses.
- ⇒ De visser directement dans des adobes.



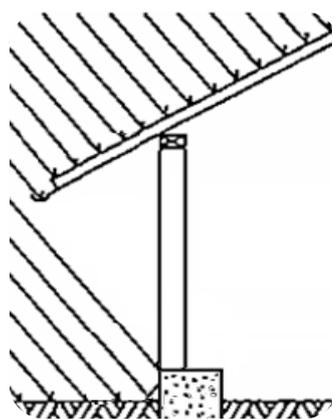
La photo ci-dessous montre 6 des 7 ingrédients de la recette utilisée pour fabriquer les adobes à l'association Le Village (manque le sable tamisé).



De haut en bas, de droite à gauche : terre argileuse, [gerbes de lavandes broyées](#), paille de blé broyée, argile, balle de riz, copeaux de bois

Les stabilisants

Comme tout bon jardinier, une maison en terre se protège avec un bon chapeau et de bonnes bottes. Les stabilisants ne sont alors plus vraiment nécessaires, hormis au niveau des enduits (à la chaux).



Les adobes allégés ne sont pas stabilisées puisque leur principale utilisation est la cloison intérieure non structurale, et que le végétal ne fait pas bon ménage avec les stabilisants.

Les adobes non allégés ne sont pas non plus stabilisées. Lorsqu'ils sont utilisés comme élément porteur, la résistance structurale du mur sera réglée en ajustant sa largeur.



Comment choisir sa terre argileuse ?

La terre utilisée aujourd'hui pour fabriquer des adobes est une terre fine qui ne contient pas de cailloux ni de graviers, mais de l'argile, des fines et des sables. Elle est facile à modeler à la main, à découper à la scie, l'absence de cailloux permettant de ne pas abimer les machines.

En acheter dans les magasins de matériaux écologiques

Bien sur, on peut acheter de la terre prête à l'emploi ou de l'argile en poudre chez les fournisseurs de matériaux écologiques. Les terres vendues font parfois des dizaines de kilomètres avant d'être mélangées et des centaines de kilomètres avant d'arriver dans les magasins spécialisés, et sont vendues assez cher. Pensez à demander à votre revendeur de matériau d'où proviennent les terres et leur composition, les matériaux écologiques ne sont malheureusement pas toujours écologiques.

Etant donné la quantité de terre dont on a besoin pour produire des adobes, l'achat en magasin n'est pas forcément la meilleure solution, mais ça peut se discuter.

En trouver ailleurs

Dans l'idéal, on prélèvera la terre argileuse sur le chantier ou sur le lieu de production pour limiter le coût environnemental lié au transport de ce grand volume de terre. Les mairies délivrant les permis de conduire peuvent vous renseigner sur les chantiers en cours.

Les potiers locaux, les entreprises de transport de matériaux, les terrassiers, les fabricants de compost seront de bon conseils et pourront peut-être vous livrer/tamiser de la terre.

On peut aussi consulter les cartes géologiques du BRGM et bien sur demander des conseils aux auto-constructeurs (maison en paille par exemple) et associations locales faisant la promotion de l'écoconstruction. De l'argile en sac est parfois vendu dans les coopératives agricoles et par les briquetiers locaux.

Les carrières qui commercialisent du sable et des graviers lavés disposent de boues de lavage composées d'un mélange d'argile et de silts, dont ils cherchent à se débarrasser. Certaines carrières utilisent des flocculants de synthèses pour agglomérer ces résidus de lavage, mais la majeure partie laisse décanter naturellement ces boues argileuses. Ces boues peuvent servir à corriger votre terre trop sableuse.

La terre doit être propre et non souillée (urines, excréments, alimentation, ...). La photo ci-dessous montre un endroit où sont fabriqués des adobes. La photo ne nous dit pas d'où provient la terre, mais l'aire de fabrication ne rassure pas sur la qualité de la terre.





Adobes au séchage (Tamegroute, Maroc)

En prélever pour les essais

Lors des travaux de terrassement (les vôtres ou ceux d'un voisin ou d'une entreprise voisine : construction d'une maison, d'une piscine, d'un lotissement, d'une route), on veillera à ne pas mélanger les terres, mais à les réserver dans des tas séparés (une terre peut convenir, l'autre pas). Mélanger trop tôt les terres ne permet pas de corriger les défauts de l'une par les qualités de l'autre, en des proportions à définir en fonctions du besoin.

Si vous prospectez aux alentours de chez vous, il est impératif de demander l'autorisation au propriétaire du terrain avant d'en prélever, et il est nécessaire de tester cette terre avant de la transporter chez soi.

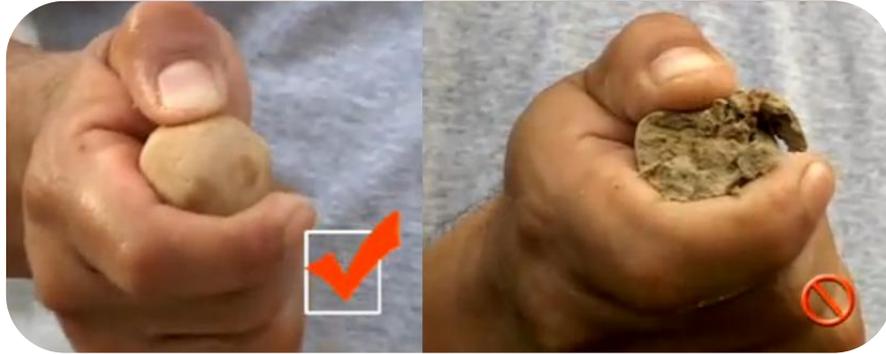
Il est utile de noter au marqueur indélébile le lieu du prélèvement, les endroits où les prélèvements ont été faits sur le terrain, la date, la personne qui a prélevé la terre, et de conditionner la terre dans des contenants solides (pas dans des sacs plastique de supermarché, ça vieilli mal), sans vouloir mélanger/moyenner les prélèvements).

Tester la terre pour mieux la connaître

Pour évaluer la terre, les tests suivant peuvent être réalisés sur place (inspiré de « traité de construction en terre », §302 à §304, ou facilement à la maison :

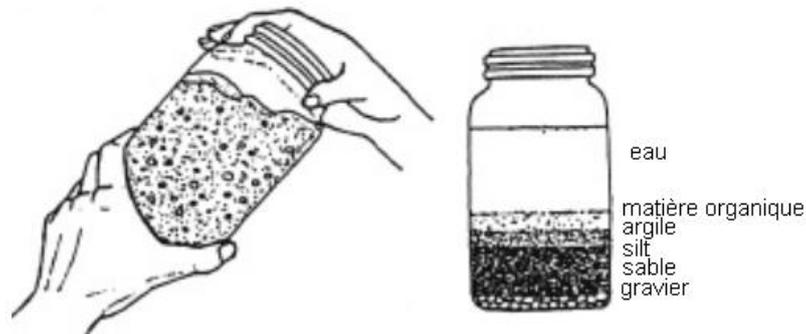
- Examen visuel (FACILE et IMMEDIAT) : proportion de sable et de fine
- Essai de l'odeur (FACILE et IMMEDIAT) : moisi = terre végétale = KO
- Essai de la boule (FACILE) : on réalise une boule de terre qu'on laisse sécher. Si elle se brise lorsqu'on essaye de l'écraser avec le pouce, elle contient peu d'argile.





- Essai de toucher (FACILE et IMMEDIAT) : sableuse = rugueuse + pas de cohésion, silteuse = faiblement rugueux + pas très plastique, argileuse = résiste à l'écrasement à sec + plastique et collante humide
- Essai de lavage des mains (FACILE et IMMEDIAT) : argileuse = mains difficiles à laver
- Essai de l'éclat (FACILE et IMMEDIAT) : boule de terre coupée en deux, silteuse = terne, argileuse = brillant
- Essai d'adhérence (FACILE et IMMEDIAT) : boule de terre humide non collante, on enfonce un couteau dedans, très argileux = pénètre difficilement + la terre colle quand on retire, moyennement argileux = pénètre assez facilement + la terre adhère quand on retire, peu argileux = pénètre très facilement + sale quand on retire
- Sédimentation : test de la bouteille remplie de terre au $\frac{1}{4}$ et d'eau jusqu'au $\frac{3}{4}$. Agiter vigoureusement, laisser décanter 1 heure, agiter de nouveau et laisser décanter. La terre se répartie de haut en bas en gravier, sable, silts, argile, matière organique, eau. La proportion d'argile est inférieure à la hauteur relative de la couche d'argile (l'argile gonfle à l'eau). Cette mesure est approximative et sa précision dépendra du type d'argile.





- Retrait : on remplit un rectangle en bois graissé de 20 cm de long avec de la terre à l'état plastique (après avoir enlevé les graviers). On le laisse ensuite sécher et on mesure le retrait, qu'on exprime en pourcentage. On peut aussi se servir d'un morceau de tube PVC de 10 cm de diamètre environ pour observer le retrait.

Si il n'y a quasiment pas de retrait et que la terre est friable, c'est que la terre est sableuse. Si elle est friable et qu'elle présente du retrait, c'est qu'elle est silteuse. Si le retrait est important et qu'elle est difficilement friable, c'est qu'elle est argileuse.

Les photos ci-dessous montrent le retrait d'un enduit (monocouche fait au Village, échantillon de gauche), d'une terre très argileuse (extraite à Gargas, au centre) et d'argile pure (provenant d'Uzès, à droite).



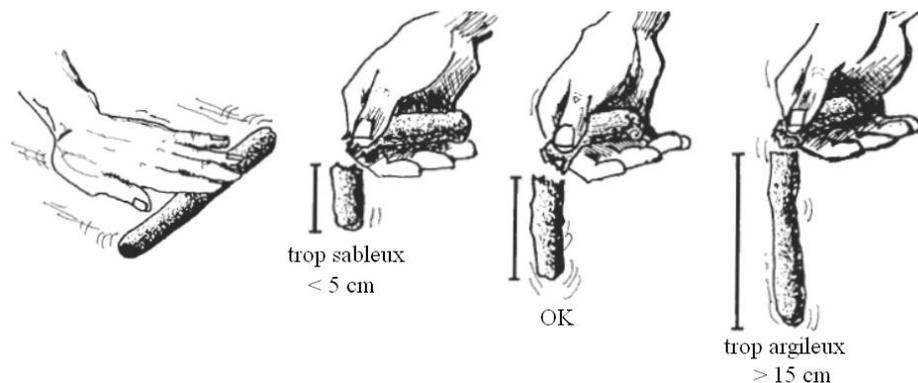
- Test du boudin (FACILE et IMMEDIAT) : A partir de terre tamisée 0-2 mm, on confectionne avec la paume de la main un boudin de terre à l'état plastique (qui ne doit pas coller à la main) d'environ 10 mm de diamètre. On laisse pendre



es adobes

dans le vide un des bouts du cigare. Si le cigare casse lorsque 5 à 15 cm pendent dans le vide, c'est que la terre convient pour la fabrication d'adobes. Si le cigare casse avant 5 cm, c'est que la terre est trop sableuse (il faudra ajouter de l'argile). Si le cigare casse après 15 cm, c'est que la terre est trop argileuse (il faudra lui ajouter du sable).

Ce test reste néanmoins imprécis, mais permet de mieux sentir les limites du matériau.



Il existe de nombreux tests supplémentaires, plus précis, décrits en détails dans « traité de construction en terre ». Rien ne vaut l'expérience du terrain, les échecs et les réussites, les échanges de bon conseils pratiques (et pas théoriques) pour se faire la main.



La constitution de la terre à adobes

Trop sableuse

Si la terre est trop sableuse, les grains seront trop nombreux pour pouvoir être liés correctement par l'argile. L'adobe se désagrègera facilement et sa cohésion ne sera pas très bonne. Cette terre ne sera pas utilisable en l'état, à moins d'être mélangée avec une terre un peu trop argileuse.

Trop argileuse

Si la terre est trop argileuse, l'adobe se fissurera en séchant, et sa résistance mécanique sera diminuée. Une terre très argileuse pourra néanmoins être utilisée pour réaliser des adobes très fibrées (les fibres empêcheront la fissuration).

Trop caillouteuse

Une terre présentant trop de cailloux ne convient pas vraiment pour la fabrication des adobes, à moins de la tamiser pour enlever une partie des cailloux et de ne pas avoir peur de s'abimer les mains.

Pas de mottes sèches

Si la terre disponible présente de grosses mottes sèches, elles devront être enlevées ou broyées avant que la terre ne puisse être utilisée.



Préparer les matériaux secs

Préparer la terre argileuse

Une fois la terre argileuse sélectionnée et extraite (on ne creuse pas n'importe où !), elle va devoir être transportée, débarrassée des morceaux de terre végétale, émottée et tamisée pour enlever les cailloux. Si on achète la terre dans une carrière, on pourra leur faire tamiser la terre avant de la faire transporter.

La fabrication traditionnelle ne passe pas par toute ces étapes, mais la mécanisation du travail et les exigences de caractérisations des matériaux commercialisés peut impliquer de passer par les étapes précitées (la caractérisation des matériaux est rendue nécessaire pour que les bureaux d'études puissent faire les calculs thermiques demandés par la réglementation thermique RT2012).



Broyer la terre

Si l'on doit broyer soi-même sa terre, on pourra par exemple le faire avec un motoculteur, un broyeur à maïs multi broie-tout (pas de cailloux !), un broyeur de terre ou encore avec un rotavator.



Le broyeur petit format le plus efficace et le plus économique est le multi broie-tout, qu'on trouve d'occasion pour quelques centaines d'euros. La plupart fonctionnent au 380V, mais ces broyeurs existent en version sur prise de force.

Tamiser la terre

Si on achète la terre dans une carrière, on pourra leur faire tamiser la terre avant de la faire transporter. Si on la récupère ailleurs, il va falloir trouver un autre moyen pour la tamiser. On peut acheter un crible rotatif, mais on peut aussi se débrouiller avec les moyens du bord.

Le tamisage « maison » peut se faire en utilisant :

- Un cageot ou panier de supermarché en plastique



- Un tamis au dessus d'une brouette ou d'une poubelle noire. Une grille de ventilateur peut aussi faire l'affaire. De la moustiquaire renforcée peut être utilisée pour tamiser en dessous de 2 mm environ. Une scie sauteuse pourra assurer le mouvement de va et vient.



es adobes



- Un vieux sommier métallique incliné.



- Un tamis suspendu par des cordes à une structure improvisée



- Une bétonnière et une grille montée sur la bétonnière





- Un tamis rotatif récupéré ou fabriqué avec des jantes de vélos et des grilles (s'inspirer des tamis à compost)



Attention, le volume de la terre foisonnée est plus important que celui qu'on obtiendra une fois la terre mouillée. Pensez-y lorsque vous préparez ou commandez votre terre. L'écart de volume peut atteindre 30 à 40%.

Préparer les fibres

Quelles fibres ?

On peut utiliser des pailles BROYEES de céréales, de riz, des fibres de coco, de la balle de riz, des copeaux de bois, de la chènevotte, ...



La paille de lavande (distillée, récolte traditionnelle)

La paille de lavande, même débarrassée des fleurs, peut teinter les adobes en surface (il reste toujours un peu de fleur dans les gerbes). La paille de lavande est à mis chemin entre la paille et le bois (la tige est pleine et légèrement fibreuse). Elle va donc permettre de réaliser des briques légères qui ne sec creusent par trop au séchage.

Les gerbes distillées peuvent être travaillées de 2 manières différentes :

- ⇒ Broyer les gerbes, séparer à sec la paille des fleurs, faites tremper la paille pour évacuer les tanins des fleurs restantes, jeter le jus de trempage pour éviter que trop de tanins ne remontent à la surface des briques et risquent, par la suite, de teinter les enduits si le mur devient humide (remontées capillaires, ...) ou si les enduits sont réalisés avant séchage complet du mur. Ceci est nécessaire si les gerbes de lavande sont utilisées en forte proportion dans le mélange.
- ⇒ Une autre solution est d'utiliser des gerbes broyées en petite proportion par rapport à la quantité d'autres fibres végétales, auquel cas il n'est pas nécessaire de séparer la paille des fleurs.
- ⇒ Si l'on ne souhaite pas utiliser la paille dans les briques à cause de leur rigidité et des blessures qu'elles peuvent occasionner, on peut les faire tremper pour récupérer un peu de jus de fermentation qu'on incorporera au mélange, pour durcir les briques en surface. On peut aussi récupérer simplement les fleurs et les incorporer au mélange, ce qui donnera presque le même résultat (présence d'auréoles).



La rigidité et le caractère fibreux de la paille de lavande fait qu'elle est plus difficile à broyer qu'une paille de céréales. Le broyage fait aussi beaucoup de poussière. Si les adobes sont moulées à la main, le broyage doit être fin pour ne pas s'abimer les mains.



La fleur de lavande (distillée, récolte traditionnelle)

Des essais d'adobes incorporant de la fleur de lavande ont montré que ces adobes résistent mieux à l'eau (briques trempées une minute dans l'eau) que les adobes réalisés avec la même terre, mais sans lavande. Qu'on mouille la terre avec le jus de fermentation ou qu'on incorpore directement des fleurs dans le mélange donne à peu près les mêmes résultats, puisque la brique met suffisamment de temps à sécher pour que la fermentation des fleurs s'opère.



Si vous vous donnez du temps pour enduire un mur en adobes et que vous le laissez complètement sécher avant de l'enduire, vous pouvez utiliser le jus de fermentation ou les fleurs de lavande pour durcir les adobes. Les tanins ne devraient pas migrer à la surface de l'enduit. Si l'enduit est réalisé avant séchage complet du mur, il est possible que des auréoles apparaissent à la surface de l'enduit.

Les pailles de céréales

Les pailles broyées vendues dans les magasins spécialisés pour le bâtiment sont chère (surtout si elles sont broyées finement). Elles peuvent venir de très loin. On peut aussi trouver de la paille broyée non destinée au bâtiment, mais qui fera très bien l'affaire. Vous pouvez aussi faire broyer de la paille par des agriculteurs possédant un broyeur paille, des coopératives agricole, des haras,

Certaines moissonneuses batteuses (récentes) sont équipées d'un broyeur paille. La longueur des brins est alors inférieure à 10 cm et cette paille peut convenir pour les adobes. Il faut juste penser de demander à faire botteuler cette paille avant la récolte (les bottes se tiennent mal). Les agriculteurs le feront si vous en achetez suffisamment.

Toutes les pailles ne se valent pas et ne réagissent pas de la même manière au broyage. Certaines comme la paille d'orge se transforment en plaquettes, d'autres comme la paille de blé « florence aurore » ou la paille de seigle conservent



es adobes

relativement bien leur structure tubulaire (le tube est plus fin, mais plus épais). Il est presque impossible de broyer du chanvre sans s'adresser à un producteur transformateur de chanvre.



paille d'orge



paille de blé
"florence aurore"



paille de lavande

La paille de riz est plus siliceuse que les autres pailles. Ca améliore la résistance au pourrissement lors du séchage des adobes, lorsque la météo n'est pas favorable. Broyer de la paille de riz use plus rapidement les couteaux des broyeurs de paille. Pensez-y lorsque vous demandez à un agriculteur de broyer de la paille et dédommangez-le aussi pour l'usure du matériel.

Avant de broyer la paille, il est préférable d'enlever les mauvaises herbes comme les chardons, qui risquent de vous abîmer les mains lors de la fabrication.

Du bois ?

En plus ou à la place de la paille, on peut aussi ajouter des copeaux de bois, des brindilles, des aiguilles de pin, ... dans les adobes. La sciure de bois ne peut pas être utilisée dans de grandes proportions, la brique aura tendance à fariner, sera moins résistante, les enduits accrocheront moins bien. La sciure favorise aussi le délitement des briques au montage (lorsqu'on les trempe quelques secondes dans l'eau avant leur montage).



Adobe du commerce incorporant des copeaux de bois (fabrication mécanisée)

Le bois utilisé :

- ⇒ ne doit pas être trop tannique pour éviter que les tanins ne dégorgent dans les enduits qui vont être appliqués sur le mur, en cas d'humidité excessive dans le mur (éviter le châtaigner, le chêne, les bois exotiques)
- ⇒ Ne doit pas être irritant (pour ne pas induire des problèmes respiratoires lors de la production)

Souvent, les menuisiers ne disposent que d'un mélange de sciure et de copeaux de plusieurs essences différentes. On tamisera les copeaux pour enlever la sciure et pour enlever les copeaux trop gros ou pouvant provoquer des blessures lors du malaxage et du moulage manuel des adobes (écharde). Les mains, c'est pratique, et il faut les garder en bon état. On pourra trouver des copeaux chez les fabricants de briquettes combustibles, qui broient du bois (palettes, ... vérifier l'origine et l'éventuelle présence de traitements) assez finement (0-4 mm, mais qui peuvent le broyer un peu plus grossièrement, ce qui baisser la proportion de sciure).



Copeaux de palettes broyées (0-6 mm)

La balle de riz

La balle de riz (enveloppe du grain de riz) peut-être utilisée en faible quantité pour alléger un peu les adobes, mais sa faible longueur ne permet pas de fibrer correctement à elle seule les adobes. Elle est difficile à travailler, de part sa forme incurvée et sa dureté, même trempée. Vous pourrez en trouver dans certains centres équestres et vous en servir sans transformation dans les enduits de corps.





La balle d'épeautre

Comme la balle de riz, la balle d'épeautre (enveloppe du grain d'épeautre) peut-être utilisée en faible quantité pour alléger un peu les adobes. La balle d'épeautre est issue d'un décorticage artisanal et il peut encore rester des grains qui vont germer dans la brique au séchage. Ca n'est pas un problème, voir peut-être même un avantage puisque la germination va pomper de l'eau et le cœur de la brique va sécher plus rapidement.

A cause de la présence de grains, la balle d'épeautre est appétante et est parfois valorisée sous forme de poudre pour l'alimentation des volailles. Elle est aussi valorisée à petite échelle dans les oreillers.



Les matières fermentescibles

Les matières fermentescibles durcissent les adobes dans la masse et en surface (les fleurs de lavande fermentent).

On pourra récupérer du foin qu'on broiera comme la paille, ou qu'on fera macérer pour récupérer le jus de fermentation. On peut incorporer les matières mises à fermenter directement, ou n'utiliser que les jus de fermentation. On pourrait faire la même chose avec de l'herbe fraîche, de l'ensilage (herbe ou maïs haché vert et stocké à l'abri de l'air et de la lumière). Les odeurs de matières fermentées disparaîtront au séchage.





Herbe fraîche mise à macérer dans une poubelle noire

Broyer la paille

On peut broyer soit même sa paille (tondeuse mulching, débroussailleur, broyeur multi broie-tout, location d'un broyeur de déchets végétaux, ...).



Avant de broyer la paille, il est préférable d'enlever les mauvaises herbes comme les chardons, qui risquent de vous abîmer les mains lors de la fabrication des adobes.

Tamiser la paille

Le tamisage de la paille peut être fait avec les mêmes tamis que ceux utilisés pour tamiser la terre. Il n'est pas forcément très utile si le broyage est bien fait. Les quelques brins trop long peuvent être enlevés à la main.



Remplissage des seaux

Le remplissage des seaux peut paraître anecdotique pour un particulier qui se fait ses propres adobes, mais ca ne l'est plus dans le cas d'un producteur d'adobes, qui doit assurer le maintien des caractéristiques de ses briques d'un jour sur l'autre, d'un mois sur l'autre, d'une année sur l'autre.

Pour des raisons pratiques de chantier, les proportions des différents « ingrédients » sont toujours données en volumes, et pas en masse. Les seaux dans lesquels on va transporter les ingrédients ne doivent pas être tassés, sans quoi, en fonction de la personne qui fera le mélange, le résultat sera différent.

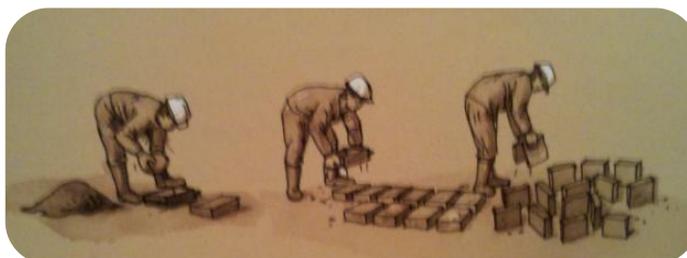
La taille des mailles des tamis utilisés a son importance, puisqu'en tamisant plus fin, on remplit plus ou moins le seau. Des essais ont été faits avec de l'argile et de la paille :

- Argile sèche broyée tamisée 0-4 mm VS argile identique à l'état de poudre :
L'écart de masse entre 2 seaux remplis de la même manière est de 10%. L'argile en poudre est plus légère.
- Paille broyée 2-4 cm VS paille broyée 1 cm :
La paille broyée 1 cm est 1,5 fois plus lourde que la paille broyée 2-4 cm. Il y a donc au minimum 1,5 fois plus de longueur de fibre dans le seau de paille courte.

Il faut donc impérativement utiliser les mêmes tamis pour les premiers essais et pour la production, sans quoi on devra vérifier que les adobes ont les mêmes caractéristiques que celles escomptées.



La production des adobes



Fabriquer des adobes est quelque chose de « simple » et rapide, mais le temps nécessaire à leur séchage peut être très long si la météo n'est pas bonne.

Généralement, les différentes phases de fabrication des adobes sont souvent réunies à proximité du site d'extraction de la terre. Seul le produit fini est transporté.

Quand on produit des adobes destinées à être vendues, on doit, en plus de la technique, maîtriser les aléas climatiques et anticiper la demande (temps de séchage long).

Période de production

Le séchage des adobes est fortement dépendant des conditions climatiques.

La production s'arrête donc l'hiver (séchage impossible), et peut être arrêtée en cas de canicule (séchage trop rapide), lorsque le vent souffle trop (séchage trop rapide). On doit



donc protéger les briques en train de sécher des conditions extrêmes (vent, pluie, soleil trop violent), pour que le séchage soit « doux ».

Les briqueteries (fabricants des briques en terre cuite) utilisent la chaleur issue de la cuisson des briques cuites pour sécher les briques crues. Elles s'affranchissent donc des conditions climatiques et peuvent produire dans des régions moins ensoleillées.

Les dimensions et la masse des adobes

Contraintes de production

Côté production, des briques volumineuses auront du mal à sécher au cœur. Si elles contiennent des fibres naturelles, ces fibres pourraient pourrir et ca doit être évité. Le temps de séchage monopolise aussi une grande surface qui n'est pas forcément disponible.

Autre point, multiplier les formats et fabriquer des briques à la demande pour se conformer à un projet architectural est possible mais ne peut pas être anticipé. On devra fabriquer ou adapter des moules à chaque fois et les adobes ne seront disponibles qu'après séchage. Elles ne pourront pas être caractérisées puisque produites en trop petite quantité, et dans des délais courts. Leur prix de vente sera plus élevé.

Retrait au séchage

Les dimensions demandées par un client correspondent aux dimensions d'une brique sèche. Le retrait au séchage demande que le format des moules soit légèrement plus grand (quelques pourcents) suivant les 3 axes longueur, largeur et hauteur.

Par exemple, une brique du commerce de dimensions 25*12*7.4 cm, réalisée avec un mélange qui possède un retrait de % (test du retrait) devra être moulée dans un moule faisant en première approximation 26*12.5*7.7 cm. Le retrait est en pratique plus important sur la hauteur et la largeur que sur la longueur. Des essais réalisés sur des adobes de ce format, de masse volumique environ 1200 kg/m³, fait à partir d'un mélange de paille broyée (6 volumes), terre argileuse (2 volumes) et sable (0.5 volume), ont montré un retrait de 9% sur la hauteur et 6% sur la largeur, pour un retrait de 4% sur la longueur. En augmentant la proportion de sable, on diminue le retrait. La taille des moules est directement liée à la composition du mélange utilisé pour la fabrication des briques. Si vous faites varier le mélange, il faudra accepter quelques millimètres de variation sur les dimensions des briques, la variation étant d'autant plus faible que la dimension est grande (hauteur => largeur => longueur).



Contraintes de mise en œuvre

Les contraintes d'appareillage fixent des ratios entre la longueur et la largeur des adobes. Si on achète ou produit des adobes, les adobes vérifieront le rapport suivant : longueur = 2 x largeur + épaisseur du joint. Si on fabrique des adobes pour son propre besoin, on peut adapter leurs dimensions pour faciliter la mise en œuvre ou pour un besoin architectural spécifique.

Les dimensions des adobes vendues dans le commerce sont issues d'un compromis entre les contraintes de fabrication (séchage, dimension des moules des briqueteries), de la nécessité de produire un matériau polyvalent (appareillage, ...) et adapté au public assurant la mise en œuvre (facilité de pose, poids, ...).

Des briques trop lourdes ou encombrantes ne peuvent pas être manipulées à une main. Le gain de temps de pose n'est pas toujours évident, surtout si la mise en œuvre est réalisée par un public non professionnel.



*Adobes 40*20*14 cm, ≈ 20 kg (Maroc)*

Les moules

Dans les cas d'une production manuelle, on moulera manuellement les adobes dans des moules simples ou dans des cadres à compartiments multiples. Dans le cas où les adobes doivent être transportées jusqu'à l'aire de séchage, les moules pourront être équipés d'un fond coulissant pour faciliter le démoulage (le fond doit être saupoudré de sable avant le moulage).

Les moules sont de préférence en bois (traité ou huilé pour être imperméable) ou en plastique plutôt que métalliques pour être moins lourds. Ils doivent être simples à manier par 2 personnes maximum. Si le bois est souvent utilisé, c'est aussi parce tout le monde n'est pas équipé d'un poste à souder pour fabriquer un moule métallique.

Si vous produisez industriellement des adobes, utilisez des moules métalliques qui supporteront mieux les lavages après chaque démoulage, les chocs, ...



es adobes

Une liberté de forme pour se conformer à votre projet architectural

Votre projet nécessite peut-être la fabrication d'adobes particulière. C'est par exemple le cas si vous désirez faire un mur courbe (adobe courbe), une arche (épaisseur variable) ou une niche. Ca tombe bien, il suffit de fabriquer un moule qui se conforme à votre besoin et l'affaire est jouée. Le moule ci-dessous a permis de construire un mur courbe.



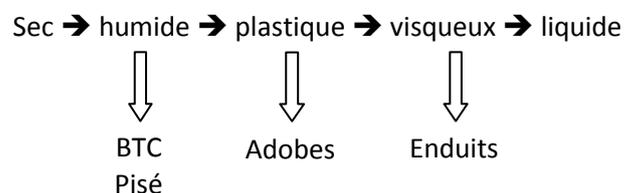
Moule pour mur courbe



Moules pour extrémité de mur arrondi et moules pour mur courbe

L'état hydrique de la terre

Un mélange va passer par différents stades de plasticité, à mesure qu'on le mouille.



Plus votre terre sera sableuse, plus le passage d'un état hydrique à l'autre sera rapide. Attention donc à ne pas ajouter trop d'eau d'un coup. Pour pouvoir rectifier un mélange trop humide, il faut penser à mettre un seau de mélange sec de côté.

L'état visqueux correspond à celui d'un fromage blanc onctueux. Il est impossible de faire une boule, mais on peut remplir un récipient en déversant le mélange. Cet état ne convient pas à la fabrication des adobes.



Les adobes sont généralement faites avec de la terre à l'état plastique, mais c'est vraiment le mode de production et la nature de la terre qui décideront de l'état hydrique de la terre : plastique, mou, mi-mou, ... La quantité d'eau nécessaire peut atteindre 1/3 du volume de terre.



Trois adobes fibrées, moulées à partir d'un mélange plastique un peu trop mouillé (à gauche) à un mélange de plus en plus visqueux

Si le moulage est réalisé mécaniquement, la terre doit être plus humide pour qu'elle puisse remplir correctement le moule. Une fois moulée, la terre peut être vibrée pour qu'elle épouse fidèlement les formes du moule.

Plus on mettra d'eau, plus l'argile gonflera, et plus le risque de fissuration augmentera (retrait au séchage). De même, utiliser du sable trop fin accentue le risque de fissuration.



Adobe fissurant (mélange trop mouillé, séchage rapide, sable fin)

Malaxer à la main, au malaxeur ou à la bétonnière

Généralités

La terre tamisée doit être mélangée avec de l'eau jusqu'à obtenir la consistance d'une pâte mi-molle. Malgré le tamisage, les grains les plus gros ont toujours tendance à se rassembler. On veillera à rectifier cette tendance en mélangeant la terre « plus caillouteuse » à la terre « plus argileuse » avant le malaxage. Lors du malaxage, il se peut que les petits cailloux se rassemblent à nouveau (c'est souvent le cas avec une bétonnière). On devra rectifier à nouveau cette tendance avant de mouler les adobes,



es adobes

en mélangeant à nouveau à la main la terre « plus caillouteuse » à la terre « plus argileuse ».



Le malaxage peut être fait à petite échelle avec les pieds (c'est amusant 5 minutes, mais on s'en lasse vite et on peut s'abîmer les pieds), mais peut aussi être plus ou moins mécanisé suivant la quantité d'adobes à produire. La présence de « gros grains » n'est pas souhaitable pour les machines qui malaxent le mélange, ça les fait s'user prématurément. De même, on s'abîme vite les mains avec les sables grossiers, les sables anguleux et la paille trop longue et rigide.

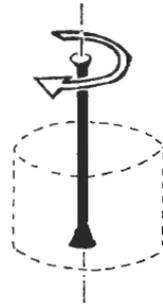
Les mélanges très fibrés sont plus difficiles à malaxer et requièrent de la puissance. On a donc très souvent recours à la mécanisation (motoculteur, rotavator, malaxeur à béton, godet malaxeur, épandeur à fumier, ...).



Si vous achetez un malaxeur, le volume du malaxeur annoncé est souvent celui de la cuve de malaxage. Lorsque vous allez mouiller le mélange, le mélange va diminuer de volume. L'écart de volume peut atteindre 30 à 40%. Un malaxeur de 100 litres ne pourra faire que 60 à 70 litres de mélange humide. Lors du malaxage, une partie du mélange sera peut-être éjectée du malaxeur, diminuant un peu plus la quantité réelle de mélange qu'il est possible de préparer. On liste ci-dessous les différents types de malaxeurs.



Les malaxeurs à arbre vertical



Le malaxeur planétaire

Il existe deux types de malaxeurs planétaires, ceux à cuve fixe et ceux à cuve rotative. Les malaxeurs à cuve rotative conviennent bien pour le malaxage de produit sec ou légèrement humide (consistance d'un « crumble », BTC, pisé), mais pas pour le mélange des adobes (trop humide).



Malaxeur à cuve tournante, mélange plastique

Les malaxeurs à cuve fixe sont munis d'une trappe d'évacuation du mélange, ce qui n'est pas le cas des malaxeurs à cuve tournante. On trouve des malaxeurs qui fonctionnent au 380V ou à la prise de force. Les malaxeurs qui fonctionnent au 220 V sont moins puissants et moins grands.

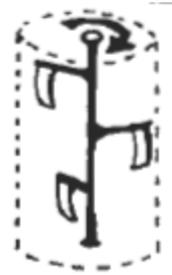


Malaxeurs à cuve fixe

Le malaxeur vertical

Ce type de malaxeur est bien adapté pour la fabrication d'adobes.





Le malaxeur à meules

Le principe du malaxeur à meule est le suivant : des meules tournent dans le fond d'une cuve où elles pétrissent la matière pour former un mélange homogène. Un système à palettes rejette la matière sous les meules pour améliorer l'homogénéité du mélange et faciliter le moulage à la main. Ces malaxeurs conviennent bien pour la fabrication d'adobes à la main.



Malaxeur à meule

Les malaxeurs à arbre horizontal



Le malaxeur à palettes

Les palettes sont inclinées à différents angles de façon à obtenir un maximum de mouvement de la matière à mélanger. Ces malaxeurs sont très pratiques. Attention néanmoins à la sécurité autour du poste de travail !





Malaxeur à palettes

Le malaxeur linéaire

Un grand nombre de palettes est soudée sur l'arbre pour former une vis hélicoïdale. Cette vis malaxe et fait avancer le mélange jusqu'à l'extrémité de la cuve. Ces malaxeurs ont un débit continu. Ils doivent donc être alimentés en permanence.



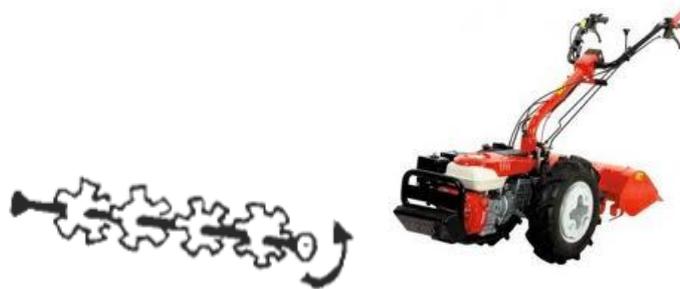
Malaxeur linéaire

Dans le cas de la machine ci-dessous, le mélange malaxé grossièrement à la main et mûré une nuit est amené dans la machine, puis malaxé automatiquement dans un long tube équipé d'un malaxeur linéaire, en sortie duquel sortent automatiquement les adobes, moulées dans des moules mis en place par un opérateur.



Le motoculteur

Les fraises du motoculteur pénètrent dans la terre et la mélange sous le poids du motoculteur. Le motoculteur est une solution pas chère pour broyer les mottes de terre et pour malaxer la terre jusqu'à un état légèrement humide (pisé, BTC). Pour malaxer du mélange à adobes, il faudrait pouvoir le monter sur un poste fixe, et malaxer la terre dans un cylindre (bidon coupé en 2, tuyau PVC coupé en 2, ...).A essayer !



Motoculteur

Le rotavator

Le rotavator reprend le principe du motoculteur, à plus grande échelle. Pour broyer la terre et malaxer du mélange à BTC ou a pisé, ca peut fonctionner, mais pour les adobes, ca va être plus compliqué.



Rotavator

L'épandeur à fumier

L'épandeur à fumier est souvent utilisé pour faire des mélanges terre-paille très riches en paille. Cette solution peut être utilisée pour produire des adobes très fibrées, à partir de terre non caillouteuse.

On fera un millefeuille terre mouillée-paille-terre mouillée-... avant d'épandre le tout une première fois contre un mur. Après une journée de repos, ce mélange sera rechargé une deuxième fois dans l'épandeur et à nouveau broyé. Il pourra ensuite



être utilisé. Si le malaxage est grossier, il est possible de réduire la vitesse d'avancement du tapis.



Avec un pétrin de boulanger

Un pétrin de boulanger peut se révéler bon marché et efficace pour malaxer des adobes fibrés. Un pétrin ayant déjà servi à faire des enduits chez un auto constructeur coûtera moins cher qu'un pétrin d'occasion destiné à la boulangerie. Vous aurez besoin d'être relié au 380 V pour vous en servir.



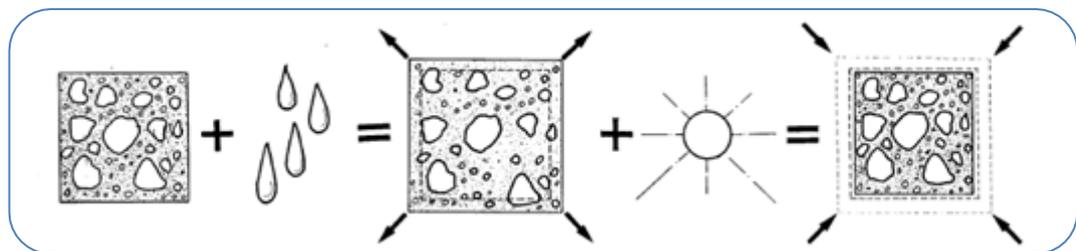
Pétrin utilisé à l'association Le Village



Temps de maturation des mélanges

Adobes peu fibrées

Pour une meilleure homogénéité et pour plus de résistance (diminution de la fissuration au retrait), il est conseillé de laisser reposer la terre humidifiée au moins une nuit sous une bâche, pour détruire les petites mottes de terre sèches et pour que toute l'argile ait gonflée. Si nécessaire, la terre sera réhydratée et remalaxée. Après cette étape, elle est suffisamment homogène pour être utilisée.



Adobes largement fibrées

Il est déconseillé de laisser reposer trop longtemps un mélange possédant des fibres végétales pour éviter leur pourrissement. Les mélanges fibrés sont plus difficiles à remalaxer le lendemain.

Lorsqu'on n'est pas équipé industriellement, il est parfois plus facile de travailler directement avec de la terre broyée sèche. La remalaxer et la ré humidifier après sa cure humide peut s'avérer fastidieux. On va donc se simplifier la vie, et éviter de remalaxer le mélange. En la mouillant un peu plus que nécessaire la première fois, elle devrait avoir la bonne consistance après sa cure humide (la paille et les petites mottes d'argile auront pompé un peu d'eau) ; essayez, vous trouverez vous-même la bonne solution.

Le moulage et le démoulage

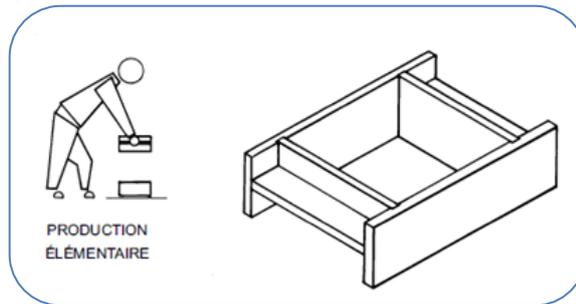
La production traditionnelle des adobes ne nécessite aucun outil spécifique en dehors du moule. Tous les autres outils sont basiques et facilement disponibles dans le monde agricole : pelle, brouette, seau, truelle, ...

Lorsqu'on moule les adobes à la main, il est préférable de bien tamiser les terres, les sables et d'utiliser de la paille pas trop rigide, des copeaux de bois ne présentant pas de risques pour les mains. Ceci se fait parfois au détriments de la brique (risque de fissuration, résistance mécanique moindre), mais vos mains vous remercieront.

Production élémentaire au sol

Le moulage / démoulage se fait directement sur l'aire de séchage, ce qui peut vous fatiguer rapidement (mal au dos, aux genoux, ...)





*Production d'adobes 40*20*14 cm (Tinzouline, Maroc)*

Pour éviter de faire des allers-retours, on pourra se servir d'une planche à roulette sur laquelle la terre sera entassée. Pour déplacer la planche, il suffit de la pousser. On reste ainsi accroupi et il devient inutile de se relever pour s'approvisionner en terre. Des bouts de vieux matelas en mousse peuvent soulager vos genoux.

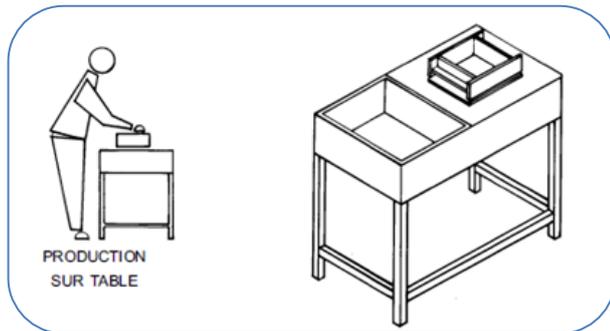


Production sur table

Le moulage sur table permet d'avoir une position de travail confortable. La brique est ensuite transportée dans son moule jusqu'à l'aire de séchage.

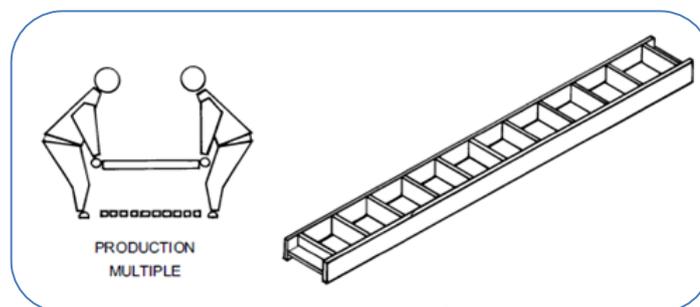


es adobes



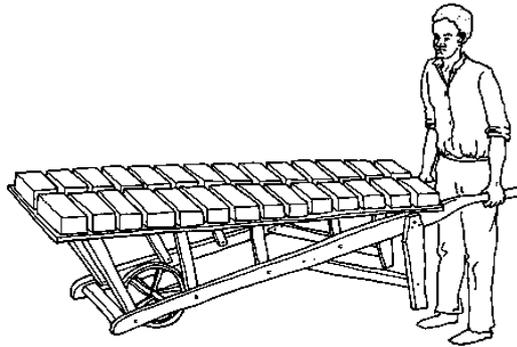
Production multiple au sol

Pour accélérer la production, et pour les aires de séchage soigneusement préparées, on peut utiliser des moules à plusieurs compartiments. Le moulage / démoulage se fait directement sur l'aire de séchage



Production sur planches

Le moulage sur planche permet de travailler sans se baisser et de transporter les adobes par lots jusqu'à l'aire de séchage. Si les adobes ne sont pas transportées dans leur moules, elles pourraient se déformer pendant le transport.



Production sur palettes

Moulage sur palettes fixes

Une version originale est le moulage / démoulage / séchage d'adobes sur des palettes fixes. Une fois la première couche d'adobes sèche (sans avoir été retournée), elle est recouverte par une bâche sablée, sur laquelle sera façonnée une autre couche d'adobes, etc ... Ceci permet de réduire la surface de l'aire de séchage, et réduit le nombre de manipulation des adobes. La livraison des adobes sur de courtes distances pourrait même être faite sans avoir à les reconditionner proprement.



Construdobe

La société Construdobe (Portugal) produit des adobes à grande échelle sans pour autant avoir mécanisé le moulage/démoulage.



es adobes

Construdobe

Alvara nº 39797-ICC
sociedade de construção civil ecológica, Lda.



Les adobes sont moulées sur des palettes (20 par palettes), disposées à mi-hauteur sur des chariots. Les chariots sont emmenés plusieurs à la fois jusqu'à l'aire de séchage, avant que les palettes ne soient déchargées à l'aide d'un chariot élévateur. Le transport se fait avec les briques dans les moules, et le démoulage se fait manuellement en soulevant les moules à 20 compartiments avec de simples cordes (2 personnes requises).

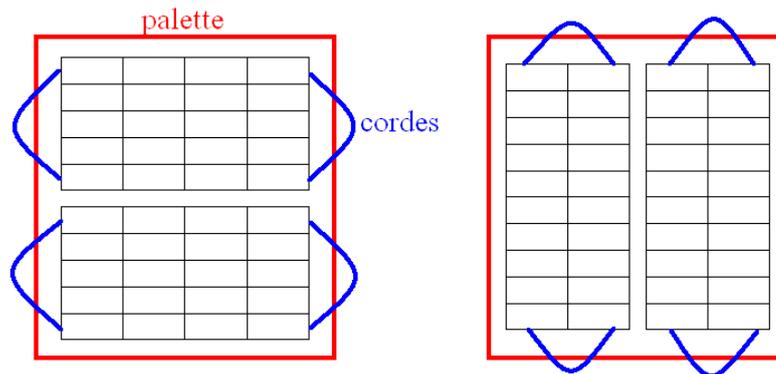
Le Village

*Des essais de moulage ont été réalisés au Village sur des palettes de dimension 120*160 (palette maritime). 22 briques légèrement fibrées ont été démoulées en soulevant les moules à la main avec des cordes. Le poids total des adobes avoisinait 50 kg (à l'état humide). Les adobes ont tendance à se soulever avec le moule. Démouler plus de 50 kg de matière à la main semble difficile à envisager à 2 personnes.*



Le démoulage d'adobes plus légères (masse volumique plus faible) nécessiterait de poser sur les briques moulées un châssis « en négatif », pour les alourdir un peu et les forcer à sortir du moule.

Le moule multiple peut avoir un format « en carré » ou allongé, pour s'adapter au format de la palette et à l'aménagement de l'aire de séchage.



La palette est recouverte d'une dalle en ciment bien lisse. Le poids de la palette étant trop important, elle est déplacée à l'aide d'un transpalette. La palette est posée sur des tréteaux ou des fs pour travailler à hauteur d'homme, puis déplacée jusqu'à l'aire de séchage, où les briques sont démoulées. Si la production est faible, le séchage peut se faire sans avoir à déplacer les palettes.



Production mécanisée d'adobes

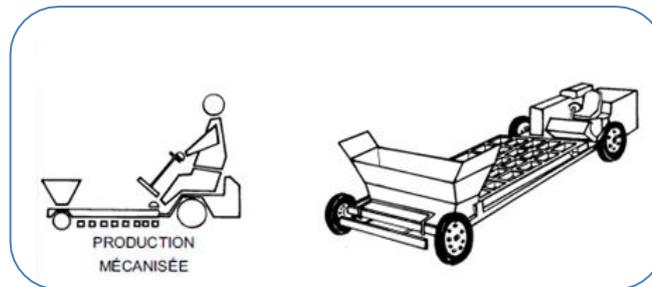
A grande échelle, on va chercher à mécaniser le moulage et le démoulage. Si les fibres employées dans les mélanges sont trop longues, on aura du mal à produire industriellement les adobes (on aura besoin de fibres broyées finement pour que le mélange puisse « couler » dans les moules). Avec des fibres longues, on devra réaliser le moulage à la main.

Pour façonner les briques, on va pouvoir utiliser :



es adobes

⇒ Des « pondeuses » mobiles. Comme le mélange fibré a du mal à couler dans les moules, elles seront surtout utilisées pour produire des adobes non fibrés, ou très légèrement fibrés. L'automatisation va souvent de pair avec l'utilisation d'un mélange plus humide pour faciliter l'écoulement et la bonne répartition dans le moule.



Ladrillera Conci.mpg



remplissage des moules



raclage des briques



démoulage



rincage des moules





⇒ des extrudeuses. Les briques de terre extrudées cruës ne sont pas à proprement parler des adobes, mais elles sont vendues comme tel. La terre sort d'une filière sous forme de barreau rectangulaire. Le barreau est coupé au fil à beurre pour former les briques extrudées (ou filées). La présence de fibres rend difficile la découpe au fil à beurre. Les fibres utilisées doivent être très courtes.

Ces briques très argileuses sont celles que les briquetiers font cuire. Si vous avez un briquetier à proximité, vous pourrez peut-être lui acheter ces briques.



Les adobes



Le type d'argile utilisé dans les briques filées a un effet sur la résistance à l'humidité (les briques en kaolinite sont moins fondantes que celles en montmorillonite). Les adobes traditionnels ont une résistance à l'humidité bien supérieure à celle des briques filées.

La technique de l'extrusion permet de produire des briques facilement emboîtables et d'une régularité dimensionnelle quasi parfaite. Elles peuvent donc être montées rapidement avec des joints minces. La filière de l'extrudeuse permet aussi facilement de produire des briques possédant des gouttières pour passer des gaines électriques ou des tuyaux de chauffage (murs chauffant) au sein du mur.

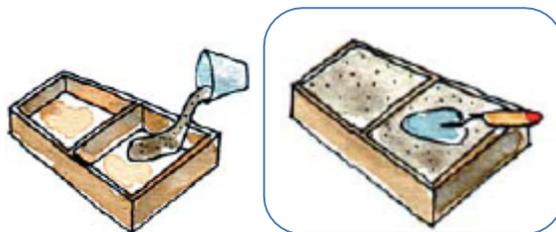


Brique filée Argibrique



Comment « bien » mouler ?

Certains confectionnent une boule de terre façonnée à la main, roulée dans du sable avant moulage, pour faciliter le démoulage (la terre ne colle plus au moule).



Le moulage des adobes fibrées nécessite de bien tasser la matière dans les coins et de faire s'interpénétrer les fibres (si il y en a). Si on moule les briques à la main, on veillera à ne pas s'abimer les ongles en tassant la terre le long des bords du moule. On travaillera « les ongles vers l'intérieur de la brique ».



Le surplus de terre est enlevé à la main. Le dessus de la brique est ensuite remouillé et lissé à la main et/ou avec une raclette/truelle propre pour obtenir une belle brique. La surface de la brique ne doit pas non plus être un miroir, les aspérités facilitant la liaison entre la brique et le mortier de pose.





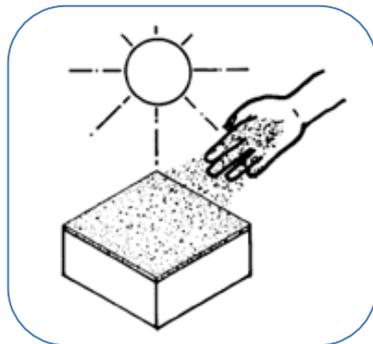
Lissage et raclage de la surface de briques non fibrées



Lissage de briques fibrées (nivelage manuel, suppression des brins rebels, nettoyage du pourtour du moule, ajout d'eau puis lissage à la truelle)

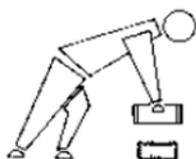
Pour éviter la fissuration due à un séchage trop rapide à cause de fortes chaleurs, on pourra jeter un peu de sable sec sur les briques avant ou après le démoulage.





Comment « bien » démouler ?

Mouler les adobes est facile, mais faire des adobes qui se démoulent facilement sans s'affaisser sous leurs poids l'est moins. Si les briques s'affaissent, c'est que la terre est trop mouillée. Elles peuvent aussi s'affaisser si on déplace les briques démoulées trop tôt. Si les briques ne se démoulent pas, c'est peut-être parce que le mélange est trop sec, et qu'il adhère aux bords du moule. Du sable sec doit être disposé au fond du moule pour éviter que la brique ne colle au support.



Traces de sable sec sur le support (sable tamisé jeté au fond du moule, Le Village)

Pour démouler, on doit soulever le moule le plus verticalement possible pour ne pas déformer la brique. Suivant la consistance du mélange, le poids de la brique à démouler et les frottements entre la terre et le moule (rugosité du moule, parallélisme des parois), on soulèvera d'un coup sec, ou on laissera glisser la brique. Le démoulage sera plus simple et le mélange pourra être plus sec si les moules sont légèrement prismatiques (difficile à réaliser dans le cas de moules multiples). Négliger la préparation et la réalisation des moules, c'est s'exposer à des problèmes de démoulage, de qualité des adobes, et une grosse perte de temps. Les moules en bois peuvent être huilés (les moules doivent être lavés après démoulage) pour les protéger et pour faciliter le démoulage. On peut aussi les recouvrir d'une mince tôle.

Les briques lourdes sont plus faciles à démouler que les briques légères.





Démoulage d'adobes fibrées à l'association Le Village

Pour les briques légères, on pourra se servir d'un contre moule disposé sur la brique, qui alourdira artificiellement la brique pour faciliter son démoulage. Il faudra néanmoins veiller à sabler le dessus de la brique pour que le contre moule ne colle pas à la brique et s'arranger pour que le contrepoids puisse coulisser dans le moule uniquement jusqu'à mi-hauteur de brique pour éviter que son poids ne fasse se boudiner la brique.



Le lavage des moules

Les moules doivent être lavés à la main ou au jet après chaque démoulage, et avant de mouler de nouvelles briques. Le film d'eau qui reste accroché au moule facilite le démoulage.





Le séchage des adobes

En séchant, les adobes acquièrent leur résistance mécanique. C'est une étape importante. Si on la néglige, des fissures pourraient apparaître, les briques pourraient rester coller au sol, elles pourraient se bananer, ...

L'aire de séchage

L'aire de séchage doit être préparée pour pouvoir circuler en permanence, pour pouvoir bâcher les adobes quand la pluie menace, pour permettre à l'eau de pluie de s'écouler sans que les adobes n'aient les pieds dans l'eau, pour pouvoir accéder au fond de l'aire avec un véhicule (c'est généralement là que les adobes les plus sèches se trouvent), ...

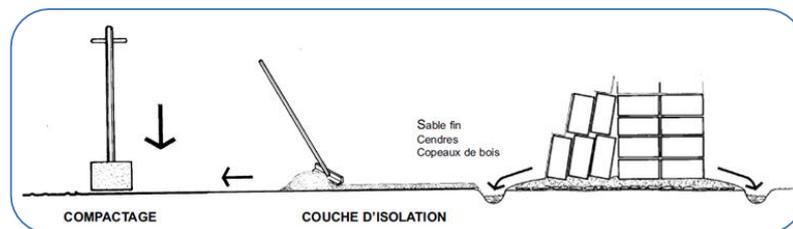
On peut aussi protéger les briques des grosses chaleurs avec ce qu'on a sous la main





Protection des adobes contre un séchage trop rapide

L'écoulement de l'eau sur l'aire de séchage est un point sur lequel il faut insister. Si le terrain est argileux et que l'eau stagne, vous ne pourrez plus produire d'adobes après une pluie, l'argile collera aux chaussures, aux roues des véhicules, ... et ca va être une vraie galère. Prévoir un lit de sable et des rigoles, c'est pas du luxe.



Les briques doivent être fabriquées et démoulées sur un support non adhérent, complètement plat, régulier (pour produire des briques d'une épaisseur constante), sec et sableux (pour éviter qu'elles ne collent au support quand on voudra les retourner).



Les adobes précédemment moulée sur le support peuvent par endroit avoir collé au support. Le support doit être débarrassé des restes de brique collée. On pourra jeter au fond des moules un peu de sable sec (le sable humide ne se répand pas bien) avant de mouler les briques. De la sciure de bois fera aussi l'affaire. Si on néglige ce point, soit



une partie de la brique restera collée au sol, soit une partie du sol restera collée à la brique.



Morceau d'adobe resté collé au support de moulage

La principale contrainte pour les entreprises qui fabriquent des adobes à grande échelle tient dans la surface nécessaire pour les faire sécher naturellement.



Dans les climats plus humides et moins ensoleillés, par manque de place ou parce qu'on dispose de source de chaleur gratuite, il arrive que le séchage soit fait artificiellement (briqueterie fabriquant de la terre cuite).

[Mes adobes germent ?](#)

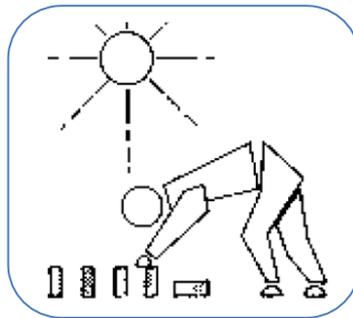
Il est tout à fait possible que les adobes fibrées germent à cause des quelques graines qui restent dans la paille. C'est beau, naturel, mais absolument pas grave, ça peut même faciliter le séchage des adobes.





Retourner les briques

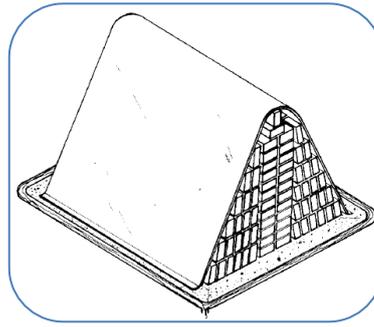
Dès que les briques peuvent être manipulées sans se déformer, on les retourne d'un quart de tour sur la tranche pour qu'elles sèchent uniformément, ne se déforment pas sous l'effet d'un séchage différentiel et pour que les adobes ne fissurent pas. Une brique fibrée pourra être manipulée beaucoup plus tôt qu'une brique non fibrée.



Empiler les briques

Une fois que les briques sont suffisamment sèches, on peut les empiler provisoirement pour libérer de la place. On les empile de telle sorte qu'elles puissent continuer de sécher. Une fois sèches, on pourra les palettiser. Les adobes devront être protégés de la pluie en cas de stockage à l'extérieur (tôle, plastique, ...).





Si l'on produit soi-même ses briques sur place, elles peuvent être mises en œuvre avant que le séchage complet ne soit réalisé. La seule exigence qu'il faut respecter est que la brique doit avoir fait son retrait avant de la poser.

Le conditionnement

Une fois complètement sèches (humidité naturelle), ce qui peut prendre des semaines si les conditions météorologiques ne sont pas favorables, les adobes peuvent être palettisées.



Palettisation Argibrique (briques filées)

Les adobes ne contenant pas de stabilisant, elles doivent être protégées des intempéries et de la condensation sous peine de délitement. Le conditionnement doit être pensé non seulement pour le stockage à l'atelier de fabrication, mais aussi pour le transport et le stockage temporaire, dehors, chez le client.



es adobes

Le conditionnement sur palettes permet de décoller les briques du sol et d'éviter les remontées directes d'humidité. Par contre, elles n'éviteront pas la condensation si le terrain est humide. Le mieux est de stocker les palettes à l'intérieur sur une dalle.

Des housses rétractables en plastique pourront être utilisées pour protéger les palettes de la pluie, mais il faudra veiller à ce qu'elles ne soient pas perforées, ce qui arrive souvent ; l'eau s'infiltrerait par les trous et viendrait déliter les briques sans qu'elles ne puissent ressécher (à cause des housses).



Briques correctement stockées sous housse – briques mal stockées sous film cellophane

Une solution très simple, écologique et quasi gratuite pour protéger une palette d'adobe de la pluie est de la recouvrir avec des bottes de paille moyenne densité. Cette solution ne suffira pas dans le cas de grosses pluies. Dans ce cas, des tôles ou plaques fibro-ciment peuvent faire l'affaire pour se protéger efficacement de la pluie. Attention au vent !



Protection des palettes d'adobes avec des bottes de pailles (Le Village)





Même palette après 60 mm de pluie en 24 heures

Une autre solution utilisée au Maroc est de recouvrir les adobes avec une bâche plastique recouverte de terre. C'est le même principe que celui des toitures végétalisées. La terre absorbe une bonne partie de l'eau de pluie et peu d'eau ruisselle le long de la bâche. Évidemment, la bâche ne doit surtout pas être trouée !



Stockage d'adobes sous bâche recouverte de terre (Tinzouline, Maroc)



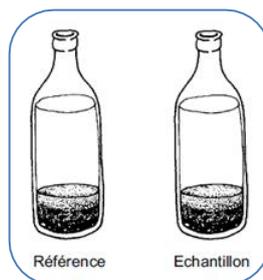
Contrôle de la qualité

Nos amis à 4 pattes

La première source de non-qualité provient de la présence de chats et de chiens sur le lieu de production des adobes. La terre est parfois souillée par les urines et les déjections de nos compagnons à quatre pattes. Cette terre ne doit pas être utilisée.

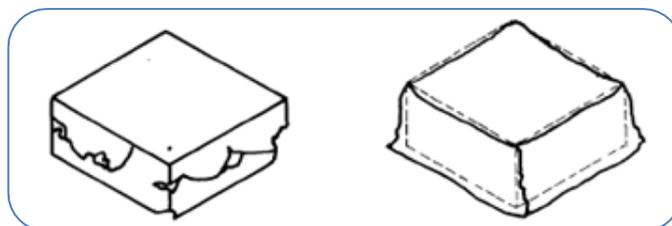
Contrôle de la terre

Pour vérifier que la terre utilisée pour faire les adobes possède les mêmes caractéristiques que celle utilisée précédemment, et ainsi assurer que la production ne dérive pas, on pourra prélever à chaque nouvel arrivage un échantillon, qui subira quelques tests, comme celui de la bouteille. Si les deux bouteilles ne présentent pas le même aspect, c'est que la terre n'est plus la même et que la recette devra être corrigée. La bouteille n'est qu'un des tests réalisable.



Contrôle de la forme des adobes

Au démoulage, si la brique présente des vides au niveau des arrêtes, c'est qu'on doit mieux tasser dans les angles. Si la brique se tasse et a une forme légèrement prismatique, c'est que le mélange est trop mouillé. Dans les 2 cas, la résistance mécanique des briques sera altérée.

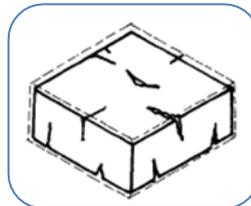




autoproduction d'adobes (Tinzouline, Maroc)

Contrôle du retrait

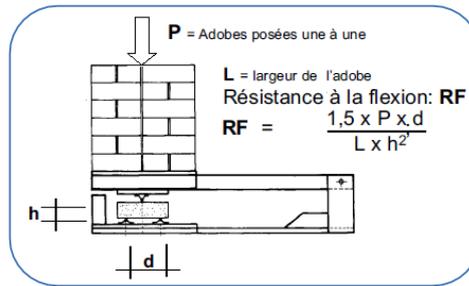
Après démoulage, si des premières fissures apparaissent rapidement, on doit mieux protéger les briques du soleil pour ralentir le séchage. Les briques présentant des fissures importantes après séchage doivent être mises au rebus, ou utilisées pour des usages moins ambitieux. Ces fissures sont le signe d'un mélange mal dosé, qui doit être corrigé par ajout de paille ou de sable.



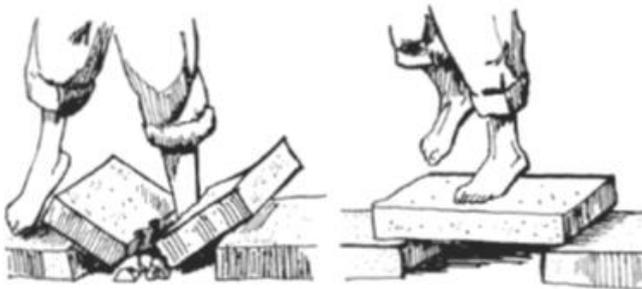
Contrôle de la résistance mécanique

Régulièrement, des briques doivent être prélevées et testées mécaniquement.





On pourra contrôler la résistance mécanique plus directement en montant sur les briques. Ca permet de s'assurer d'une résistance mécanique minimale, celle qui correspond à votre poids. Pour effectuer un contrôle correct et identique d'un jour sur l'autre, on veillera à toujours placer les briques à tester de la même manière sur le support, et de disposer ses pieds de la même manière sur la brique.



Contrôle de la résistance à l'arrachement

Faire un mur en adobe, c'est bien, mais pouvoir pendre des choses au mur, c'est encore mieux. Pour ça, il faut déjà pouvoir percer dedans (les cailloux, c'est pas top) et mettre une cheville (le chevillage n'est pas nécessaire dans les adobes fibrées), puis vérifier que la cheville reste en place quand on lui fait supporter une charge. Dans la photo ci-dessous, on teste un enduit (qui supporte largement le poids d'un bidon rempli d'eau).





On peut utiliser le même principe avec un seul adobe (sec) en chargeant une vis (vissée dans l'adobe) dans deux directions (charge perpendiculaire à la vis et charge parallèle à la vis). Pour le chargement perpendiculaire, vous pouvez par exemple enchâsser la brique dans un cadre en bois, fixer ce cadre en bois dans un étau (par exemple) et faire peser une masse pour simuler le poids d'un tableau, ... Alors, ça tient ? Pour le chargement parallèle à la vis, vous pouvez simplement poser la brique sur l'étau et charger comme précédemment.

Contrôle de la sensibilité à l'eau

L'usage des adobes est fortement limité par leur sensibilité à l'eau. Pour tester cette sensibilité on peut réaliser 3 tests différents :

⇒ Un test d'immersion. On mesure la perte de poids (sec) après 10 minutes d'immersion.



Test d'immersion réalisé sur des adobes fibrées allégées (Le Village, Cavailon)





Test d'immersion réalisé sur une brique compressée sans ciment (Le Village, Cavaillon, après à gauche, avant à droite)

- ⇒ Un test de contact. On teste la compatibilité de la brique avec la réalisation d'un enduit. Pour faire le test, on imbibe un chiffon avec la quantité d'eau que contiendrait un enduit (d'1.5 cm d'épais, soit 0.5 g/cm²) et on le pose sur la brique. Si la brique laisse apparaître en surface des fissures ou des déformations permanentes, elle n'est pas adaptée à la réalisation d'un enduit épais, un badigeon tout au plus.
- ⇒ Un test de succion (capillarité). On dispose la brique sur un tissu baignant dans l'eau et on guette l'apparition de fissures et de déformations permanentes. Le résultat du test est la durée à partir de laquelle ces phénomènes se produisent.
- ⇒ Un test de réaction au gel. On pose sur la surface de la brique un tissu imbibé d'eau avant de la mettre au congélateur. On impose à la brique plusieurs cycles gel-dégel et on note l'apparition de fissures et de déformations permanentes.

Restrictions d'usages

Le fabricant des briques doit détailler les usages possibles de son matériau et les règles de mise en œuvre.

Tolérances de fabrication

Le fabricant des briques doit/devrait détailler les tolérances de fabrications et assurer une traçabilité dans le processus de production, jusqu'au client.

- Homogénéité au cœur de la brique
- Présence de cavités
- Dimensions/parallélisme/creusement/bananage



- Masse volumique sèche et taux d'humidité à la palettisation
- Tendance au gonflement. Donner les dimensions du moule donne une bonne idée du retrait au séchage des briques, même si le séchage de la brique est un cas extrême de la vie normale d'une brique. Plus jamais dans sa vie elle ne devrait être soumise à la présence d'une telle quantité d'eau.



Les principes constructifs

Le patrimoine en terre qui a subsisté à l'épreuve du temps est celui dont la conception a respecté quelques principes simples pour se protéger de l'effet destructeur de l'eau. Les deux principales règles à ne pas prendre à la légère sont le traitement des soubassements et celui de la toiture.

De bonnes bottes, un bon chapeau et des murs en goretex

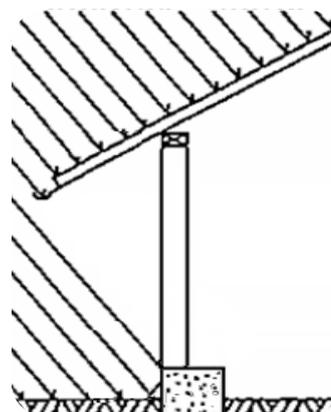
La protection des murs par la toiture

Les murs en adobes seront protégés par un bon débord de toit pour éviter que la pluie battante ne les détériore et que l'eau qui tombe ne rejaillisse trop en bas des murs. Bien entendu, dans les régions ventées où il pleut à l'horizontale, on ne pourra pas laisser les adobes apparents. Si l'eau ruisselle sur le mur, la partie basse du mur sera plus rapidement endommagée que la partie haute. L'eau récupérée dans les gouttières doit être immédiatement évacuée loin des murs, soit par des canalisations, soit par une pente douce.



Adobe posée sur un parpaing pendant des mois

Protéger son mur de la pluie, c'est aussi éviter l'usure prématurée du mur en cas de gel (eau = gonflement, eau + gel = encore pire).



La protection des murs par le soubassement

Le soubassement est là pour protéger le mur des remontées d'eau (capillarité), des projections d'eau, de l'eau stagnante en pied de mur et doit être suffisamment haut pour protéger le mur en terre d'une inondation. Le soubassement peut aussi être plus haut pour limiter l'usure induite par le passage des hommes ou des animaux.



Pieds de piliers en adobes érodés (vieux Mhamid, Maroc)

En aucun cas il ne faut les monter directement sur le sol. Les adobes sont donc montés sur un soubassement (pierre, brique cuite, parpaing, ...). La taille des briques cuites n'étant pas forcément la même que celle des adobes, les règles d'appareillage ne pourront pas toujours être respectées. Dans le cas des briques filées industrielles, c'est plus simple puisque les briques cuites et les briques crues fabriquées par un même producteur auront le même format.



On mettra au dessus du soubassement un film goudronné pour éviter les remontées d'eau par capillarité (la terre se comporte comme un buvard). Le film peut être remplacé par un mortier avec adjuvant hydrofuge.



Principe chapeau/bottes, soubassement en parpaings avec film goudronné sur mur en pisé



Effets de l'eau stagnante au dessus d'un film goudronné (mêm mur en pisé)

Pour éviter que l'eau de ruissellement ne stagne au dessus du film goudronné, la première rangée de brique ne sera pas réalisée en adobes, mais en briques cuites. Cette précaution doit être prise pour tous les murs, intérieurs et extérieurs, à cause du risque de dégâts des eaux.

En l'absence de protection contre les remontées capillaires, la forte capillarité des murs en terre peut drainer une grande quantité d'eau et de sels qui remontent avec elle. Les sels, contrairement à l'eau, ne peuvent pas s'évaporer. Ils cristallisent en surface et détruisent la structure de la terre, qui fini par se détacher par manque de cohésion. Si les adobes sont fibrées, les fibres végétales vont se mettre à fermenter. Elles ne vont plus jouer leur rôle structurel et vont dégrader la cohésion des briques.

[La protection des murs par les enduits](#)

Les adobes sont souvent enduits, c'est pour ça qu'on ne les voies pas. Du coup, on ne sait pas qu'elles sont là et qu'elles y sont depuis des siècles. Quand les bâtiments ne sont plus entretenus depuis des générations et que l'enduit extérieur est tombé, on les



voie, et on assimile l'état de délabrement du bâtiment à l'archaïsme du mode de construction.



La boucle est bouclée et les idées fausses sur la construction en terre circulent, alors que les bâtiments bien entretenus ont vu naître nos grands-parents et verrons naître nos petits-enfants.

La tendance contre laquelle on doit lutter, même si c'est très beau, c'est de laisser les maçonneries apparentes. L'enduit permet de protéger les maçonneries et ainsi de permettre au bâtiment de passer les générations. Ne pas enduire quand c'est nécessaire, c'est endommager à long terme son bâtiment et ca va à l'encontre des principes de l'écoconstruction.

Dans nos régions, les murs extérieurs en adobes sont la plupart du temps enduits à la chaux, avec une chaux faiblement hydraulique (plutôt NHL2 que NHL5 !), pour que le mur reste perméable à la vapeur d'eau. En intérieur, un enduit en terre permet de protéger la partie structurale du mur (les adobes) tout en laissant perspirer les murs.



Enduits décollés

Dans des pays plus secs et plus pauvres, on peut imaginer réaliser des enduits sable-ciment sur un mur en adobes, mais c'est souvent une mauvaise idée. Le ciment est utilisé parce qu'il est disponible et moins cher que la chaux. L'enduit est souvent fait



es adobes

en mouillant insuffisamment les adobes, il sèche trop vite, il est trop rigide et colle mal. Souvent, le sable est fin, parfois souillé et l'eau légèrement salée, ce qui donne de mauvais résultats. Des enduits à base de terre stabilisée sont préférables à des enduits sable-ciment, ils adhèrent mieux et ont des caractéristiques plus proches de celui des adobes.



Enduits sable-ciment sur adobes (Nekob, Maroc)

On peut se passer d'un enduit (c'est une économie appréciable) uniquement si le mur reste sec, s'il est protégé de la pluie battante (bon chapeau) et des projections d'eau (bonnes bottes).

La taille des adobes et la rugosité de surface sont deux paramètres importants pour la bonne adhérence de l'enduit sur le mur. Des adobes de petites tailles permettent de multiplier les points d'accroches de l'enduit au niveau des joints, plus nombreux. L'adhésion sera encore meilleure si les joints sont en retrait de la surface des adobes et qu'ils sont grattés avant leur séchage.

Aujourd'hui, pour diminuer les consommations énergétiques, on isole les bâtiments par l'extérieur, ce qui protège les murs en terre en les maintenant hors gel et en évitant les agressions des projections d'eau.

Un sol en goretex

L'humidité du sol doit pouvoir s'évacuer. Si elle ne le fait pas par le sol intérieur, elle le fera dans les murs. Si les murs ne sont pas protégés des remontées capillaires, on ne règle pas le problème, on le transfère ailleurs en l'amplifiant.

La terre cuite ou les mortiers à base de chaux perspirent alors qu'une chape en ciment rejette l'humidité vers les murs. Si on ne peut pas faire autrement que d'utiliser une chape en ciment, on réalisera le long des murs un drain ventilé connecté au drain extérieur qui récupère et évacue les eaux de pluie.



Les fondations

De part son poids (1800 à 2200 kg/m³ dans le cas du pisé), un mur en terre impose de grosses contraintes aux fondations, qui doivent être conçues en conséquence pour éviter les tassements différentiels. Le tassement différentiel du sol, s'il n'est pas repris par les fondations, se transmettra au mur en terre et le fera fissurer. Les fondations permettent de construire les murs sur un support homogène. Ce point ne doit pas être négligé. Il est indispensable de réaliser une étude de sol pour déterminer la nature des fondations.

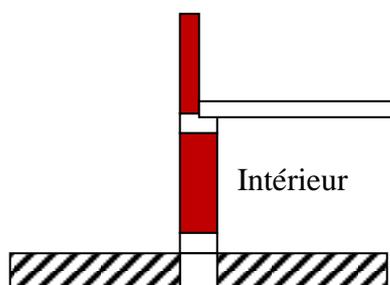
Le fruit

Alors qu'un mur en pisé peut posséder un fruit (l'épaisseur du mur diminue de manière continue à mesure que le mur s'élève), les murs en adobes sont généralement des murs en escaliers.

L'obliquité de la face extérieure du mur en pisé permet entre autres de le rendre plus résistant aux forces qui pourraient le pousser vers l'extérieur. La présence d'un fruit allégeait aussi le poids reposant sur la partie basse du mur, parfois humide et moins résistante à cause des remontées capillaires.

L'évolution en escalier est imposée par la technique de la construction en briques. L'épaisseur du mur diminue au franchissement d'un étage. Cette technique est d'ailleurs reprise aujourd'hui dans la construction en pisé, les logiciels de calculs permettant de s'assurer de la tenue mécanique de l'œuvre.

Les marches sont situées côté intérieur. A chaque changement de niveau, pour répondre aux nouvelles normes parasismique, on pourra réaliser un chaînage horizontal en béton armé, ce qui permet du même coup de faire reposer les planchers sur la marche. Ceci est possible dans le cas d'une construction neuve respectant les principes constructifs énoncés dans ce chapitre, mais peut être contreproductif dans le cas d'une réhabilitation. Un plancher béton est très rigide et pourrait cisailer les murs en terre au franchissement de l'étage.



Elévation des murs

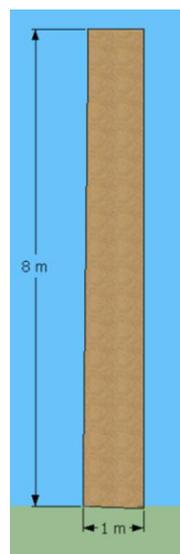
La construction traditionnelle en terre obéit à quelques règles générales, héritées de siècles de retour d'expériences :

- La longueur maximale entre 2 angles ne dépasse pas 6 mètres
- Les murs les plus longs sont renforcés (mur de refend, armature, contreforts) au moins tous les 5 mètres
- Les ouvertures n'excèdent pas $1/3$ de la surface totale du mur. Leur portée est limitée à 1,2 mètre. Des ouvertures plus importantes créent des efforts trop importants qui conduisent à des tassements au niveau des jambages. On évite de les placer à moins d'un mètre d'un angle ou d'une jonction (mur de refend) pour ne pas trop affaiblir la structure.
- Les proportions des murs entre 2 angles ont en règle générale ne dépassent pas un élancement 8 en hauteur et 12 en longueur.

L'élancement

L'élancement est le rapport entre la hauteur et l'épaisseur du mur.

Sans les gardes-fous modernes, l'élancement maximal d'un pur en terre est compris entre 8 et 10. On peut monter plus haut si l'on conçoit bien les fondations, si on protège le mur de l'humidité, si la réalisation est « parfaite », si le mur est correctement contreventé, ...



Mur maçonné et mur non maçonné

Les murs d'adobes peuvent être :



- Maçonnés : les murs maçonnés utilisent du mortier pour lier les briques entre elles. Ils peuvent être porteurs ou non porteurs.
- Non maçonnés : les murs non maçonnés n'utilisent pas de mortier pour lier les briques. Ils sont non porteurs. Les adobes sont utilisés en remplissage d'une ossature en bois. Des renforts horizontaux et verticaux sont ajoutés régulièrement pour maintenir en place les briques.

Mur porteur et mur non porteur

Les murs d'adobes peuvent être porteurs ou non porteurs.

Murs porteurs

Un mur porteur reprend en chaque point du mur les charges statiques verticales et horizontales et les contraintes de cisaillement, flexion créées par le poids propre du bâtiment, les descentes de charges, la neige, le vent, les déformations du terrain, ... et les charges dynamiques (tremblement de terre).

Les murs d'adobes sont porteurs lorsqu'ils sont réalisés avec des adobes non fibrés. Généralement, leur épaisseur est de 50 cm environ. En Allemagne, les murs porteurs extérieurs doivent avoir au minimum une épaisseur de 36.5 cm. Cette contrainte est relâchée pour les murs porteurs intérieurs (24 cm), sous certaines conditions (limites de hauteur, de portée des planchers, de charges admissibles). La densité des briques est généralement supérieure à 1400 kg/m³.

Traditionnellement, les murs en terre étaient très épais et paraissent aujourd'hui surdimensionnés si on les compare à une construction moderne. Ce surdimensionnement était rendu nécessaire à cause de l'absence de film goudronné qui empêche les remontées capillaires, les maisons ayant été construites avant l'ère du tout pétrole.

La présence d'humidité fait chuter la résistance mécanique du matériau, compensée à l'époque par une épaisseur plus forte. D'après « construire en terre crue », un taux d'humidité de 8% (en masse) peut réduire la résistance à la compression de 70% par rapport à celle mesurée dans des conditions normales (0.8 à 2%). Aujourd'hui, ce surdimensionnement n'est plus utile si on respecte les 3 garde-fous (bons chapeaux, bonnes bottes, bons enduits).

Le mur devra tout de même résister à la charge de la toiture, de la neige, aux poussées latérales, ...

Murs non porteurs

Lorsqu'ils sont fibrés, les adobes servent à construire des murs non porteurs : réalisation de cloisons ou de murs à inertie, remplissage d'ossatures porteuses.





Les murs non porteurs sont généralement assez peu larges. Leur élancement est donc important et l'ossature porteuse doit permettre d'éviter le flambement des portions de mur en adobes. La distance entre 2 montants verticaux ne doit pas dépasser la hauteur d'un étage (2.5 à 3 mètres), et dans le cas d'un mur fait d'adobes posés sur la tranche, cette contrainte est resserrée. L'entraxe entre les montants verticaux est inférieur à 1 mètre, la valeur étant adaptée au format des adobes, pour faciliter l'appareillage.

La liaison entre les adobes et les montants de l'ossature doivent être renforcés pour éviter la fissuration. Le renforcement peut être fait avec :

- ⇒ Du Nergalto fixé sur l'ossature. Dans ce cas, l'épaisseur du joint vertical est identique à celle des joints séparant les briques.
- ⇒ Des clous inoxydables et/ou un tasseau (triangulaire ou arrondi) fixé sur l'ossature. Les joints verticaux attenants à l'ossature sont alors plus épais que les joints entre les adobes, pour laisser de la place entre le tasseau et la brique.

Remplissage intérieur de cloisons OSB/placo/...

Les adobes ou briques filées peuvent être utilisées pour remplir l'intérieur de cloisons avec finition des panneaux bois/placo/Fermacell/... Les briques filées étant une meilleure régularité dimensionnelle, elles conviennent mieux à ce type d'utilisation. Encore faut-il se demander pourquoi on le fait. L'inertie thermique, ce n'est pas que la masse des murs, c'est aussi la capacité d'échange de calories avec l'air ambiant. Sans cette capacité d'échange, la masse ne sert pas à grand-chose et elle vous coûte cher. Ce type de mise en œuvre oublie la capacité d'échange (non continuité entre les matériaux, matériaux de surface légèrement isolant).





Briques filées en remplissage de cloisons (Lanter)

Parement en adobes

Il existe une utilisation supplémentaire des adobes, c'est la décoration. Les adobes peuvent être utilisés en parement contre une cloison en bois par exemple. Pour les fixer à la cloison, on vissera une pièce métallique dans l'adobe, puis dans la cloison, de proche en proche. Ceci n'empêche pas de faire des joints de mortier pour lier les adobes.

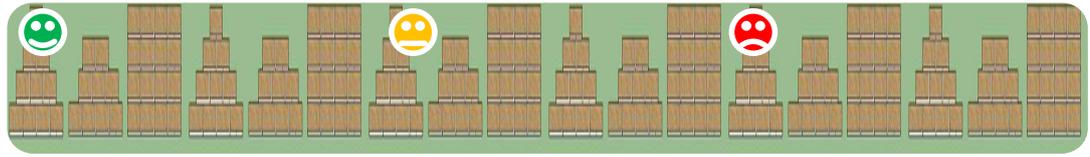


L'appareillage

Différents types d'appareillages sont possibles en fonction des dimensions des briques. Un bon appareillage permet d'éviter la fissuration des murs (coup de sabre) et assure la solidité du mur. L'appareillage devra respecter les règles de non superposition des joints verticaux et de recouvrement minimum d'un quart de la longueur du bloc. Ceci permet d'éviter la fissuration du mur (coup de sabre).



es adobes



Appareillage : l'idéal, le tolérable, l'interdit



Mauvais appareillage (Nekob, Maroc)



Mauvais appareillage + absence de joints verticaux (Zagora, Maroc)





Mauvais appareillage + absence de joints verticaux (Mhamid, Maroc)



Mauvais appareillage + absence de joints verticaux (Ouled Driss, Maroc)

Le renforcement de la structure

Il est recommandé de renforcer les murs par des éléments travaillant en traction/flexion, pour contrebalancer ce point faible des constructions en terre. Ceci est particulièrement recommandé pour les murs très longs et pour les murs dont les fondations sont trop faibles pour résister aux mouvements de terrains. Ce renforcement peut être intégré dans la maçonnerie (béton armé, planches, bambous, treillis) ou indépendant (poteaux-poutres). Les poteaux relient les fondations au chaînage et déchargent le mur, qui peut être plus mince.

Ancrage de la sablière dans la maçonnerie

Pour ancrer la sablière et les éléments de charpente dans un mur en adobe, il vaut mieux procéder :

⇒ en utilisant des adobes déjà perforés (moules spéciaux ou carottage)



⇒ par carottage dans le mur terminé et séché. Le carottage permet d'éviter les vibrations excessives dans les briques.

La protection des murs dans les angles

La brique cuite ou la pierre de taille étaient des matériaux plus chers. On les réservait donc aux usages les plus « techniques » (murs exposés au vent dominants, angles de murs, jambages et appuis de fenêtres, arc, ...) alors que la brique crue était réservée aux murs courants, aux murs de refend, aux murs extérieurs non exposés aux vents dominants, et au remplissage des murs en pan-de-bois.



Le contreventement et les aléas sismiques

Le contreventement

Un mur exposé à des contraintes latérales comme le vent n'est stable que s'il est contreventé dans la direction de la contrainte.

Les formes assurant un contreventement efficace sont le L, le T, le X et le U :



Les murs de refends assurent le contreventement des murs extérieurs. L'épaisseur minimale des murs de refend dépend de l'épaisseur des murs extérieurs. Si le mur de refend ne réalise que la fonction « contreventement », son épaisseur sera d'environ la moitié de celle du mur extérieur.

Les murs de refend seront si possible montés en même temps que les murs porteurs pour éviter les problèmes de tassement. Lorsque ce n'est pas possible, on connectera le mur de refend au mur porteur.



Le chaînage

Le chaînage solidarise le mur porteur en le ceinturant. Il évite sa dislocation sous l'effet conjugué des charges, des contraintes internes et externes et des mouvements de terrain. Il existe deux formes de chaînage, les chaînages horizontaux et les chaînages verticaux.

Les chaînages horizontaux ceinturent le mur à chaque étage au niveau des planchers. Les chaînages verticaux sont réalisés dans les angles des murs et régulièrement dans le cours des murs.

Dans le sens des descentes de charges (la plupart du temps, c'est la verticale), il faut éviter de scinder le mur en 2 parties faites avec des briques de rigidité différentes (briques crues et cuites), le risque étant l'apparition de fissures à la jointure entre les deux parties.

Dans le sens perpendiculaire aux descentes de charges, on peut chaîner le mur sans voir apparaître de fissures, à condition que le chaînage ne subisse pas de variations de température et d'humidité. Le chaînage doit donc préférentiellement être fait du côté chauffé du bâtiment.

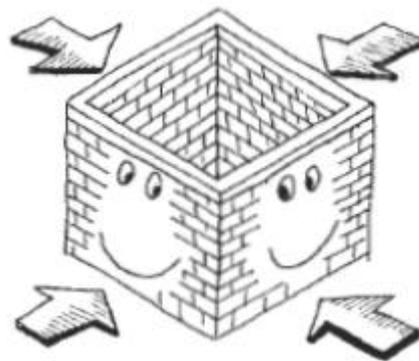
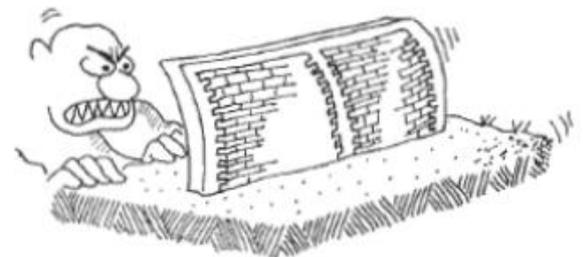
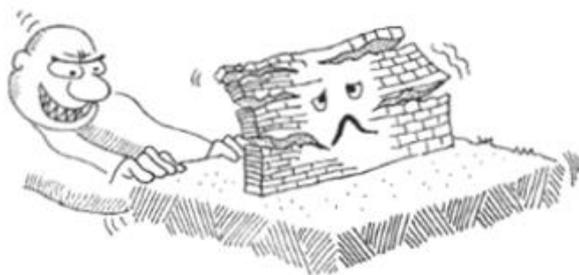
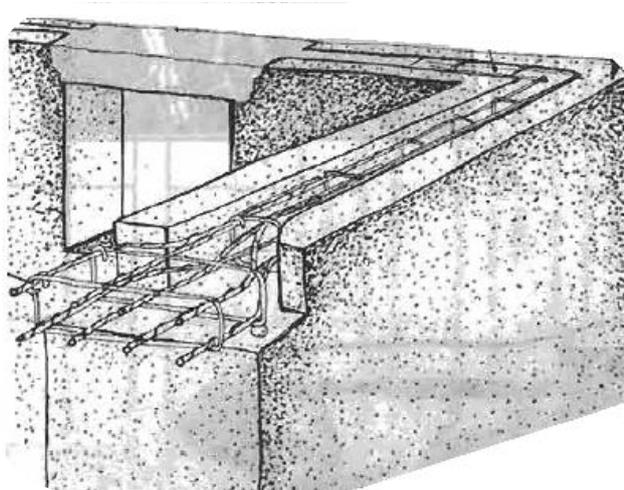
Les chaînages horizontaux sont le plus souvent réalisés en béton armé, mais les chaînages en bois sont possibles, à condition de fixer en profondeur dans la maçonnerie des vis qui pourront reprendre les efforts de cisaillement. On pourra en plus visser du Nergalto dans le chaînage en bois, et le noyer dans le mortier jointant le chaînage à la maçonnerie. Ceci permet d'améliorer le coefficient de frottement entre le bois et la terre.

Les aléas sismiques

De part leur masse, les constructions en terre résistent mal aux séismes. Un mur en terre en mouvement (provoqué par le tremblement de terre), c'est un peu comme un 38 tonnes qui doit s'arrêter. C'est pas toujours possible sans un bon système de freinage. Dans une construction en terre, les freins, ce sont le chaînage et la forme du bâtiment. Toutes les formes ne se valent pas (voir le paragraphe sur le contreventement).

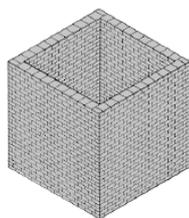
On peut difficilement résumer en un paragraphe la prise en compte du risque sismique dans la conception des murs en terre. Ce paragraphe aborde seulement quelques points permettant de montrer comment cette contrainte est prise en compte par les constructeurs. La carte des risques sismique en métropole a été redéfinie en 2010 ; n'oubliez-pas de la consulter pour savoir si vous êtes exposés à cet aléas.



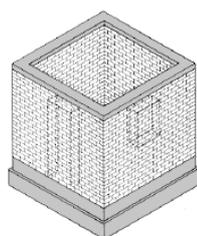


INIAYI - Pérou

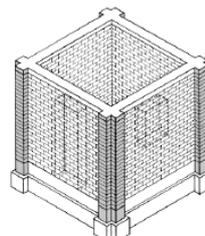
Exemple 1: treillis bambou dans les joints horizontaux et verticaux + chaînage béton armé (Sistema Adobe Mi casa 10)



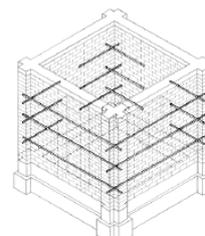
concept avec murs symétriques



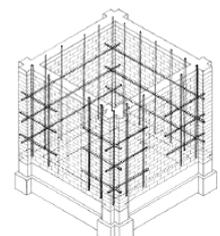
fondations et chaînage



contreforts dans les coins



renforts horizontaux



renforts verticaux





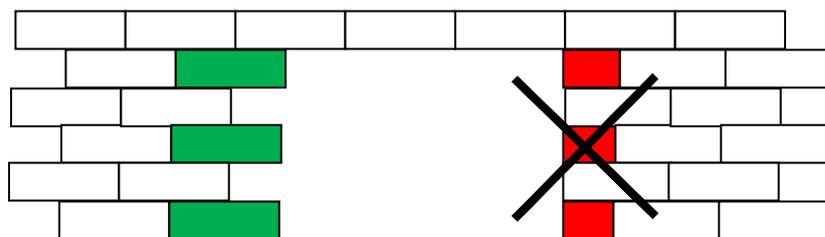
La gestion des ouvertures

Les petits éléments de façade (gonds et loquets) doivent être scellés solidement dans le mur. Les scellements peuvent être faits avec des briques cuites, une pierre taillée, ou du bois (brique en bois ou cadre de fenêtre).

Percer une ouverture

Pour percer une ouverture, il faut travailler en sous-œuvre et étayer correctement le mur pour éviter de décoller les joints des adobes situées au dessus du futur percement.

En enlevant les adobes du mur, on ne découpera pas en 2 les adobes qui dépassent.



Le mur en adobe doit être percé en 2 fois (une demi-épaisseur à la fois). Après avoir percé la moitié du mur, on réalisera un linteau ou un cadre complet, et on remplira l'espace au dessus du linteau avec des adobes ou de la terre, on laissera sécher le remplissage avant de percer l'autre côté du mur. On relira ensuite les deux linteaux/cadres et on rebouchera l'espace séparant les deux cadres avec de la terre, du plâtre, ...





Photos NaturaBati

Le linteau ne peut être en terre crue que si il est courbe (retrait, travail en compression uniquement)

Fixer une fenêtre

Une brique en terre n'est pas l'élément de maçonnerie le plus approprié pour fixer une fenêtre.

On pourra remplacer les adobes sur lesquels la fenêtre sera fixée par des cales (bouchons) en bois reprenant la forme de 1/2 briques. Pour que la cale soit solidaire du mur, on fixera dessus du Nergalto (par exemple) et on collera la cale au mortier dans la maçonnerie.

Si on choisi de fixer un pré-cadre en bois, il doit être scellé de proche en proche dans le mur avec des pattes métalliques. Les vibrations d'une perceuse à percussion ne sont pas les bienvenues pour ne pas endommager la structure des briques et la tenue des



joints. On pourra percer par carottage, ca sera nettement mieux, ou sceller d'abord des bouchons en bois, et visser dans les bois.

Le scellement doit permettre de reprendre les vibrations et les chocs induits par la manipulation des ouvrants, sans que des fissures n'apparaissent.

Fixer les gonds d'un volet

Une brique en terre n'est pas l'élément de maçonnerie le plus approprié pour fixer les gonds d'un volet. La terre supportera mal les chocs (volet qui claque). On pourra faire un bouchon en bois ou en insérant des ½ briques en terre cuite dans la maçonnerie, ou en fixant les volets sur un pré-cadre en bois.

Renforcer les angles contre l'usure par friction



Angles de murs en adobes usés par le passage des charettes (Ouled Driss, Maroc)



Angles de murs en adobes usés par le passage des charettes (Bounou, Maroc)



Peindre les adobes

Les adobes ou les briques filées peuvent être peintes pour égayer le mur, créer des motifs et pour le protéger.



Peintures d'argile (Argibrique)

Savoir mixer les techniques

Toutes les techniques ont des avantages et de défauts. Savoir les utiliser ensemble au sein d'un même projet est parfois la meilleure solution. Les briques, c'est pratique (pas besoin de coffrage) et c'est manuable.



Mur en pierre, pisé et adobes (Nekob, Maroc)





Rangée d'adobes sur un mur en pisé (Agdes, Maroc)

Lorsque l'épaisseur du mur se réduit (étages supérieurs), on ne peut plus de faire du pisé, on construit donc en briques.



Mur en pisé + adobes en partie haute (Agdes, Maroc)

Lorsque les banches à pisé sont difficiles à manœuvrer ou ne sont pas disponibles, on peut aussi continuer en adobes.





Adobes et pisé (vieux Mhamid, Maroc)

Les adobes permettent aussi de réparer les murs en pisé.

Les adobes peuvent permettre de reboucher une partie de mur.



Porte partiellement fermée (Mhamid, Maroc)





Mur d'enceinte en pisé fermé avec des adobes (vieux Mhamid, Maroc)

Les adobes sont une solution efficace pour construire des arches, voûtes et dômes. Les autres techniques terre sont moins faciles d'emploi.



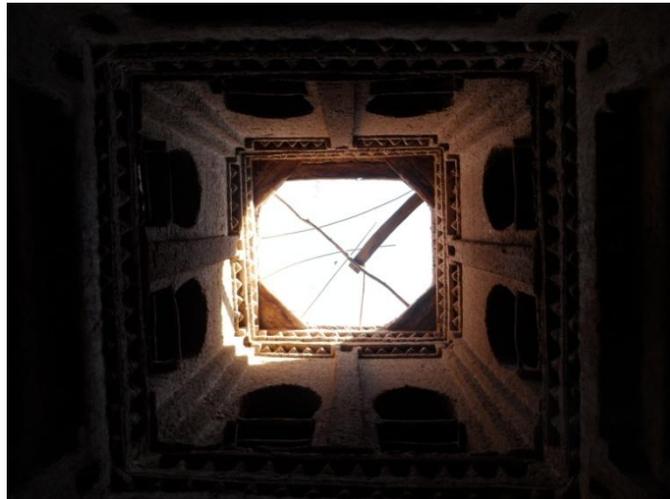
Arc de décharge au dessus d'un linteau en bois (Agdes, Maroc)

Les adobes permettent de faire tout un tas de décoration qui ne sont pas faisables en pisé.





Décoration extérieure en adobes (Tamnougalt, Maroc)



Décoration intérieure en adobes (Ouled Driss, Maroc)



Le chantier

Les fondations

Avant de regretter ses choix, il faut se demander si le sol sur lequel on prévoit de construire le mur d'adobes va pouvoir tolérer le poids du mur. Si ce n'est pas le cas, on va pouvoir diminuer les charges en réduisant l'épaisseur du mur ou en utilisant des adobes plus légères.

La protection du sol

Tout comme on protégerait le sol de projections de peintures, on doit protéger le sol des projections d'eau et de la chute du mortier, pour ne pas l'abîmer. Il faudra prévoir de bâcher au moins 1 mètre le long des murs.

Les conditions de travail

Pas trop froid

La température minimale d'application est d'environ 5°C, ce qui évite les risques de gel.



Ni trop chaud

S'il fait trop chaud ou que le soleil tape directement sur le mur, le mortier peut sécher trop vite et se mettre à fissurer. Dans ce cas, on peut se protéger des rayonnements directs au travers d'une bâche (par exemple).

Se protéger des intempéries

Un moyen simple de protéger un mur en construction des intempéries, c'est de recouvrir la dernière rangée d'adobes avec des bottes de paille (si l'épaisseur du mur est suffisante et si la pluie n'est pas trop forte). Les bottes protégeront le mur de la pluie et éviteront un séchage trop rapide du mortier en cas de grosse chaleur.



La protection du mur doit être assurée jusqu'à ce qu'on ait protégé définitivement le mur au travers d'une toiture et d'un enduit.

Un seau d'eau qui se renverse sur un échafaudage pourrait endommager votre travail, surtout si le mur n'est pas destiné à être enduit. Attention !

Le mortier

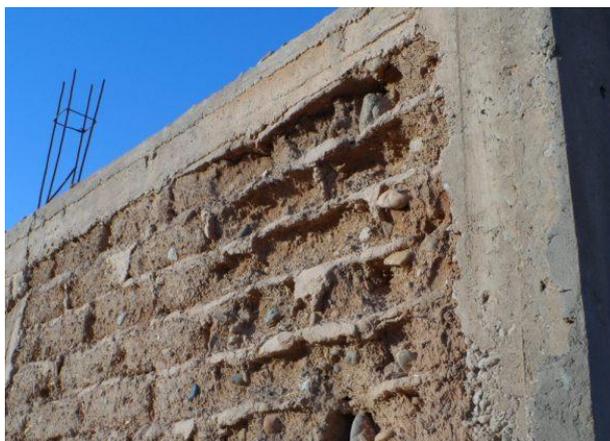
Celui qui maîtrise le mortier maîtrise généralement le métier :

- Le mortier et la brique doivent avoir des caractéristiques comparables.



Mortier un peu trop résistant par rapport aux adobes (Bounou, Maroc)

- Une brique en terre se monte avec un mortier à base de terre et pas avec un mortier ciment-sable.



Adobes et mortier sable-ciment (Mhamid, Maroc)

- Une brique en terre stabilisée se monte avec un mortier en terre stabilisée.



- Une brique en ciment ne se monte pas avec un mortier en terre.



Briques sable-ciment et mortier terre fibré (Mhamid, Maroc)

Le mortier utilisé est souvent un mortier terre-sable de la même composition que les adobes (souvent sans les fibres) ou légèrement plus résistant. On peut aussi utiliser un mortier léger chaux-sable (7 à 10% de chaux maximum, sinon, le mortier est trop « rigide » par rapport aux briques).

Les briques filées (très argileuses) vendues par la société Barthe peuvent être liées avec un mortier terre/sable0-4(25/75) ou terre/NHL3.5/sable04 (12.5/12.5/75). Source Barthe.

Les adobes fabriquées au Village (allégées) sont montées avec un mortier terre/sable/balle de riz/[lavande](#) qui sert aussi d'enduit de corps.



Mortier Village

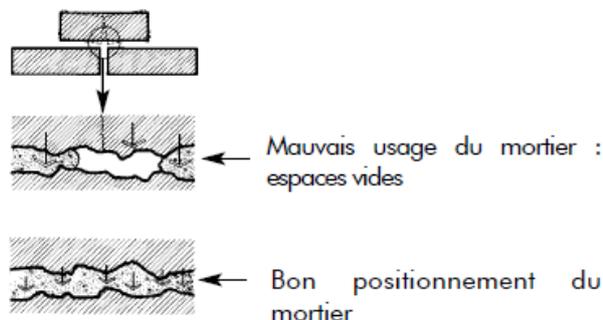
Le mortier sera posé au fur et à mesure de la pose des briques, pour éviter qu'il ne sèche avant de poser les briques (le séchage crée du retrait). Le retrait du mortier doit être minimal (<3%, comme les enduits) pour ne pas créer de fissures aux interfaces briques-mortier.

Le mortier ne comporte dans l'idéal pas de gravier. Le diamètre des grains doit être assez fin (1/4 de l'épaisseur de mortier) pour être à la fois facile à poser, et résistant. Généralement, l'épaisseur du mortier est inférieure à 2 cm.



es adobes

Les adobes sont posés à « bain soufflant de mortier » (le lit de mortier reflue de part et des faces du mur, lorsqu'on pose l'adobe).



Joints verticaux inexistant (Nekob, Maroc)

Essai de tenue du mortier

Pour savoir si votre mortier colle correctement aux briques, un essai simple mais long peut être réalisé. L'essai nécessite que le joint ait fait sa prise. Dans cas d'un mortier stabilisé à la chaux ou au ciment, la prise complète peut durer des semaines.

Premier test

Le premier test consiste à coller 2 briques en les croisant, les laisser tranquille pendant la durée de prise du mortier et suspendre une poubelle vide sur la brique « du dessous » (voir photo). On remplit ensuite le seau de sable/eau jusqu'à ce que le mortier cède. La résistance à la traction de l'interface mortier/brique correspond à la masse du seau, de la brique et du sable/eau. En divisant cette masse par la surface du joint, on obtient une résistance en kg/m^2 .





Deuxième test

Un deuxième test bien adapté pour les mortiers en terre consiste à coller une ou plusieurs briques sur un mur avec le mortier, les adobes étant posés verticalement. Différents mortiers peuvent être testés. On constate au bout de quelques heures le résultat. La brique est-elle tombée, ... ?

Mouiller les adobes

Pour éviter que le mortier ne pompe trop rapidement l'eau du mortier, les adobes doivent être humidifiés en surface. La dernière rangée peut être mouillée au pinceau ou à l'éponge. La brique à poser peut être trempée furtivement dans un seau d'eau. Les briques déjà montées seront réhumidifiées avant de poser une nouvelle rangée de briques dessus.



Découper les adobes

Pour réaliser un appareillage correct, on a besoin de découper les adobes (3/4 ou 1/2). Ça évite de faire plusieurs taille de moules, ou d'acheter des briques non standard. Si les briques ne comportent pas de cailloux, et que le sable a été suffisamment tamisé, vous pouvez normalement les découper à la scie. Ça fait moins de poussière qu'une disqueuse.



De même, on peut percer des trous à la scie cloche pour intégrer des gaines verticales ou des renforts (bambous par exemple).

Combien de rang par jour ?

On a souvent envie que ça avance plus vite. On ne pourra cependant pas monter en un jour un mur d'adobes jusqu'au plafond. On doit laisser du temps pour que le mortier cède son excédent d'humidité aux adobes. Lorsque ca sera fait, la résistance du mortier sera suffisante pour qu'il ne se déforme plus sous le poids des rangées de briques situées au dessus.

La hauteur de mur qu'on peut construire chaque jour va donc dépendre de la capacité d'absorption d'eau des adobes. En toute logique, vous devriez pouvoir monter au moins un mètre par jour.

La verticale des murs fins devra être maintenue pour que le mur n'ait pas tendance à dépocher sur le côté. Pour ça, vous pouvez utiliser des montants verticaux en bois démontables, situés de part et d'autre du mur, de proche en proche. Il ne faut pas chercher à redresser un mur qui se met à pencher en le poussant. Ca décollerait le mortier des briques. N'allez pas trop vite et prenez vos précautions avant d'agir.

Les outils

Les outils nécessaires pour monter un mur en adobes sont les mêmes que ceux utilisés pour monter un mur en briques cuites.

- Truelle, gamate, balayette, malaxeur (sur perceuse, de peintre), bétonnière, grattoir, vaporisateur, tamis, seaux de différentes tailles, brouette, pelle, gants, lunettes de sécurité, masque anti-poussière, film plastique, ruban adhésif, bâches, toile de jute, vieux draps (protection contre le soleil), brosses, escabot, ..., brouette.

Fixer du mobilier

Un mur peu épais ne pourra servir qu'à accrocher des éléments de décorations. Oubliez le meuble de cuisine ! Vous mettriez en péril la stabilité globale du mur.

L'ossature bois d'un mur peu épais, si elle est dimensionnée pour accueillir des charges lourdes, peut servir pour fixer les charges. Pensez à l'aménagement de votre pièce et au choix du mobilier avant de construire le mur. Après, ca sera trop tard !

Les adobes fibrées permettent de fixer très simplement des objets au mur en vissant une vis longue directement dans les adobes (à la visseuse). En l'absence de fibres ou pour des



charges lourdes, vous aurez peut-être besoin de percer et d'utiliser des chevilles à expansion.

La sécurité sur le chantier

Les précautions à prendre lors d'un chantier de montage d'adobes sont les mêmes que celles qu'on prendrait pour maçonner des petits éléments (DTU 20.1).



Les caractéristiques techniques

Le livre « Construire en Terre Crue » donne des valeurs caractéristiques pour les adobes (ces valeurs sont à considérer comme des ordres de grandeurs) :

▷ Thermique :

- Inertie thermique : La forte densité de la terre, sa composition et l'épaisseur des murs en terre font que les habitations en terre possèdent en théorie une très forte inertie thermique. Deux paramètres sont nécessaires pour tirer profit au quotidien de la masse des murs : avoir une surface d'échange importante avec l'air intérieur, maintenir une forte capacité d'échange thermique entre le mur et l'air ambiant (isoler par l'intérieur interdit les échanges thermiques et diminue fortement l'inertie thermique du bâtiment).
- Capacité thermique massique (J/kg.K) : La capacité thermique massique des adobes augmente quand leur masse volumique diminue, puisque les fibres végétales ont une capacité plus élevée que les éléments minéraux (selon « 87CahiersCSTB », 1600 pour de la paille à 30°C/50% HR, contre 830 en moyenne pour de la terre à 20°C/50% HR).

D'après « Construire en Terre Crue », des adobes de 1900 kg/m³ ont une capacité thermique de l'ordre de 1000, adobes de 1300 kg/m³ ont une capacité de l'ordre de 1000 et des adobes de 700 kg/m³ ont une capacité de l'ordre de 1100 à 1300. La capacité du mur est située entre celle des adobes et celle du mortier.

Plus une terre est humide, plus sa capacité thermique augmente (la capacité thermique massique de l'eau est de l'ordre de 4000).

- Conductivité thermique (W/m.K) : Ce qui isole du froid, c'est l'air maintenu sec et immobile. Plus la brique sera légère, plus elle contiendra d'air et plus elle aura une faible conductivité thermique. D'après « Construire en Terre Crue », des adobes de 1900 kg/m³ ont une conductivité de l'ordre de 1, adobes de 1300 kg/m³ ont une conductivité de l'ordre de 0.5 et des adobes de 700 kg/m³ ont une conductivité de l'ordre de 0.2. La conductivité du mur est située entre celle des adobes et celle du mortier.

Plus une terre est humide, plus sa conductivité thermique augmente (la conductivité thermique de l'eau est élevée).



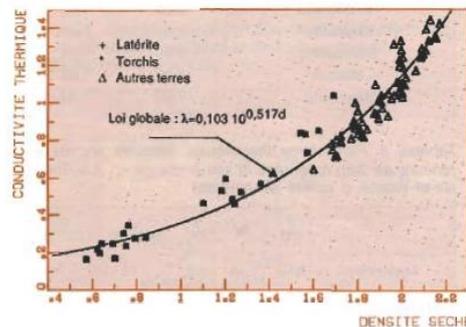


Figure 20 Relation conductivité thermique/densité sèche pour toutes terres (20 °C, état sec)

Tiré de « 87CahiersCSTB »

- ▷ Hygrométrie : En été, une partie de l'énergie apportée par le soleil est consommée par l'évaporation de l'eau du mur et en hiver la condensation de la vapeur d'eau dans le mur lui apporte un peu de chaleur. L'effet de changement de phase de l'eau s'additionne à celui d'inertie thermique du mur pour tempérer le climat intérieur du bâtiment.
 - Coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau « mu » : D'après « Construire en Terre Crue », sa valeur est comprise entre 5 et 10.
- ▷ Perspiration
 - Indice de diffusion de vapeur d'eau « mu » : D'après « Construire en Terre Crue » : 5 à 10
- ▷ Masse volumique : variable suivant les proportions de fibres ajoutées.
- ▷ Résistance mécanique
 - à la compression : variable suivant les proportions de fibres ajoutées.
 - à la traction : très mauvaise
- ▷ Acoustique : la terre crue, par sa souplesse, absorbe mieux les vibrations que le béton. C'est particulièrement le cas pour les basses fréquences. Les murs fins non porteurs réalisés entre des ossatures bois sont moins bons au niveau acoustique que des murs porteurs plus épais, réalisés sans ossature bois. L'acoustique du mur non porteur sera amélioré si on masque les ossatures en bois avec des enduits terre ou des panneaux de terre.
- ▷ Comportement au feu : dépend de la quantité de fibres. En Allemagne, les briques de terre crue ne comportant pas de fibres ou de matières organiques sont classifiées dans les matériaux « non combustibles » (classe A, norme DIN-4102-1-1998). Les briques de plus de 1000 kg/m³ sont classées selon la même norme dans les matériaux « difficilement inflammable » (B1). Pour être classées comme « difficilement inflammable », les briques de moins de 1000 kg/m³ doivent passer les tests demandés par la norme.





Isoler un mur en adobe

Les différentes techniques d'isolation

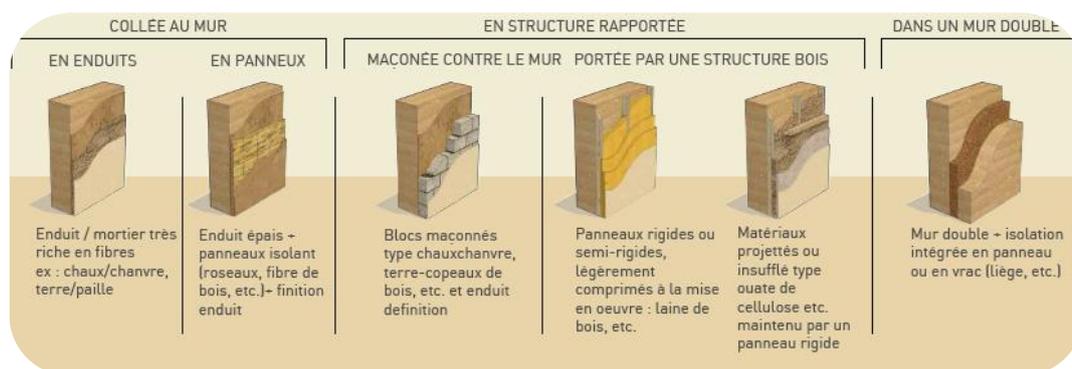
Bas des murs

Les bas des murs doit être traité spécifiquement avec des matériaux adaptés pour faire face aux contraintes supplémentaires auquel on doit faire face (mur plus humide, projection d'eau). Ces matériaux doivent être perspirant. Le liège est une solution souvent utilisée. Attention cependant aux termites.

Reste des murs

L'exemple ci-dessous concerne les murs en pisé, mais il est totalement valable dans le cas des murs en adobes.

(source : <http://www.pise-livradois-forez.org/spip.php?page=expo13>)



Il est important de rappeler qu'un mur en terre respire et doit respirer. Il s'humidifie et relâche son humidité en fonction des conditions climatiques. La vapeur d'eau traverse le mur et va donc aussi vouloir traverser l'isolant qu'on va poser sur le mur. Mettre en place un isolant trop imperméable va bloquer le passage de l'eau, qui va s'accumuler et réduire sa résistance mécanique, ce qui peut aller jusqu'à la ruine du mur.

Les isolants étanches sont donc à proscrire. Les isolants naturels vont être traversés par la vapeur d'eau. Leurs performances vont donc diminuer un peu (l'air humide isole moins que l'air sec). Ils doivent aussi pouvoir résister à l'humidité pour éviter le développement de moisissures.

Isolation par l'intérieur

Isoler par l'intérieur est parfois la seule solution techniquement et économiquement réalisable. L'isolation par l'intérieur abaisse la température des murs et peut créer des désordres (point de rosée, mur humide qui gèle et se fragilise sous l'effet du gel).



L'isolation par l'intérieur exige donc que la face extérieure des murs soit très bien protégée de l'humidité, de la pluie et de la neige (congères). L'épaisseur d'isolant est en pratique limitée à une dizaine de cm pour ne pas trop abaisser la température du mur.

Isolation par des paillassons de roseaux



Panneaux de roseaux collés sur un mur en pisé (photo NaturaBati)

Recette NaturaBâti : Les encadrements des ouvertures doivent être repris pour les mettre en sailli par rapport au mur d'origine. Le déplacement doit ramener l'encadrement au niveau de l'isolant pour limiter le pont thermique. L'isolation par l'extérieur en paillason se fait en plusieurs couches, de l'intérieur vers l'extérieur : mur d'origine / corps d'enduit / paillason / gobetis / corps d'enduit / enduit de finition.

Les panneaux de roseaux doivent être posés sur le corps d'enduit encore frais pour qu'ils y adhèrent solidement et pour réaliser une bonne continuité des couches, puis spités dans le mur. La pose se fait en une seule couche de 5 cm d'épaisseur.

Après fixation des panneaux, ils sont enduits. Dans l'ordre : gobetis (chaux NHL5-sable), corps d'enduit (chaux NHL2-sable) armé de toile (verre, jute ou fibres animales), enduit de finition (chaux aérienne-sable). Les 3 couches sont de plus en plus souples à mesure qu'on approche de la surface.

Isolation par des enduits épais chaux-chanvre

En isolation intérieure, on trouve de nombreux cas d'utilisation d'enduits épais chaux-chanvre.



L'isolation par l'extérieur en botte de paille

Ce paragraphe reprend les informations données par ARESO sur un chantier d'isolation par l'extérieur, en botte de paille, d'une maison en adobe (<http://www.areso.asso.fr/spip.php?article508>). Plus d'informations sont disponibles sur le site internet.

Cette technique est expérimentale.

Les bottes utilisées sont des bottes de faible épaisseur, pressées avec une presse à très petit canal CLAAS - Markant 40 (43,5 cm x 24,5 cm). Les bottes de paille sont collées au mur support avec de la terre argileuse (colle bien onctueuse). La colle est appliquée sur le mur à la main, à la truelle ou à la taloche selon les préférences de chacun. On ne pré enduit que la hauteur d'une botte afin d'avoir une colle bien fraîche lors de la pose des bottes.

Avant d'être posée chaque botte est trempée (sur une seule face) dans de la barbotine de terre. La botte est collée sur chant contre le mur en adobe, et liée au mur, de proche en proche par une fixation mécanique. Ceci a été réalisé à mi-hauteur du mur en :

- Entaillant le dessus des bottes à la tronçonneuse afin d'y ménager une rainure. Cette rainure est réalisée à environ 5 cm du bord intérieur du doublage en paille.
- Engageant en force un liteau dans cette rainure.
- Fixant ce liteau au mur de maçonnerie via des pattes métalliques de 22 cm scellées au plâtre.



Les désordres des murs en adobes

Le mur est-il en terre / adobes ?

Ca n'est pas parce qu'une partie de la maison est en terre que toute la maison est en terre. Ca n'est pas parce que la maison est en briques qu'elle est en terre crue.

Là où on autoconstruit encore en adobes, les moules à adobes servent aussi à fabriquer des briques ciment-sable. Les deux types de briques peuvent cohabiter au sein d'une même maison.



Briques sable-ciment au séchage (Tamegroute, Maroc)



Adobes retournant à la terre et briques sable-ciment en remplissage de mur (Mhamid, Maroc)

Les désordres des murs en adobes sont ceux qui peuvent affecter les murs en briques et ceux qui peuvent affecter les murs en terre crue, à savoir :



Le ruissellement

Origines

- Défaut d'entretien de la toiture
- Infiltration d'eau entre le mur et l'enduit
- Infiltration d'eau au travers de l'enduit
- Dégât des eaux
- Absence de débord de toit

Désordres constatés

- Mur évidé
- Mur humide
- Décollement de l'enduit

Travaux à entreprendre

- Débord de toit
- Reprise de l'enduit
- Rebouchage du mur
- Création d'une pente douce du sol pour éloigner les eaux de ruissellement vers un drain périphérique situé à distance suffisante des murs (plus d'un mètre), afin d'éviter que ces eaux ne créent des problèmes en bas des murs.





La condensation

Origines

- Émission de vapeur d'eau à l'intérieur du bâtiment
- Remontées capillaires
- Enduit trop étanche, enduit fissuré

Désordres constatés

- Décollement de l'enduit
- Mur humide

Travaux à entreprendre

- Décroustage en bas de mur pour laisser sécher le mur.
- Remplacement de l'enduit étanche par un enduit perspirant à la chaux
- Création d'une pente douce du sol pour éloigner les eaux de ruissellement vers un drain périphérique situé à distance suffisante des murs (plus d'un mètre), afin d'éviter que ces eaux ne créent des problèmes en bas des murs et des remontées capillaires





Enduit ciment décollé du mur en terre (France, photo NaturaBati)



Les remontées capillaires

Origines

- Manque d'entretien de la végétation en bas des murs.
- Murs (extérieur ou de refend) sans soubassement, film goudronné ou fondations
- Caves mal ventilées, caves comblées, sol de cave étanchéifié
- Rajout d'une terrasse
- Trottoir imperméabilisé ou rehaussé
- Comblement d'un puits ou d'un fossé de drainage
- Création de conduites/fossé d'évacuation d'eau sous ou à proximité du mur (en cas de fuites).

Désordres constatés

- Mur humide en bas de mur
- Apparition de salpêtre ou de mousses/herbes dans les murs non protégés des remontées capillaires.



Travaux à entreprendre

- Décroustage du bas des murs (si les murs ont malheureusement été enduits au ciment), puis du reste du mur. Suivant l'état de délitement de la terre (salpêtre), remplacement progressif de la terre souillée par des adobes et pose d'une étanchéité en bas de mur sur un support résistant à l'eau.
- Installation d'un drain périphérique intérieur relié au drain extérieur. Le drain extérieur est placé plus profond que le drain intérieur pour éviter que les remontées d'humidité ne soient amplifiées.
- Installation d'un drain extérieur
- Ventilation des caves
- Reprise de la terrasse.



Remontées capillaires sur un mur en pisé

L'évacuation de l'humidité du mur peut prendre beaucoup de temps, et pour la pérennité du mur, il faut savoir prendre le temps de le laisser sécher avant de ré-enduire. L'assèchement peut être réalisé au travers d'adobes sacrificielles.

Les désordres structurels

Parmi les désordres structurels, on peut avoir affaire à des problèmes de fissurations, de tassements différentiels (surtout sur les bâtiments originellement à vocation agricole, de par leur taille), de creusements de galeries (insectes et rats).

Origines

- Insuffisance ou absence de fondations
- Gonflement des argiles
- Imperméabilisation des sols



- Réhausse du sol extérieur (poussée)
- Arbres trop près du mur (racines)
- Mauvais appareillage
- Modifications excessives du bâtiment
- Surcharge ponctuelle (sous une poutre, ajout de balcons)
- Absence de chaînage
- Mélange de matériaux d'élasticité différente dans le sens des charges
- Changement climatique
- Attaque de « nuisibles » sur les murs exposés au sud (abeilles) ou présentant des remontées capillaires (rats, souris).

Désordres constatés

- Fissuration
- Trous à la surface, galeries dans les murs

Travaux à entreprendre

- Assainir la périphérie du bâtiment (drains, terrasses, ...)
- Vérifier si la fissure évolue au cours de l'année, au rythme des saisons. Si aucune évolution n'est constatée, on peut reboucher la fissure avec de la terre coulée.



Rebouchage d'une fissure apparue dans un mur en pisé (NaturaBati)



- Planter des arbres à proximité de la maison pour pomper une partie de l'eau du sol. Attention cependant à ce que les racines ne viennent détériorer les fondations.
- Renforcer le mur si nécessaire
- Pose d'aiguilles en acier inox enrobées de mortier chaux (ou ciment) pour reprendre les efforts de traction qui ont conduit à la formation de la fissure. Les aiguilles sont positionnées perpendiculairement à la fissure, dans des entailles creusées profondément au sein du mur, sur au moins 1 mètre de part et d'autre de la fissure.
- Poser un linteau de décharge sous une poutre
- Installer des films goudronnés pour mettre fin aux remontées capillaires.



Le bombement ou écartement du mur

Origines

- Charges trop importantes de la charpente

Désordres constatés

- Bombement du mur
- Ecartement des murs

Travaux à entreprendre

- Décharger le mur temporairement
- Chaîner le mur ou le reconstruire
- Pose de tirants



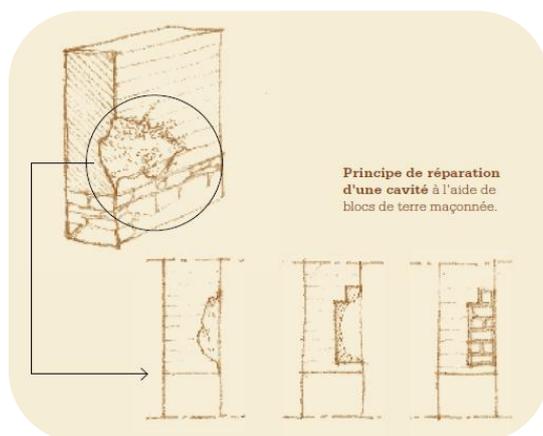
Les adobes au secours des ouvrages en terre

Reboucher une cavité

Les ouvrages en terre mal entretenus ont parfois besoin d'être repris à certains endroits. Les adobes, parce qu'elles sont montées sèches, permettent de réparer rapidement les murs en terre sans être confronté aux problèmes de retrait au séchage.

Pour réparer une cavité, il ne faut pas hésiter à recreuser le mur pour créer une bonne assise horizontale à la base et dans la partie haute et sur les côtés de la cavité, pour que la réparation s'encastre efficacement dans le mur. La réparation doit permettre de reprendre les descentes de charges et de les transmettre correctement à la partie du mur située en dessous de la réparation. La cavité recreusée devra être mouillée (sans que ça ne ruisselle) avant d'être comblée avec de la terre. Le raccord entre la partie en adobe et la partie saine du mur est fait lorsque la partie réparée a fait son retrait.

Si l'intégralité du bas du mur doit être creusée (à cause de remontées capillaires et de la présence de salpêtre fragilisant la bonne tenue du mur), le mur devra être creusé et reconstruit en plusieurs fois, en laissant des portions de mur intactes entre chaque portion creusée pour que le mur ne s'effondre pas. De même, il va falloir attendre que la portion réparée sèche (pour qu'elle est acquies sa pleine résistance à la compression). Une fois les zones réparées sèches, on peut creuser les zones restantes, les réparer, les laisser faire leur retrait et enfin faire le raccord entre les réparations. Un enduit terre pourra ensuite être appliqué sur les adobes pour homogénéiser la finition.



Dans le cas de remontées capillaires, on devra les stopper en installant un film goudronné en bas du mur. Le film doit être posé sur un support non sensible à l'humidité (pierre, briques cuites, béton, ...). Si vous posez le film sur de la terre, l'humidité restera bloquée sous le film et la terre perdra sa cohésion en dessous du film et vous n'aurez rien réparé, vous aurez peut-être même aggravé les choses. Il est donc souvent nécessaire de creuser plus bas que la zone abimée pour installer le film goudronné.



Assécher les murs en terre

Un mur en pisé trop humide peut être asséché par l'intermédiaire d'adobes sacrificiels. Ces adobes sont faits avec un mélange plus sableux pour qu'ils servent de buvard et qu'ils extraient l'humidité vers la surface du mur. Pour ne pas trop fragiliser le mur, on ne creusera le mur que sur une faible hauteur/épaisseur. Ces adobes seront remplacés une fois le mur asséché.



Et l'environnement dans tout ça ?

Dans l'absolu, construire pollue un peu, beaucoup, passionnément, à la folie suivant comment on s'y prend :

▷ Fabrication des adobes

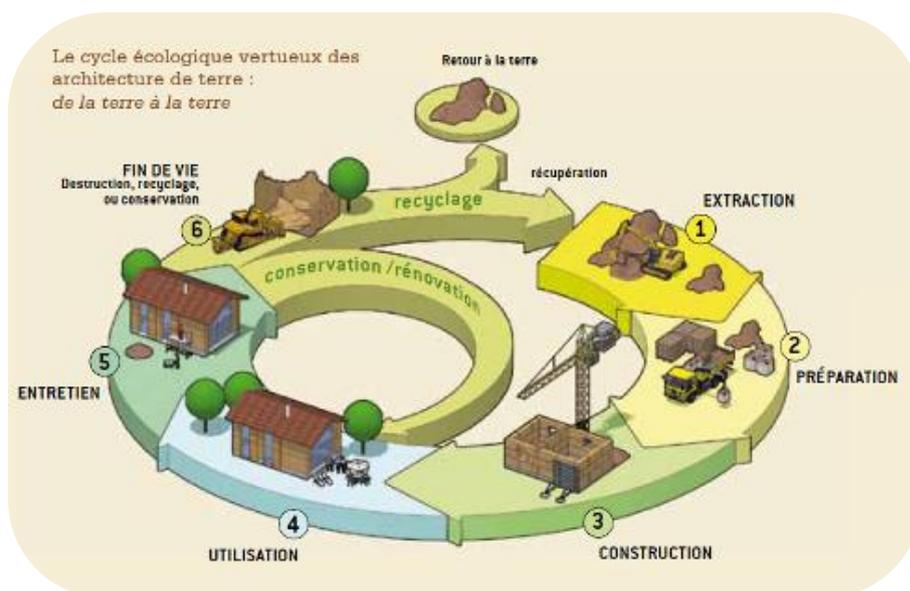
- ⇒ Si vous faites vos adobes manuellement, avec la terre de votre terrain, vous aurez du mal à faire plus écologique.
- ⇒ Si vous faites vos adobes à partir de matière première achetée, le coût environnemental sera celui du transport et de la mécanisation de l'extraction, du tamisage, ...
- ⇒ Si vous achetez vos adobes, pensez à demander où elles ont été fabriquées, si la production est très mécanisée ou pas et la composition des adobes. Y a-t-il de la poudre de perlimpinpin ou est-ce seulement de la terre et des fibres végétales ?

▷ Construction du mur

- ⇒ Si vous faites vous-même le mur, chez vous, le coût énergétique du transport est nul
- ⇒ Si vous faites faire votre mur, d'où vient le personnel ? est-il organisé efficacement ?
- ⇒ La mise en œuvre maximise-t-elle la durée de vie potentielle des adobes ?

Dans tous les cas, l'absence de liant (chaux ou ciment) dans les adobes et dans le mortier de pose place les adobes devant les briques de terre compressées, souvent stabilisées et posées avec un mortier à la chaux. La fabrication et la pose des BTC stabilisées peut consommer autant de liant qu'un parpaing, qui ne jouit pourtant pas de la même aura !

En fin de vie, la terre à adobes n'a pas à être retraitée, concassée et dépolluée.



Cycle de vie d'un bâtiment en terre (source PNR Livradois Forez)



Les prix pratiqués

Les prix donnés ici sont à prendre avec des pincettes. La demande sur les adobes et sur les matières première n'est pas suffisante pour que les prix se soient homogénéisés.

La matière première

Prix HT (ordre de grandeur)	En sac	En vrac
Terre argileuse sèche au détail	10 € / 25 kg	150 - 200 € / tonne
Sable	5 € / 25 kg	30-60 € / tonne
Argile non broyée		30 € / tonne
Argile sèche en poudre	40 € / 25 kg	150 – 200 € / tonne
Paille broyée grossièrement		70 € / m ³
Paille broyée finement	25 € / 25 litres	100 - 180 € / m ³

Les adobes à l'achat

Les adobes vendus dans le commerce ont souvent le format des briques cuites, puisqu'elles sont produites par les briquetiers. Le prix au mètre carré d'un mur en adobe est généralement comparable à celui d'un mur en BTC, mais on doit rajouter le coût de l'enduit qu'il faudra appliquer sur les adobes. Le montage des adobes étant plus rapide que celui des BTC, ça allège légèrement la facture.

Prix HT (ordre de grandeur) L*I*h	La brique	Le m ² (ép =l)
Adobe allégée pour mur ép. 24 cm		60 €
Adobe 25*12*7.4	1.1 à 1.3 €	50 à 65 €
Brique filée 22*10.5*5	0.75 €	50 €
Brique filée mur chauffant 33*10*10	2.50 €	75 €
Brique filée emboitable 25*10*7	1.4 €	75 €

La main d'œuvre

Faire faire un mur en adobe, c'est avant tout rémunérer le travail manuel de professionnels. Le temps de pose dépend bien sur de la taille des adobes.



Le tarif indicatif 2009 donné pour la pose des briques filées Helioterre (Tellus DD, 28 briques/m²) est de 80 € HT/m², fourniture du mortier compris.

Pour un mur non porteur sur une épaisseur de brique, on peut compter 1 heure à 1h30 de travail par m², sachant qu'on doit réaliser un étage en deux fois minimum. Cette valeur dépend bien entendu du format des briques ! Quand le mur est destiné à être enduit, il n'est pas nécessaire de soigner à outrance la finition des joints, ça permet de gagner du temps.

Pour un mur non porteur en remplissage d'une ossature bois, on comptera ¼ d'heure de plus par m², pour tenir compte des découpes supplémentaires et de la liaison avec l'ossature (latte triangulaire, raidisseur horizontal et/ou vertical).



Un point réglementaire

La garantie décennale

Pendant les dix ans après la réception de l'ouvrage, le professionnel est responsable des dommages qui compromettent la solidité de l'ouvrage, qui empêche l'utilisation normale de l'ouvrage ou qui affecte la solidité des équipements qui font corps avec le gros œuvre.

Depuis 1978, le professionnel est obligé de souscrire une assurance décennale pour couvrir la garantie décennale due au client.

L'assurabilité, comment s'y retrouver

(Extrait de la gazette d'ARESO no47)

Pour prendre la décision d'assurer ou pas, les assureurs s'appuient sur la notion de techniques « courantes » et « non courantes ». C'est la position de la « Commission Prévention Produit » (C2P) qui détermine le statut de la technique. La C2P est l'intermédiaire entre les professionnels et les assureurs. Elle est une émanation de l'« Agence Qualité Construction » (AQC) et travaille sur les problématiques du risque et de la sinistralité.

Sur les douze membres qui la composent, cinq sont des représentants des sociétés d'assurance. Elle classe les produits et les procédés de construction en fonction des risques de sinistre. Si elle considère ne pas avoir suffisamment de recul ou de données sur une technique, ou bien si le taux de sinistralité lui semble trop élevé, elle peut décider d'une mise en observation, qui a pour conséquence concrète de rendre l'obtention d'une assurance pour le professionnel plus chère, ou plus difficile (voir impossible) à obtenir. À l'inverse, les familles de produits ou les techniques qui sont sur sa « liste verte » (consultable sur le site de l'AQC) seront classées par les assureurs dans « techniques courantes » et donc assurées sans problème.

Pour être sur la liste verte, l'existence de textes de référence (« Documents techniques unifiés », « Règles professionnelles » ou « Avis techniques » par exemple) est une condition nécessaire (mais non suffisante, puisque la C2P doit encore donner son aval).

L'écriture de Règles professionnelles de la construction en terre crue validées par la C2P permettrait donc de faire passer les différentes techniques de « non-courantes » à « courantes » pour les assureurs. Les conséquences en seraient importantes : les assureurs seraient obligés d'assurer au lieu de discuter au cas par cas. Cependant, la C2P peut décider de poser certaines conditions avant de valider les Règles Professionnelles qui permettront le passage en technique courante.



Les textes de référence

(Extrait de la gazette d'ARESO no47)

Il est nécessaire de distinguer les textes qui relèvent du domaine réglementaire de ceux qui relèvent du domaine contractuel

Domaine réglementaire : les lois et leurs textes d'application (décrets, arrêtés et circulaires) définissent les règles obligatoires pour tous. Elles sont élaborées par les services de l'État. On les trouve dans différents codes :

- Le Code de la construction et de l'habitation (CCH) intègre la réglementation technique : acoustique, accessibilité, thermique, sismique, incendie.
- Le Code du travail traite des règles relatives à la sécurité des locaux professionnels.

Domaine contractuel : l'application de textes de référence appartenant au domaine contractuel (DTU, Avis techniques, Règles professionnelles entre autres) résulte d'un accord passé entre le maître d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre.

Les textes de référence du domaine contractuel relèvent de la norme. Excepté lorsqu'il est rendu obligatoire par une réglementation, le respect des normes dans les marchés privés n'est en théorie pas obligatoire et ne relève que de l'application volontaire. Cependant le respect des normes est le plus souvent très nécessaire pour obtenir une assurance décennale qui, elle, est obligatoire...

On voit que la question de l'assurance pousse vers le respect des normes dans les marchés privés. En marché public, les Normes françaises homologuées, c'est à dire les normes ayant reçu une sanction officielle des pouvoirs publics, sont d'application obligatoire.

Attention : certaines normes sont rendues obligatoires à tous les marchés (publics ou privés) par arrêtés ministériels. Elles ont alors la même valeur que les textes réglementaires.

Les « DTU », les « normes produits » et les « règles professionnelles »

(Extrait de la gazette d'ARESO no47)

Les DTU (devenu NF DTU depuis 1989) constituent des cahiers des charges types des règles de l'art pour la construction. Les spécifications techniques pour la réalisation des travaux sont rédigées par les professionnels de la construction sous l'égide de l'AFNOR (Association française de normalisation). Elles sont une synthèse entre les Normes produits et les Règles professionnelles, c'est à dire qu'elles concernent à la fois les caractéristiques des matériaux et la mise en œuvre.



Aujourd'hui, les DTU peuvent avoir différents statuts :

- « Norme française homologuée » (auquel cas ils sont d'application obligatoire dans les marchés publics),
- « Norme expérimentale », c'est à dire soumise à une période de mise à l'épreuve,
- « Fascicule de documentation », à caractère essentiellement informatif.

Les Normes produits fixent leurs caractéristiques et/ou la façon de les mesurer. Le projet est élaboré par un comité technique et soumis à une enquête publique dans la perspective de son homologation.

Les Règles professionnelles s'intéressent plus spécifiquement à la mise en œuvre d'une technique ou d'un matériau. Elles sont élaborées par les filières professionnelles du bâtiment. Elles sont le « socle naturel pour la conception des futurs DTU », selon la C2P. Un Avis technique est demandé par un fabricant pour un produit donné. Le dossier est instruit par le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) ou par d'autres laboratoires agréés COFRAC.

Les textes sur lesquels s'appuyer

Montage des adobes

En France métropolitaine, on ne construit pratiquement plus en adobes (coût de la main d'œuvre). Le marché est surtout celui de la cloison intérieure, lourde pour le rez-de-chaussée et légère pour les étages. Un mur en adobes se monte comme n'importe quel mur en briques, en respectant le DTU 20.1 (« maçonnerie de petits éléments ») ou le DTU 20.13 (« cloisons en maçonnerie de petits éléments »).

Les adobes sont trempés très brièvement dans l'eau (1 seconde suffit) et assemblés immédiatement après. Sans ca, les briques pomperaient trop vite l'eau du mortier.

Les règles professionnelles allemandes « Lehmbau regeln DVL 2008/1 » détaillent les exigences concernant les briques et les mortiers de terre, et la méthode de dimensionnement de murs porteurs en terre crue, dans la limite de bâtiments à 2 étages et ayant au maximum 2 logements. Deux nouvelles normes son parues en 2013. Elles ne concernent que les briques et mortiers fabriqués industriellement : DIN 18945 :2013-08 (« Earth blocks - Terms and definitions, requirements, test methods ») et DIN 18946 (« Earth masonry mortar - Terms and definitions, requirements, test methods »).

Il n'existe pas encore en France de certification pour la construction en adobes (« avis technique », « règles professionnelles », « DTU »).



A la fin de la seconde guerre mondiale, 3 documents officiels ont néanmoins été publiés dans le cadre de la reconstruction du pays :

- REEF DTC 2001, Béton de terre et béton de terre stabilisée, 1945
- REEF DTC 2101, Constructions en béton de terre, 1945
- REEF DTC 2102, Béton de terre stabilisée aux liants hydrauliques, 1945

Pour pouvoir proposer une garantie décennale sur une construction en adobes, les artisans peuvent passer par une « Appréciation Technique d'Expérimentation » (ATEX) si le chantier est conséquent, et trouver un assureur qui accepte d'assurer la construction en adobes en « technique non-courante ».

Sans ça, le client aura à assumer les risques liés à la technique, ou revoir son projet pour que les adobes servent de matériau de remplissage d'une ossature porteuse classée dans les « techniques courantes ». Il est très fortement recommandé de consigner ça par écrit.

Enduits sur adobes

La NF DTU 26.1 (« travaux de bâtiments – enduits aux mortiers de ciment, de chaux et mélange de plâtre et de chaux aérienne ») ne traite pas des spécificités des supports composés de terre crue. Des règles professionnelles ont été écrites pour ce type de support (règles professionnelles « enduits sur supports composés de terre crue ») et sont publiées aux éditions Le Moniteur. Ces règles viennent en complément du DTU 26.1.



Ils l'ont fait en adobes !



Pyramide située à El-Lahoun (Egypte)
Composée de millions d'adobes
Recouverte de parement de pierre calcaire
1800 avant JC



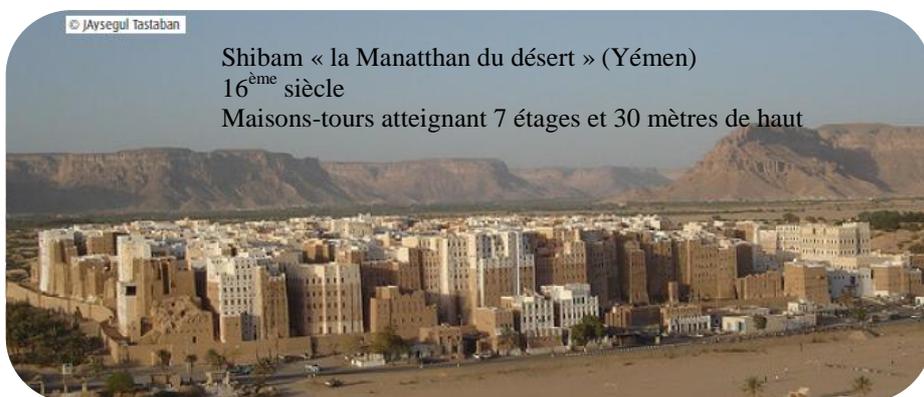
La Hueca del Sol (Pérou), composée
de millions d'adobes
342 m de long, 159 m de large, 45 m
de haut



Djenné (Mali)
3^{ème} siècle avant JC



San Francisco de Asis
Nouveau-Mexique (Etats-Unis)
1800 après JC



Shibam « la Manatthan du désert » (Yémen)
16^{ème} siècle
Maisons-tours atteignant 7 étages et 30 mètres de haut



En dehors des cloisons, l'aventure continue



Ecocentre Sidi Amor (Tunisie)



Construction de bâtiments en adobes
Technique de la voûte nubienne

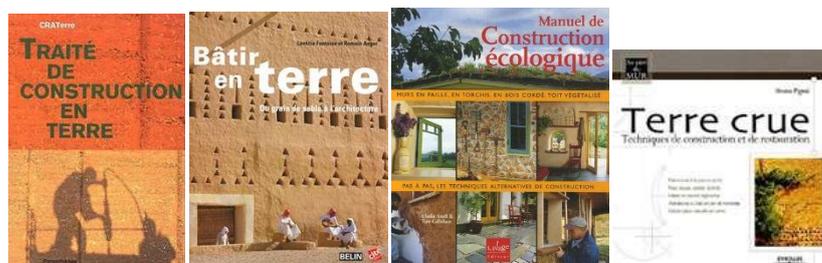


Le Village, 6 pavillons sont construits
avec des voûtes nubiennes
(photo d'une maquette)



Un peu de lecture

Références bibliographiques



On aime aussi



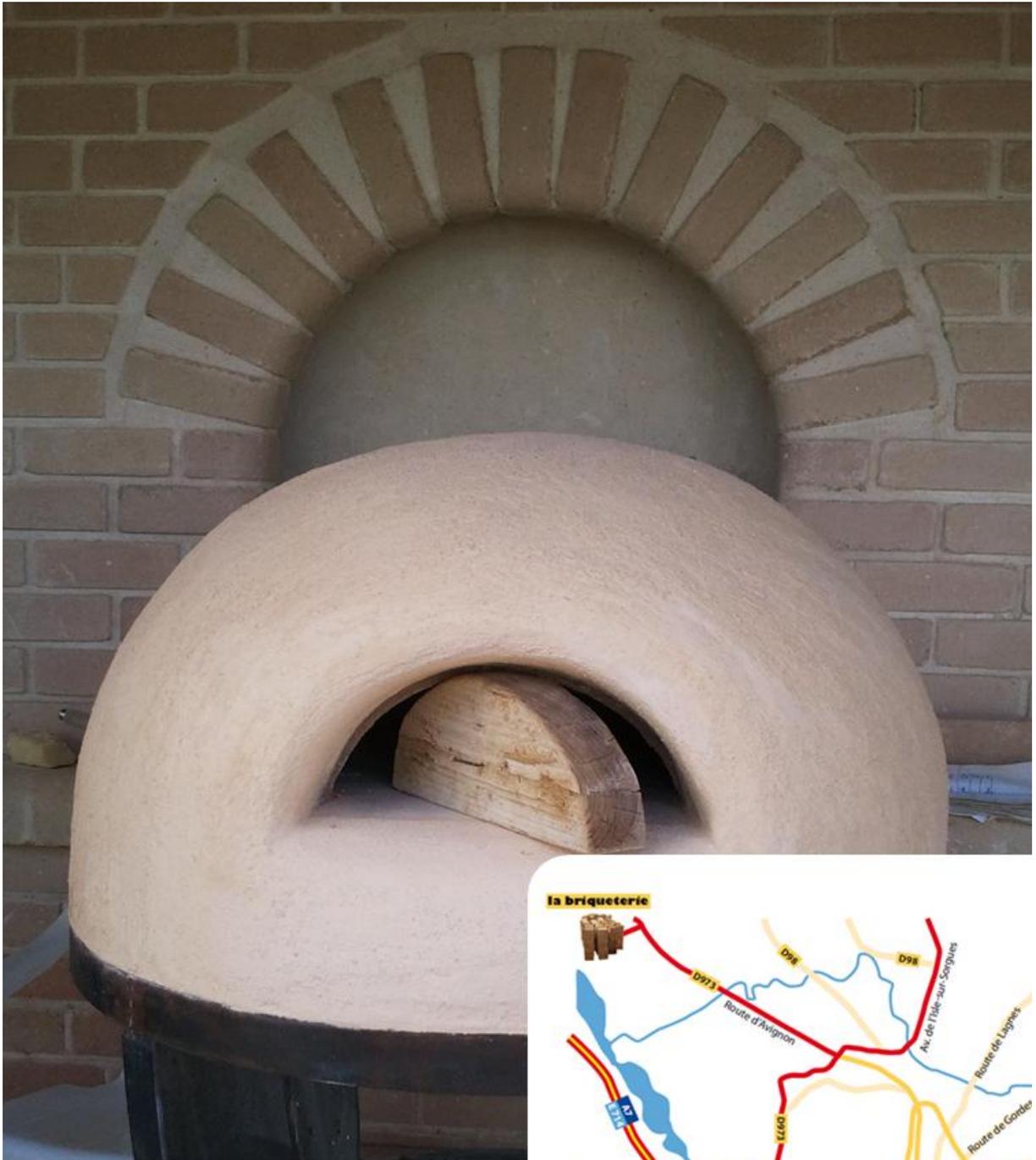
Notes personnelles

Lined area for personal notes, consisting of multiple horizontal dashed lines.



Lined writing area consisting of multiple horizontal dashed lines for text entry.





CONTACT

Association Le Village
BP 56 – 84302 Cavaillon Cedex
Tél : 04 90 76 27 40

Vincent Delahoye (directeur)
Alain Micoulet (encadrant BTC)
Jean-Paul Pissot (encadrant maçonnerie/2nd œuvre)

associationlevillage@wanadoo.fr
www.associationlevillage.fr

