



Le pisé

le
champ
des
artisans



Révision

Auteur	Date	Révision
Pierre DELOT		Version de travail

Contact

Pierre Delot

France

06 25 05 81 04

pierre.delot@hotmail.fr

www.lechampdesartisans.fr

Travaille à www.associationlevillage.fr

La technique du pisé consiste à compacter de la terre minérale assez caillouteuse dans des coffrages temporaires pour former des murs. La terre à compacter doit être légèrement humide et avoir la consistance d'un « crumble ».

Traditionnellement, les murs en pisé se faisaient au printemps et à l'automne, période de l'année où la teneur en eau de la terre est la plus adaptée. Néanmoins, dans un monde rural, la construction d'un mur en pisé était aussi très dépendante du calendrier des travaux agricoles qui pouvaient accaparer une bonne partie de la main d'œuvre. La terre était déversée dans des coffrages en bois à l'aide de seaux, répartie en couches fines, et damée à la force des bras à l'aide d'un pisoir.

Aujourd'hui, la terre peut être compactée à l'aide d'un pisoir pneumatique, la terre peut être malaxée et homogénéisée au motoculteur, à la bétonnière ou dans un godet malaxeur, transportée et déversée dans le coffrage à l'aide d'un tapis roulant ou d'un tractopelle.

Le mur peut être décoffré immédiatement après damage. La mise en œuvre est souvent trop longue pour être économiquement acceptable dans les pays industrialisés. C'est pourtant un mode constructif 100% naturel, 100% écologique, 100% réutilisable, 100% local, tout ça en consommant un minimum d'énergie (mais beaucoup d'huile de coude).

Pisé vient du latin « pinsare », se traduit par « rammed earth » en anglais et « tapia » en espagnol. Cette technique a été employée pour les constructions les plus simples comme pour les ouvrages monumentaux.



Sommaire

Une architecture située	9
Faire au mieux avec ce qu'on a sous la main.....	9
Le grand chamboulement.....	9
Le pisé, terre comprimée	12
Comprendre les matières.....	14
L'eau	14
La terre à pisé	14
Terre végétale ≠ Terre à construire	14
La composition de la terre pour construire	14
Les cailloux, graviers et sables	15
Les fines et les argiles.....	17
Les fibres	19
Les stabilisants	19
Comment choisir sa terre argileuse ?	21
En acheter dans les magasins de matériaux écologiques.....	21
En trouver ailleurs.....	21
En prélever pour les essais.....	21
Tester la terre pour mieux la connaître	22
La constitution de la terre à pisé	25
Trop argileuse	26
Trop sableuse.....	26
Trop caillouteuse	26
Pas de mottes sèches.....	27
Des exemples	27
Préparer les matériaux	29
Stockage de la terre	29
Préparer la terre à pisé	30
Broyer la terre.....	30
Tamiser la terre.....	31
Remplissage des seaux	33
L'état hydrique de la terre	34
Malaxer et humidifier une terre trop sèche	35
Humidifier une terre trop sèche	35
Test de chantier pour trouver le bon état hydrique	37
Avec quoi malaxer le mélange ?.....	38
La bétonnière	38
Le malaxeur à béton	39
Le godet du tracteur ou du tractopelle	39
Le godet malaxeur.....	39
Les banches / coffrages	40
Un peu de vocabulaire	40
Les coffrages traditionnels grimpants.....	40



Sans planches ni clés	40
Avec planches, sans clés en partie basse	41
Avec planches, avec clés « en dur » en partie basse	42
Les clés « en dur »	42
Avec planches, avec clés « en dur »	43
Banche lyonnaise et banche auvergnate.....	43
Les coffrages traditionnels grimpants modernisés	45
Se servir des clés comme échafaudage	45
Se servir d'un portique sur roue.....	46
Utilisation de tiges à coffrage fileté.....	47
Utilisation de tuyaux entretoises.....	48
Utilisation de panneaux de coffrage en bois	49
Coffrage intégral « maison » de Craterre.....	50
Utilisation de tuyaux et de serre-joints à tuyau.....	50
Les fourches à coffrer et le système griffe/clavette	51
Des serre-joints à coffrage	52
Protéger son coffrage	53
Des coups de dame	53
Des déformations	53
Faciliter le montage/démontage.....	54
Des poignées	54
Des cales.....	54
Coffrer les angles	55
Coffrage courant + module d'angle	56
Coffrage d'angle spécifique.....	56
Coffrage d'angle intégral	56
Les coffrages perdus.....	57
Les coffrages à béton NOE	58
Les principes constructifs	60
Conception traditionnelle et conception contemporaine	60
Le pisé préfabriqué	60
Principe.....	60
A grande échelle.....	60
L'appareillage.....	62
Appareillage type « briques ».....	63
Appareillage type « trumeaux ».....	66
Les raccords entre banchées (appareillage type « briques »).....	67
Le raccord avec la banchée du dessus.....	67
Le raccord avec la banchée d'à côté.....	68
Un bonne toiture parce qu'il pleut.....	70
Mécanisme d'endommagement par l'érosion (mur de clôture)	70
Une partie de la solution : le débord de toiture !.....	73
Exemples de chapeaux sur des murs de clôture et sur le parapet de toitures végétalisées	77
Et parce qu'il ne pleut pas toujours à la verticale	80
Stabiliser à la chaux	80
A la surface du mur extérieur	80
Dans la masse	82
Intégrer des bandes horizontales saillantes	83



Des bases saines et solides pour mettre le pisé à l'abri de l'eau	83
Les fondations.....	83
Le soubassement.....	84
Le rejaillissement d'eau.....	85
Protéger le premier lit de pisé en le stabilisant.....	86
Empêcher les remontées capillaires.....	87
Évacuer l'eau, d'où qu'elle vienne	89
L'eau de pluie.....	89
L'eau du sol intérieur.....	90
La végétation.....	91
Les autres règles	92
Le fruit.....	92
Hier.....	92
Aujourd'hui.....	94
L'épaisseur des murs.....	94
L'élancement.....	95
L'élévation des murs.....	95
La lisse haute.....	95
Les ouvertures.....	96
Aujourd'hui dans le neuf.....	97
Fixation des éléments de façade.....	99
Des pré-cadres en bois.....	99
Aujourd'hui en rénovation, le percement des ouvertures.....	100
Quelques recommandations structurelles.....	100
Le mur est-il fissuré ?.....	101
Comment faire ?.....	102
Renforcer pour prendre en compte du risque sismique	105
Renforcer pour reprendre les contraintes mécaniques	106
Augmenter la résistance en compression.....	106
Augmenter la résistance à la traction.....	107
Renforcer les raccords entre banches.....	107
Le chaînage horizontal.....	107
En béton armé.....	107
En bois, par les planchers et la charpente.....	108
Chaînage vertical.....	109
La forme.....	110
Renforcer mécaniquement les angles.....	111
Casser les angles.....	111
En stabilisant la terre ou avec d'autres matériaux.....	111
Renforcer pour résister aux contraintes thermiques.....	114
Intégrer les gaines techniques	115
Les finitions	117
Stabiliser la surface à l'eau.....	117
Les enduits.....	117
La décoration.....	117
Transporter et charger la terre dans les banches	119
Avec une « auge » à fond amovible.....	121
Pas trop de cailloux sur les bords.....	122



Piser / damer	123
Piser à la main	125
Piser au fouloir/pisoir pneumatique.....	126
Piser au compacteur à plaque vibrante	128
Les problèmes qui vont survenir à la construction	129
Des coffrages qui montent	129
Garder sa verticale et suivre une ligne droite	131
Garder sa verticale	131
Suivre une ligne droite.....	134
Un travail saisonnier.....	135
Protéger le mur en construction	135
Eviter un séchage trop rapide.....	136
Les trous de clés.....	138
Pas trop près des extrémités	138
Enlever les clés en bois.....	138
Au dessus des clés	138
Attendre avant de charger le mur	139
L'avis des occupants qui râlent, ça compte aussi	140
Accrocher dans un mur en pisé, c'est galère	140
Sécurité sur le chantier	142
Les caractéristiques techniques	143
Contrôle des caractéristiques	145
Masse volumique	145
Retrait.....	145
Isoler un mur en pisé	146
Et l'environnement dans tout ça ?	147
Les pathologies dans le désordre.....	148
Le mur est-il uniquement en pisé ?.....	148
Les pathologies du pisé, avant tout une histoire d'eau	149
Plus y'en a, moins c'est costaud	149
A l'origine, un mur sain, aujourd'hui, un mur en péril	150
Efforts latéraux	150
Les plantes grimpantes ou trop proche du mur.....	151
Origines	151
Désordres constatés	151
Travaux à entreprendre	152
Le ruissellement	152
Origines	152
Désordres constatés	153
Travaux à entreprendre	153
La condensation.....	153
Origines	153
Désordres constatés	153
Travaux à entreprendre	154
Les remontées capillaires, les infiltrations d'eau et les pieds dans l'eau.....	154



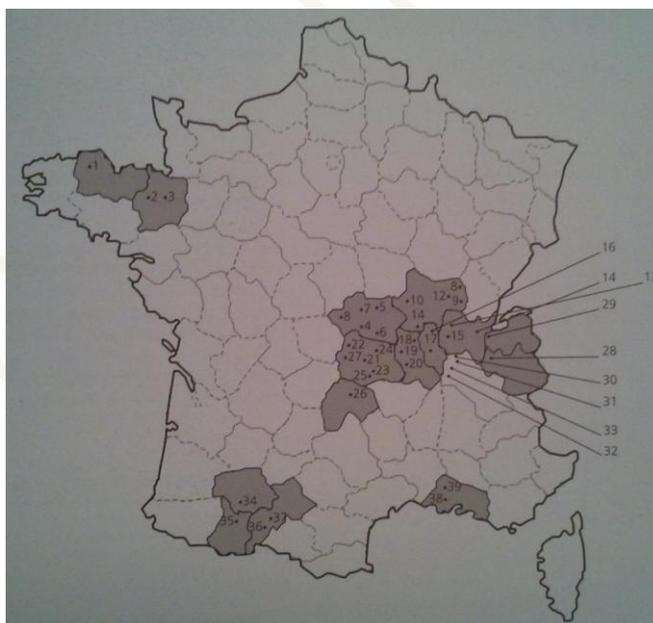
Origines	154
Désordres constatés	157
Travaux à entreprendre	158
Le salpêtre.....	158
Origines	158
Désordres constatés	160
Travaux à entreprendre	160
Les fissurations, le bombement et l'écartement du mur	161
Origines	162
Désordres constatés	164
Travaux à entreprendre	164
Les nids de rats, les oiseaux et les insectes.....	167
Origines	167
Désordres constatés	168
Travaux à entreprendre	168
La rénovation du patrimoine en pisé.....	168
Décrouter et remplacer un enduit au ciment	168
Réparer une base légèrement érodée.....	169
Assécher un mur en pisé	169
Reboucher une cavité dans une partie courante de mur	169
Reprendre l'intégralité du pisé au dessus du soubassement.....	170
Sans rehausser le soubassement.....	170
En réhaussant le soubassement.....	170
Fixer un coffrage dans un mur en pisé.....	171
Les planchers en pisé	172
Le séchage définitif du mur	172
Les prix pratiqués	173
La matière première	173
La main d'œuvre	173
Tout compris.....	174
Un point réglementaire	175
La garantie décennale.....	175
L'assurabilité, comment s'y retrouver	175
Les textes de référence.....	175
Les « DTU », les « normes produits » et les « règles professionnelles »	176
Les textes sur lesquels s'appuyer	177
Ils l'ont fait en pisé !	178
Aujourd'hui aussi !.....	180
Un peu de lecture	181
Références bibliographiques	181
On aime aussi.....	181
Notes personnelles	182

Une architecture située

Faire au mieux avec ce qu'on a sous la main

Aujourd'hui, la terre est 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.

Les maisons en pisé utilisant des pierres ou des briques cuites pour renforcer la structure dans les zones exposées (angles, ...) étaient celles des plus aisés, qui pouvaient se payer le transport, la taille ou la cuisson de tels matériaux. La chaux était utilisée avec parcimonie à cause de son prix. De quoi interroger nos modes de consommations actuels.



Régions d'utilisation traditionnelle du pisé, en France métropolitaine

Source : « terre crue »

Le grand chamboulement

Le guide « recommandations » à l'usage du diagnostiqueur V3 faisant des DPE (diagnostic de performances énergétiques) présente l'évolution des modes constructifs au cours du siècle dernier et les raisons qui ont conduits à çà. Comme c'est très bien fait, ce paragraphe reprend mot pour mot les informations données dans le guide.





Évolution des modes constructifs

Les événements importants qui ont marqué les pratiques constructives de cette période transitoire sont :

- La grande grève de 1840 des ouvriers charpentiers, grève qui a amorcé l'apparition et le développement des planchers en fer, plus légers, nécessitant des maçonneries moins épaisses (donc apportant moins d'inertie thermique) et permettant une mise en œuvre plus rapide,
- La disparition des savoir-faire après l'hécatombe humaine de la première guerre mondiale, en particulier de celle des artisans de la construction (maîtrise des détails constructifs, assemblages et dimensionnement de matériaux pour obtenir une meilleure performance et une plus longue conservation). Les charpentiers-piseurs ont été affectés au boisage des tranchées,
- L'apparition de nouveaux matériaux de construction manufacturés plus facilement mis en œuvre (planchers en béton armé, structures poteaux-poutres, parpaings en terre cuite ou en béton) ; certaines de ces techniques constructives pré industrielles présentent de grandes faiblesses (comme les bétons de mâchefer très sensibles à l'humidité),
- Les contraintes d'urbanisme dues au prix et à la raréfaction des terrains de construction, qui ne permettaient plus de construire en tenant compte de l'environnement proche (orientations selon: l'ensoleillement, les vents dominants, etc.),
- La demande massive de logements due au développement économique.

Du point de vue thermique il s'agit d'une mutation très importante: d'une architecture qui s'appliquait à prendre en compte l'environnement climatique, on est passé à une architecture plus assujettie à des contraintes d'urbanisme trop souvent ignorantes des caractéristiques climatiques locales, avec de nouveaux matériaux de construction qui répondaient essentiellement aux fonctions de structure et de fermeture.

Les différences entraînées par cette évolution peuvent être résumées dans le tableau suivant :

Constructions anciennes	Constructions modernes
Des modes constructifs élaborés au cours des siècles avec des matériaux locaux.	Des systèmes constructifs conçus en fonction de contraintes économiques et industrielles imposées par l'essor démographique.
La recherche d'une implantation prenant en compte la course du soleil, les vents et les pluies dominant	Des apports climatiques potentiels souvent négligé (implantation aléatoire, ouvertures réparties sans toujours tenir compte de l'ensoleillement (l'urbanisme du chemin de grue).
Une distribution raisonnée en plan des pièces selon leur destination, avec des espaces tampons nombreux selon les types d'activités.	Des plans types d'appartement généralisés et assemblés pour former des volumes indépendamment de l'environnement proche.
La forme et l'emplacement des pièces qui étaient définis par les fonctions de ces pièces (par exemple pièces de nuit côté cour).	Une banalisation dans l'utilisation nocturne ou diurne des pièces sans tenir compte des zones de bruits extérieurs.
L'utilisation de matériaux très sensibles à l'humidité (maçonneries de pierres, plâtre, charpenteries de bois, mortiers à la chaux aérienne) mais de bonne stabilité dimensionnelle.	Des matériaux de structure manufacturés, le plus souvent insensibles à l'humidité, mais sensible aux dilatations thermiques.
Des maçonneries porteuses lourdes ayant une forte inertie thermique, réparties entre façades et refends intérieurs.	Des parois porteuses de facture identique et de moindre épaisseur (parpaings identiques, préfabrication de panneaux, banches, coffrages glissants, etc.).
Des parois adaptées à leur fonction et très différenciées selon leurs rôles respectifs (par exemple en pierre de taille pour un rôle de "représentation" en façade sur rue et en pans de bois sur cour).	Des parois horizontales et verticales plutôt monolithes et standardisées pour une construction donnée.
Un dimensionnement des murs bien ajusté à leur rôle structurel, par exemple des maçonneries avec amaigrissements successifs selon les étages en proportion des charges des planchers.	Une standardisation des modes constructifs qui ne différencie plus les parois porteuses selon les façades ou les étages.
Des planchers en bois relativement isolants lorsqu'ils sont complets avec plafonds en plâtre sur lattis (coefficient U souvent inférieurs à 1).	Des planchers sous forme de dalles pleines sur corps creux permettant des vols de chaleur entre les étages.
Des matériaux de remplissage de ces planchers très performants comme régulateurs hygrothermiques (plâtras, sables, scories de hauts fourneaux, etc.).	Des matériaux secondaires avec une seule fonction de finition (par exemple plaques de plâtre manufacturées de faible épaisseur et de forte densité, qui n'ont plus le rôle de régulateur hygrothermique).
L'absence de ponts thermiques en façade: les murs extérieurs sont thermiquement homogènes, même si leurs coefficients U apparaissent commediocres par rapport aux performances demandées.	Des systèmes constructifs industrialisés avec d'importants ponts thermiques (préfabrication lourde avant les années 1980).
Des barrières à l'humidité du sol souvent redondantes et organisées de nombreuses manières (nature des pierres des maçonneries de fondation, couches de bitume, espaces tampons permettant l'évacuation de l'humidité (caves et vides sanitaires).	Protections plus simples par films ou enduits dégradables sur les fondations enterrées.



Tableau faisant apparaître les principales différences architecturales et constructives, du point de vue thermique, entre constructions anciennes et constructions modernes

[Lien](#)

Le pisé, terre comprimée

« Le pisé est un procédé d'après lequel on construit les maisons avec de la terre, sans la soutenir par aucune pièce de bois, et sans la mélanger de paille ni de burre. Il consiste à battre, lit par lit, entre des planches, à l'épaisseur des murs ordinaires, de la terre préparée à cet effet. Ainsi battue, elle se lie, prend de la consistance, et forme une masse homogène qui peut être élevée à toutes les hauteurs données pour les habitations »...

F. Cointeraux, 1790.



[Vue des lits de terres dans un mur en pisé](#)

Construire un mur en pisé, ca n'est rien d'autre que fabriquer des énormes briques de terre comprimée dans des coffrages. Ces briques sont stratifiées et forme un millefeuille compacté dans le sens des descentes de charges (dut haut vers le bas).

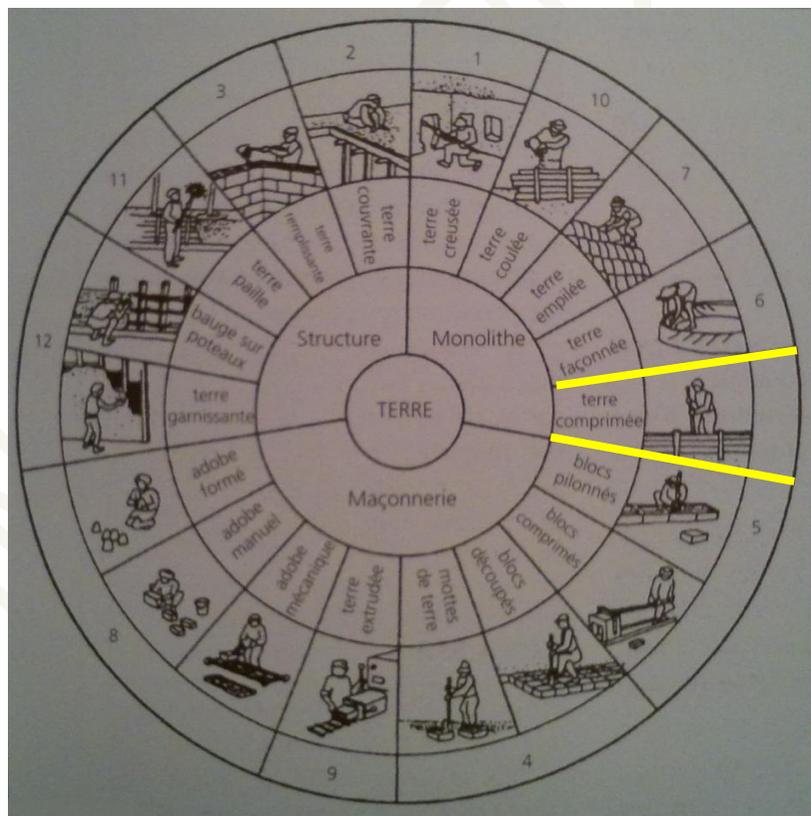
Cette technique de construction autorise le constructeur à égayer son mur en réalisant des couches de différentes couleurs en jouant sur les proportions (mélange de terres), en ajoutant des pigments, et en créant des motifs de son choix. Le côté imposant et massif des murs en pisé se marie particulièrement bien avec le design contemporain et les possibilités architecturales offertes par les matériaux modernes..

Si l'on renverse un mur en pisé sec sur le côté, on retrouve cette composition en millefeuille, les cassures apparaissant au niveau des raccords entre les lits de terre successifs.



Bloc de pisé volontairement renversé, millefeuille de lits de terre

Villefontaine, grands ateliers



pisé



Comprendre les matières

L'eau

L'eau permet de lier les particules d'argiles et les grains de sable/graviers/cailloux.

Il reste toujours de l'eau dans la terre, même sèche (il faut cuire la terre à plus de 600°C pour que toute l'eau s'évapore), et ça tombe bien, l'argile a besoin d'eau pour coller les grains entre eux. Même sèche, la cohésion de la terre est 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 le pisé.

Trop d'eau et la terre collera à la dame. La juste proportion d'eau est celle de l'humidité naturelle de la terre.

La terre à pisé

Terre végétale ≠ Terre à construire



Terre végétale et terre à construire

Le matériau terre provient de la décomposition mécanique et chimique de la roche mère. Cette roche se désagrège en particules de taille très variable allant 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. 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, puisque la couleur de la terre argileuse est la base à partir de laquelle on va devoir travailler.

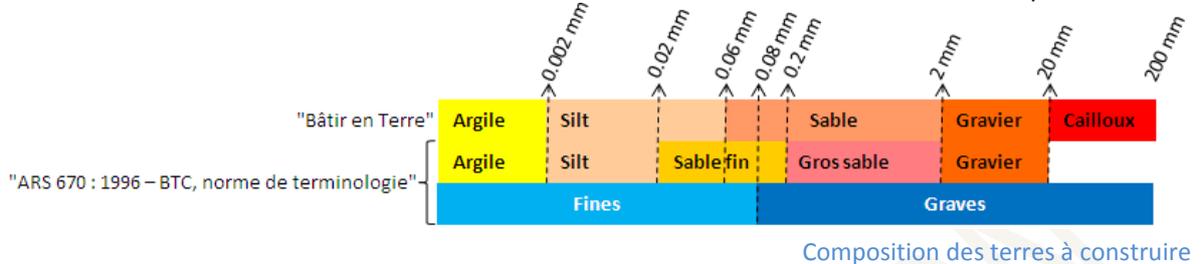
La composition de la terre pour construire

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 à lui ajouter et conditionnent les usages qui seront faits de chaque terre.

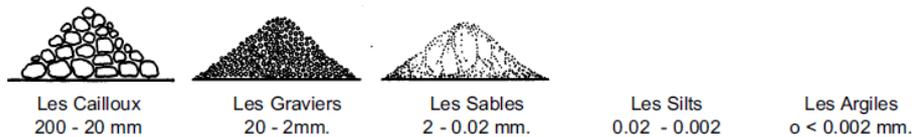
Le composant dominant définit le type de terre auquel on a affaire : terre graveleuse, terre sableuse, terre silteuse, terre argileuse.

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



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

Types de terres

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 chimiquement inerte 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 permettent rectifier les caractéristiques d'une terre. Ils diminuent la proportion d'argile et diminuent ainsi le retrait au séchage (et donc la fissuration). Les sables sont moins efficaces que les fibres pour lutter contre le retrait des argiles. Un sable non lavé contient une petite proportion d'argile, qui influence le dosage.

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 » / moins gênés par leurs voisins.

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

La terre à pisé contient des grains de toutes tailles dont les graviers et les cailloux. C'est la seule technique qui évite le criblage de la terre. Les plus gros cailloux (de 50 mm et +) peuvent être retirés à la main. La taille des cailloux doit être ajustée en fonction de la finition de surface souhaitée.

Le pisé



Pisé sur un mur d'enceinte

Charlieu, Loire



Pisé caillouteux

Villefontaine

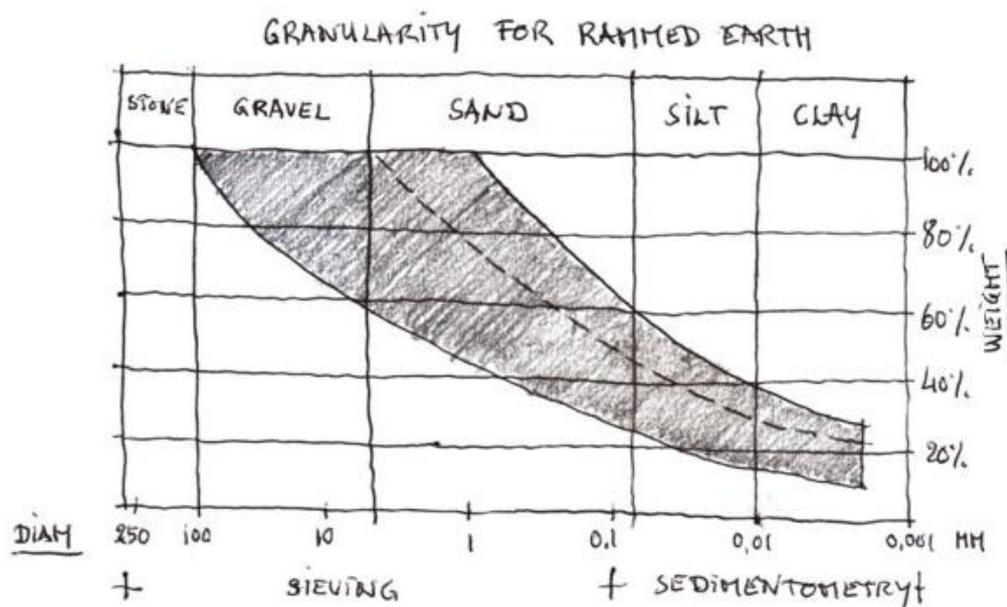


Murs en pisé

Tinzouline (Maroc)



Le graphe ci-dessous montre en pointillé une courbe granulométrique d'une terre convenant pour la réalisation d'un mur en pisé. Cette courbe est tracée en tamisant la terre avec des tamis de plus en plus fin (jusqu'à 0.1 mm) et en pesant à chaque fois la terre qui est passée au travers du tamis (masse sèche). En dessous de 0.1 mm (sables fins, fines et argiles), il devient difficile de tamiser la terre et la courbe est reconstituée à partir d'un essai de sédimentation. Les terres pisé ont une courbe granulométrique comprise dans la zone grisée.



[Courbe granulométrique des terres à pisé](#)

Les fines et les argiles

Les fines (ou silts) assurent le remplissage de la matrice granulaire. Ce sont des sables de très faible diamètre, chimiquement inerte. 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](#)

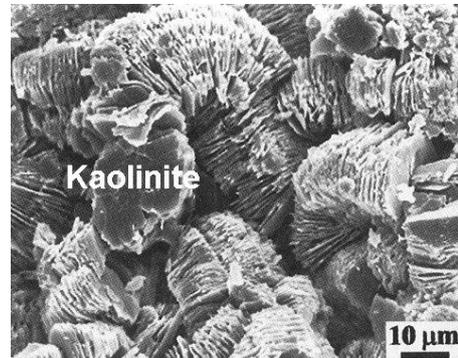
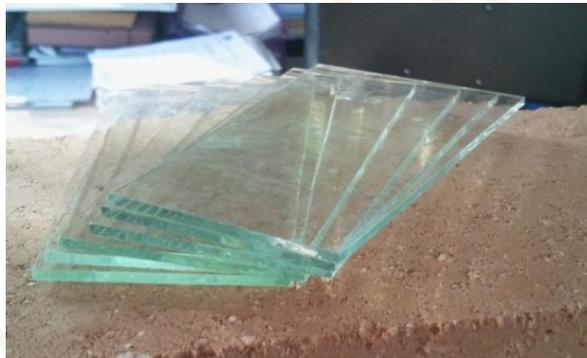
Photo tirée du livre « Bâtir en terre »





Résidus de lavage de sables/graviers

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, chargées électriquement, 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 feuillettes, 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, les plaques 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.

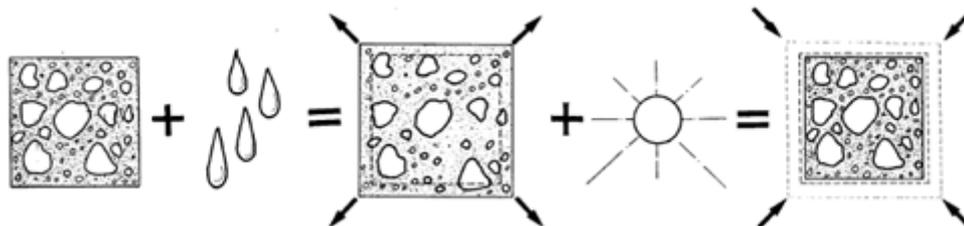


Plaques de verres – Photo de feuillettes d'argile (kaolinite)

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 : $< 30 \text{ m}^2$ de surface externe par gramme, gonflement modéré. La kaolinite sert à la fabrication de la porcelaine.
- Illites : 100 m^2 de surface externe par gramme, gonflement moyen.
- Vermiculites : gonflement fort.
- Montmorillonites : 800 m^2 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.



Gonflement/retrait au séchage des argiles

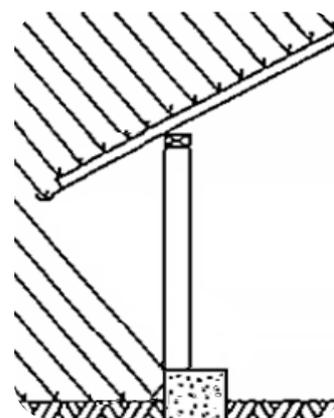
La capacité d'un mur en terre à réguler l'hygrométrie de l'air ambiant dépend du type d'argile qu'elle contient. Plus l'argile est gonflante, plus la terre pourra absorber de vapeur d'eau.

Les fibres

Le pisé n'est pas une technique de construction qui utilise des fibres, mais il est possible d'en ajouter à petite dose pour améliorer la résistance mécanique en traction et réduire les risques de fissures. Des essais ont été faits en ajoutant à la terre, le long des banches, une petite proportion de gerbes de lavandes distillées broyées, pour durcir la surface du mur.

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 pas toujours nécessaires (sauf quand il pleut à l'horizontal).



Bien protéger son mur de l'eau : le chapeau et les bottes

Le pisé n'est traditionnellement pas une technique de construction qui stabilise dans la masse, même si cette pratique se développe. Le taux de stabilisation (ciment blanc ou chaux) peut atteindre 10%, selon le type de terre. Adieu l'écologie au-delà de 2 à 3%. Stabiliser au ciment gris va ternir le mur et faire perdre l'éclat naturel de la terre.

De la chaux est ajoutée dans certaines régions dans les angles, pour lier les banches, ou une couche de terre sur deux, et uniquement sur les 5 à 10 premiers cm d'épaisseur pour économiser la chaux. Cette « stabilisation » ponctuelle sert à améliorer la résistance

Le pisé

mécanique du pisé dans les parties les plus sollicitées et à améliorer la longévité du pisé pour les parties exposées (vent, humidité, pluie, passage, ...).

POUR INFORMATION

Comment choisir sa terre argileuse ?

En acheter dans les magasins de matériaux écologiques

Bien sur, on peut acheter de la terre prête à l'emploi 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. 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 faire du pisé, ça n'est pas forcément la meilleure solution, mais ça peut se discuter. Dans l'idéal, on prélèvera cette terre sur le chantier (pour limiter le coût environnemental lié au transport de ce grand volume de terre).

La terre à pisé commercialisée est parfois récupérée lors de la destruction de vieilles ruines de bâtiments en pisé.

En trouver ailleurs

Si vous avez la chance d'habiter dans une région où le pisé est une technique répandue, vous trouverez certainement près de chez vous des bâtiments en pisé en ruines. Prenez contact avec le propriétaire. Il acceptera sans doute de vous donner la terre contre la démolition du bâtiment. Les murs devront être purgés des moisissures avant de commencer à récupérer la terre. Seule la terre exempte de moisissures, salpêtre, ... pourra être récupérée.

On peut se fabriquer sa terre à pisé à partir de terre argileuse de couverture extraite à proximité (se renseigner dans les mairies sur les permis de construire délivrés). Les entreprises de transport de matériaux, les terrassiers, les fabricants de compost seront de bon conseils et pourront peut-être vous livrer/cribler de la terre.

On peut aussi consulter les cartes géologiques du BRGM ou se renseigner auprès des carrières vendant des sables lavés, et bien sur demander des conseils aux auto-constructeurs (maison en paille par exemple) et associations locales faisant la promotion de l'écoconstruction.

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.

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. 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. Cependant, il faut rappeler que le pisé est une technique peu exigeante sur la qualité de la terre.

Si l'on prospecte aux alentours, il est impératif de demander l'autorisation au propriétaire 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, 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), sans vouloir mélanger/moyenner les prélèvements (une terre peut convenir, l'autre pas).

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 :

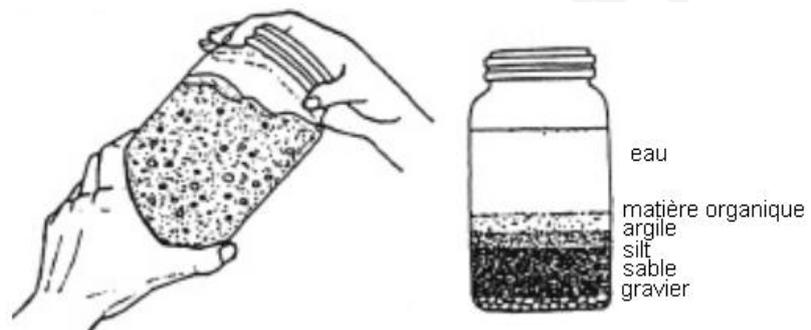
- Examen visuel : proportion de sable et de fine
- Essai de l'odeur (FACILE et IMMEDIAT) : moisi = terre végétale
- Essai de la boule (FACILE) : on réalise une boule de terre qu'on laisse sécher. Si elle se brise lorsqu'on essaye de l'écraser avec le pouce, elle contient peu d'argile.



Essai de la boule sèche

- 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

- **Tamissage** (FACILE) : tamiser la terre avec des tamis de plus en plus fin, et peser la terre qui passe au travers des tamis pour déterminer la courbe granulométrique. Comparer ensuite à la courbe présentée plus haut.
- **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 légèrement inférieure à la hauteur relative de la couche d'argile (l'argile gonfle à l'eau).



[Test de la bouteille / sédimentation](#)

- **Retrait** : test proposé par « Construire en terre crue ». On remplit un rectangle en bois de 60 cm de long, 10 cm de large et 5 cm de haut avec de la terre à pisé dont on a retiré les plus gros graviers pour que le pisé reste cohérent, puis on dame. Le fond du moule doit être recouvert d'une feuille plastique/papier pour éviter que la terre n'adhère au support. Le moule est marqué de deux encoches à deux endroits espacés de 50 cm. Une fois damé, le coffrage est retiré et l'échantillon mis à sécher à l'ombre. Une fois la terre sèche, on mesure la distance séparant les 2 repères et on en déduit 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'une terre très argileuse (au centre) et d'argile pure (à droite).

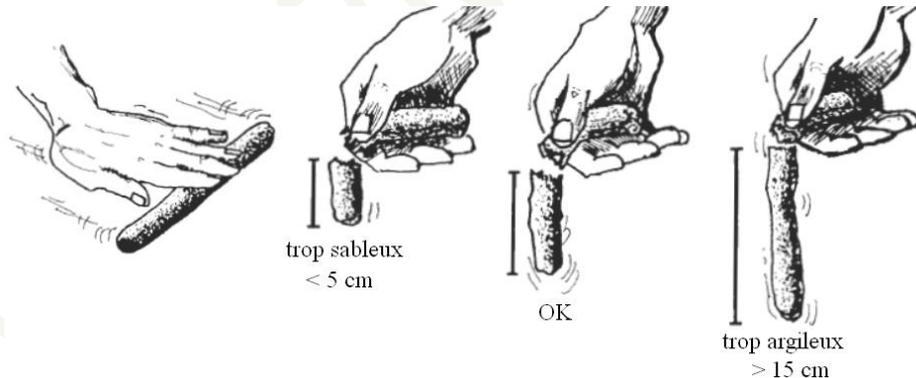




Test du retrait au séchage

- 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 (non collant) d'un peu plus de 10 mm de diamètre. Un ruban de 5 à 15 cm convient pour le pisé. Un ruban plus court correspond à une terre trop sableuse, un ruban plus long correspond à une terre trop argileuse.

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



Test du boudin (principe)





Test du boudin (en vrai)

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. Gardez à l'esprit qu'il n'existe pas de mauvaises terres, mais simplement des techniques plus ou moins adaptées à la terre dont vous disposez.

En France, les terres sont bien souvent trop argileuses. On leur ajoute donc du sable. Si la terre dont vous disposez est au contraire trop maigre, il faudra lui ajouter de l'argile.

La constitution de la terre à pisé

Suivant la composition des sols dont la terre est extraite, on obtient différents types de pisé, aux couleurs, à l'état de surface, aux résistances et aux structures variables. On en compte trois sortes différentes :

- un pisé sans caillou,
- un pisé très argileux,
- un pisé maigre caillouteux et sableux.

Les bonnes terres à pisé doivent se composer de (voir courbe granulométrique plus haut):

- Gravier : 0 à 20%
- Sable : 40 à 50 %
- Limon : 20 à 35%
- Argile : 15 à 25%

Faites des échantillons avant de vous attaquer à un mur, c'est une bonne méthode pour appréhender la terre dont vous disposez et corriger le tir en amendant votre terre pour l'équilibrer si l'état de surface, la cohésion, le ressenti au damage, ... ne vous conviennent pas.

Trop argileuse

Si la terre est trop argileuse, elle ne se compactera pas bien, mais se déplacera sous l'impact du psoir, elle fissurera au séchage et la résistance mécanique du mur sera diminuée. Dans ce cas, le problème pourra être réglé en ajoutant du sable grossier à la terre.

Dans certaines régions, les terres trop argileuses ou composées d'argiles très actives sont travaillées à l'état humide en mélange avec des fibres qui apportent leur résistance à la traction lors du retrait au séchage, et évite ainsi la fissuration (=bauge).

Trop sableuse

Si la terre est trop sableuse, les grains seront trop nombreux pour pouvoir être liés correctement par l'argile. Le pisé 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 bien grasse. Le mélange ne sera pas simple à faire puisque la terre grasse est très cohésive et forme facilement des boulettes, qu'il faudra broyer/tamiser pour que le mélange soit bien homogène.

Trop caillouteuse

Une terre présentant trop de cailloux ne donnera pas une finition impeccable / lisse en surface, mais une surface grossière qui pourra s'éroder et se gratter. Cette terre devra être corrigée, soit en enlevant des cailloux, soit en la mélangeant avec d'autres terres. La présence de cailloux est cependant utile pour améliorer la résistance structurelle du mur et diminuer le retrait au séchage.



Terre trop caillouteuse

Enlever la totalité des cailloux n'est pas nécessaire, les cailloux qui touchent le coffrage peuvent être enlevés et mis au cœur du mur. Ca donnera un aspect plus lisse, très agréable à l'œil.



Différence d'érosion entre 2 banches sur une ruine. Trop de cailloux en surface → érosion



Pas de mottes sèches

Si la terre disponible présente de grosses mottes sèches, elles devront être enlevées ou broyées avant d'être utilisées.

Des exemples

Ce mur a été réalisé à partir de terre « argilo-caillouteuse », de terre « argileuse » et de sable calcaire. Les 3 couleurs ont été obtenues en faisant varier les proportions de chaque terre.



3 couleurs du pisé

Le pilier présenté ci-dessous a été réalisé avec les terres précédentes et avec une terre argileuse plus foncée mélangée avec du sable gris (absence de cailloux, couches grises). On peut voir la différence de finition en surface, et les cailloux non enlevés du bord des moules, qui fragilisent la surface. On observe aussi la fatigue des piseurs sur la dernière couche, moins tassée, et la fleur de lavande qui fonce (et va durcir) la couche « marron » au milieu de la photo.



Variations de couleurs et de composition des terres



Le pisé

Le mur en pisé ci-dessous est un mur de clôture, dans une palmeraie au Maroc. Il a été réalisé à partir de la terre disponible sur place (en partie de la terre végétale), sans adjonction de sable ou de fibres. Le pisé présente de nombreuses fissures et le retrait entre chaque banche est de l'ordre de 2 cm.



Une terre fine et trop argileuse



Préparer les matériaux



La préparation des matériaux en quelques gestes

Stockage de la terre

Les terres très argileuses « coagulent » en présence d'eau. Si vous disposez d'une telle terre et que vous l'avez tamisé, stockez-la à l'abri sous un hangar. Si vous décidez de la stocker sous une bâche, la condensation sous la bâche risque de mouiller l'argile et de ruiner vos efforts.



Terre très argileuse stockée directement sous une bâche



Terre argileuse sous tunnel de maraichage (effet de la condensation sous la bâche de la serre)

Les terres à pisé et les terres insuffisamment argileuse sont beaucoup plus faciles à gérer. On peut envisager les stocker dehors sans les bâcher. L'intérieur du tas restera humide,



mais l'extérieur du tas va former une croûte (cycles pluie-dessèchement) qui devra être cassée au pic pour pouvoir être utilisée. Cette couche devra être remouillée si la dernière pluie est un lointain souvenir.



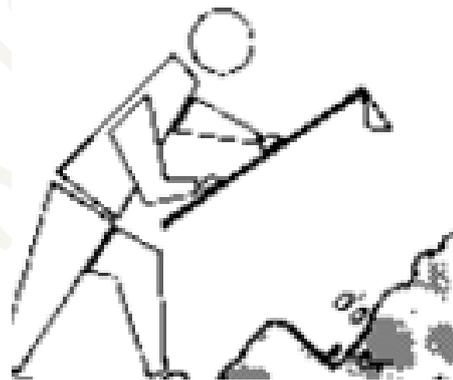
Tas de terre peu argileuse, très caillouteuse (extérieur/intérieur)

Pas de croûte (mois de février)

Préparer la terre à pisé

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 plus gros cailloux. Si on achète la terre dans une carrière, on pourra leur faire tamiser la terre avant de la faire transporter.

Elle sera quasi prête à l'emploi, mais nécessitera peut-être de la mélanger à d'autres terres, sables, mélange à béton suivant ses caractéristiques.



Extraire la terre et la préparer

Broyer la terre

Si vous disposez d'une terre ne comportant pratiquement pas de cailloux et assez sèche, vous pourrez l'émotter / la broyer facilement. On pourra par exemple le faire avec un motoculteur, un broyeur de terre ou encore avec un rotavator. Dans tous les cas, l'engin qui va pulvériser la terre doit être très robuste, surtout si la terre est caillouteuse.



Motoculteur et rotavator

Dans le cas d'un pisé stabilisé, la terre doit impérativement être broyée.

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 et qu'on souhaite un pisé sans cailloux, 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



Cageots pour tamiser

- Un tamis au dessus d'une brouette ou d'une poubelle noire. Une grille de ventilateur peut aussi faire l'affaire. Une scie sauteuse pourra assurer le mouvement de va et vient.



Tamis



Le pisé



Comment simplifier le tamisage

- Un vieux sommier métallique incliné.



Le fidèle sommier

- Un tamis suspendu par des cordes à une structure improvisée



Un tamis suspendu

- Une bétonnière et une grille montée sur la bétonnière





Tamisage à la bétonnière

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



Différentes versions de tamis rotatifs

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%.

Remplissage des seaux

Si vous mélangez différentes terres, il va falloir homogénéiser le mélange et s'assurer que les proportions restent stables au fur et à mesure du chantier.

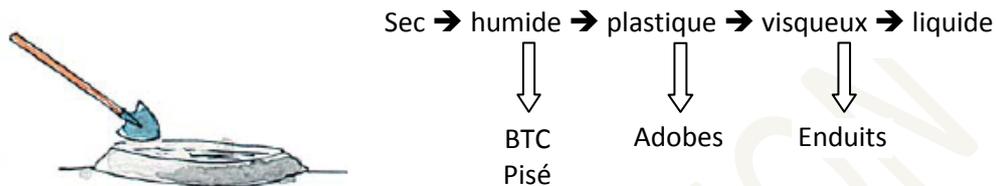
Pour des raisons pratiques de chantier, les proportions des différentes terres sont toujours données en volumes, et pas en masse. Les seaux dans lesquels on va transporter les différentes terres ne doivent pas être tassés, sinon, en fonction de la personne qui fera le mélange, le résultat sera différent.



Les cailloux ont tendance à se rassembler en bas du tas de terre. Il faudra faire en sorte de prélever de la terre dans plusieurs endroits du tas de terre pour éviter d'avoir des portions de pisé trop caillouteuses, et d'autres pas assez.

L'état hydrique de la terre

Une terre va passer par différents stades de plasticité, à mesure qu'on la mouille.



Les états hydriques de la terre

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 !

De manière générale, la terre à pisé est mise en œuvre à l'état humide (10 à 12% d'eau suffisent). Le « bon » taux d'humidité peut être contrôlé sur le chantier, en réalisant une boule. La boule doit être bien agglomérée et consistante (résister quand on essaye de la déformer) mais ne doit pas surtout pas coller aux doigts. Si c'est le cas, elle collera aussi à la dame et aux banches.

Des essais de résistance à la compression ont été faits par Craterre sur plusieurs terres à pisé, présentés dans une exposition pour différents taux d'humidité. Les taux d'humidité « optimaux » pour le compactage sont tous situés entre 8 et 10%.



Résistance à la compression sur une terre à pisé

Villefontaine, grands ateliers

Une terre à pisé trop mouillée ne peut pas être rattrapée, il faudra la laisser sécher et l'émotter à nouveau. Une terre légèrement trop mouillée va se déformer mais ne va pas se comprimer lors du damage de la terre. Elle va créer un bourrelet autour de la dame.

Une terre trop mouillée peut/va se fendre au séchage. Le retrait du pisé ne doit pas dépasser 0.5 à 1%. Si elle se fendille, ça n'est pas grave. Les grosses fissures sont problématiques puisqu'elles fragilisent le mur (résistance mécanique) et qu'elles sont des portes d'entrées pour les infiltrations d'eau au cœur du mur. Traditionnellement, on ne construisait qu'une banche à la fois (environ 2.5 m de long), qu'on laissait sécher (et donc faire son retrait) avant de faire la banche suivante. Aujourd'hui, la mécanisation permet d'aller plus vite, l'économie de la construction impose d'aller plus vite et les banches sont

plus longues et plus hautes, la période de séchage quasi inexistante, ce qui provoque davantage de fissurations, qui peuvent se propager sur des hauteurs plus importantes.



Fissures verticales tous les mètres

Terre trop humide ? trop fine ? Banches trop longues ?
Villefontaine

Une terre trop mouillée qui sèche trop vite sur une des faces du mur (face exposée au soleil) peut paraître se fendre dans la longueur du mur.

Si vous achetez de la terre à pisé, vous ne devez pas considérer qu'elle est au bon état hydrique. Elle a été stockée, a été transportée et peut être trop sèche. Dans ce cas, vous devrez l'humidifier en pulvérisant de l'eau dessus.

Pour conserver le bon taux d'humidité, bâchez votre tas, bâchez votre brouette et recouvrez le dernier lit de terre après compactage.

Malaxer et humidifier une terre trop sèche

Humidifier une terre trop sèche

Si l'on dispose d'une terre trop sèche, elle devra être humidifiée jusqu'à l'obtention de la consistance d'un crumble. L'eau doit être pulvérisée. Si vous n'avez pas accès à l'eau en permanence, vous pouvez utiliser une bouteille d'eau avec un bouchon percé pour pulvériser de l'eau sur la terre. Si vous pouvez utiliser un tuyau d'arrosage sur le chantier, vous pouvez vous servir d'un embout de jet pulvérisateur, ce qui vous fera gagner du temps par rapport à la première solution



Comment humidifier la terre ?





Terre à pisé humidifiée en attente d'être utilisée

Marrakech, Maroc

Il est souhaitable d'humidifier le tas de terre 12 à 24 heures avant son utilisation, et de la mettre sous une bâche, afin de détruire les dernières mottes de terre sèche. Il sera alors plus facile de maîtriser le retrait et la fissuration au séchage.



Terre mise sous bâche avant usage

La terre est suffisamment humide lorsqu'elle a la texture d'un crumble. Si des boulettes commencent à se former, arrêtez d'arroser !

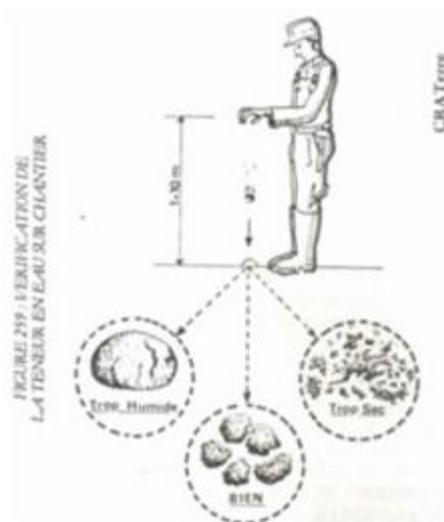


Terre un peu trop humide

Le pisé n'a pas fissuré

Test de chantier pour trouver le bon état hydrique

Le test de chantier pour estimer la bonne teneur en eau consiste à lâcher une boule de terre d'environ 40 mm de diamètre à 1.5 mètre du sol. Si elle casse en 3 ou 4 morceaux, elle possède la bonne humidité. Si elle s'éparpille complètement, elle est trop sèche ; si elle reste en un seul morceau, elle est trop humide.



Le test de la boule sur chantier

Avant de lâcher la boule, on serre la terre dans sa main pour vérifier son degré d'humidité. La main ouverte doit laisser une boule qui se tient et qui porte l'empreinte des doigts sans coller à la main ni être émiettée.





Terre un peu trop humide

Cette règle doit être adaptée au ressenti des personnes qui vont damer la terre. Une terre trop sèche ne se compactera pas, et une terre trop humide collera au pisoir. Si vous n'êtes pas sûr de votre coup, amenez un échantillon dans un seau aux piseurs, ils vous diront si la terre leur convient. Ne ramenez la totalité de la terre que si elle leur convient.

Avec quoi malaxer le mélange ?

La bétonnière

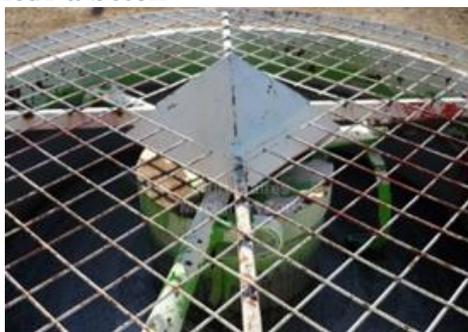
Le mélange à la bétonnière est faisable si la bétonnière est assez grande. Si elle ne l'est pas, des boulettes se forment devant et la terre est sèche au fond de la bétonnière. De même, les cailloux les plus gros se retrouvent tous devant. Si la terre colle aux pales, c'est qu'elle est trop mouillée.



La terre à pisé trop humide et la bétonnière



Le malaxeur à béton



Le godet du tracteur ou du tractopelle



Le godet malaxeur

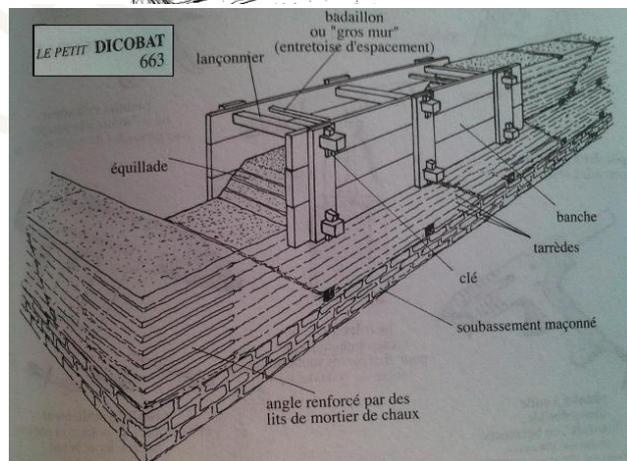
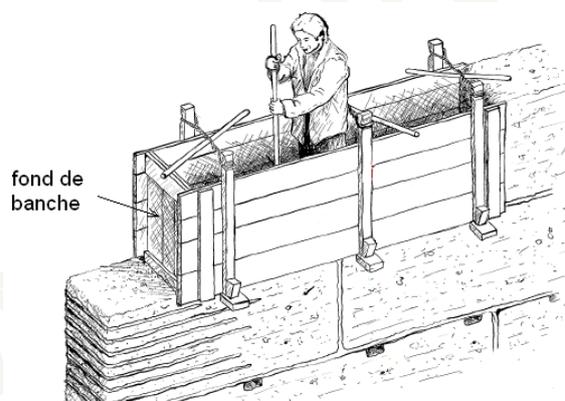
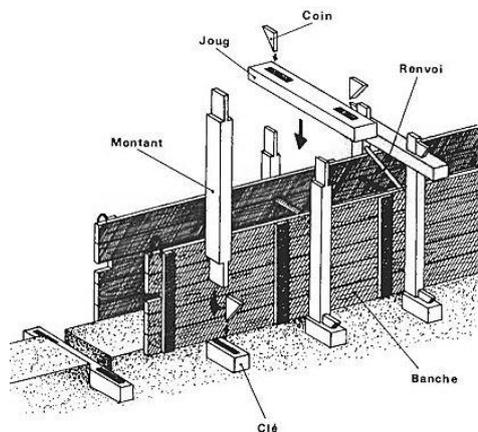


Les banches / coffrages

Les coffrages doivent être adaptés à la taille et aux contraintes du chantier, solides, stables et résistants aux vibrations, mais aussi maniables et sûrs. La pression exercée sur le coffrage est souvent sous-estimée.

Pouvoir adapter un échafaudage sur le coffrage est un plus.

Un peu de vocabulaire

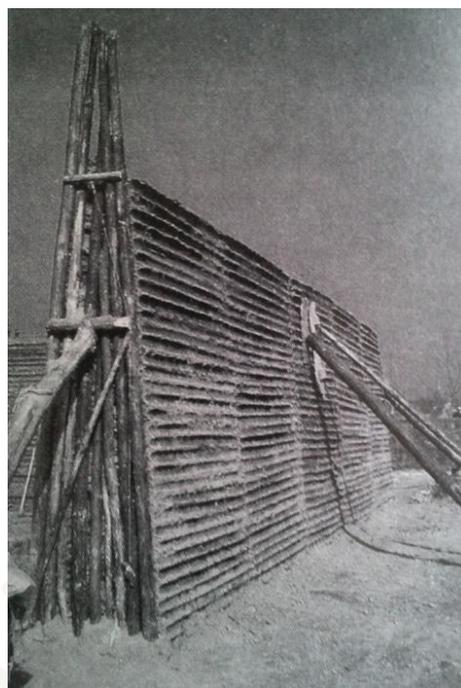
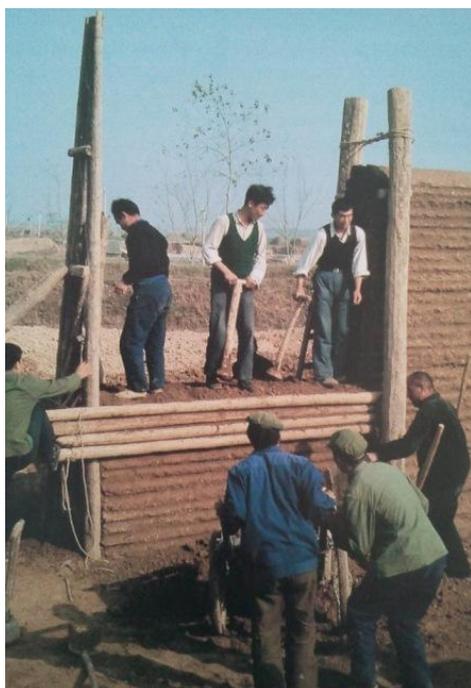


Les coffrages traditionnels grimpants

Sans planches ni clés

Dans certaines régions du monde, encore aujourd'hui, il est impossible de trouver des planches, soit parce qu'il n'y en a pas, soit par manque de moyen. Des rondins de bois sont alors utilisés pour coffrer le pisé. De même, par économie ou nécessité, on ne coffre pas la totalité du mur à réaliser, mais seulement la partie sur laquelle on travaille (coffrage grimphant).





Construction d'un mur en pisé, région de Xian, Chine

La finition du mur est moins parfaite que si la totalité du mur avait été coffrée.

Avec planches, sans clés en partie basse

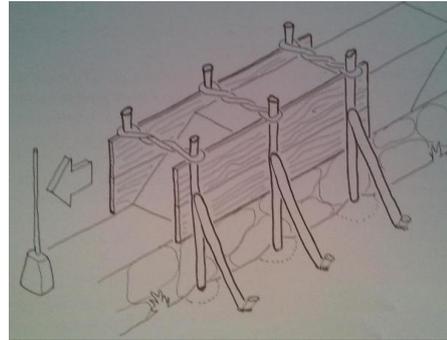
Le pisé de la région du Bugey (Ain) est le seul à ne pas présenter la trace des trous des clés. Les banches sont maintenues en position par des étais amarrés au sol et des montants verticaux. Les montants verticaux sont serrés en partie haute au moyen d'une corde entortillée avec un bâton.



Système de corde (Maroc, Colombie)

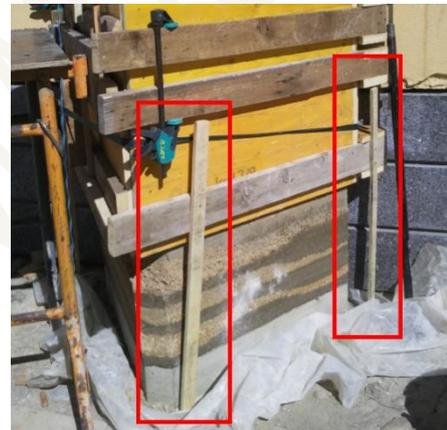
L'écartement est réglé au moyen d'« écarteurs »/entretoises disposés entre les 2 banches. L'utilisation de cordes pose la question de leur élasticité et de l'écartement du coffrage qui ne manquera pas d'arriver. Du côté des avantages, les cordes présentent l'avantage de faciliter le démontage du coffrage.





Banche du Bugey

Lorsqu'on monte ou démonte les banches sans utiliser de clés en partie basse, le coffrage aura envie de tomber. On devra lui ajouter des pieds. La verticale restera difficile à régler par manque de repère et à cause de la tendance du coffrage à vouloir monter sous l'effet conjugué de la pression de la terre et des vibrations.



Avec planches, avec clés « en dur » en partie basse

Les clés « en dur »

L'utilisation de clés « en dur » (bois, tige métallique) laisse des trous dans le mur ce qui peut être perçu comme inesthétique, mais le principal inconvénient des clés (quel qu'elles soient) est la difficulté à compacter sous les clés. Il convient donc de limiter le nombre de clés pour ne pas fragiliser le mur et laisser apparaître des couches irrégulières.

Les clés sont aussi autant d'obstacles pour circuler et travailler dans la banche, ce qui peut occasionner des problèmes de sécurité.

Au Maroc, on trouve un type de banche à mi-chemin entre la banche du Bugey (corde en partie haute) et la banche auvergnate (clé en dur en partie basse). La clé du bas est faite à partir d'un fer à béton ou d'une planche en bois percée. Il n'y a quasiment pas de recouvrement avec la banche du dessous (hauteur de recouvrement = hauteur de la clé).



Banche marocaine (Marrakech)



Banche marocaine (Aït Bennadou)

Avec planches, avec clés « en dur »

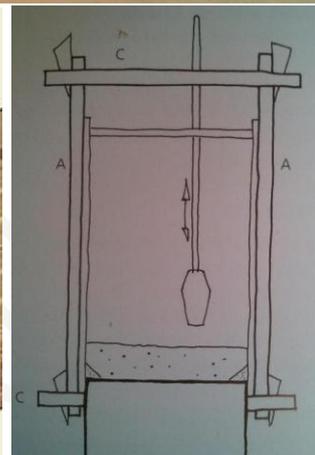
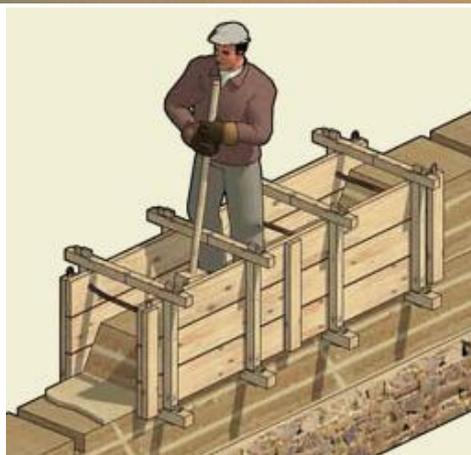
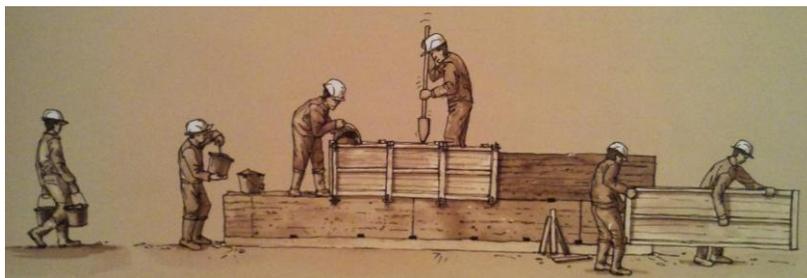
Banche lyonnaise et banche auvergnate

La banche lyonnaise et la banche auvergnate sont deux types de coffrages utilisant des clés « en dur » traversantes, sur lesquels les banches sont posées à cheval. Les clés sont noyées dans la maçonnerie, et extraites après décoffrage à coup de masse.

Des mortaises ou des trous sont percées à l'extrémité des clés dans lesquels les renforts verticaux viennent s'insérer. Le maçon déplace ses banches horizontalement le long des murs. La banche est faite de petits éléments légers et facilement maniables par un seul homme (montage, démontage, transport).

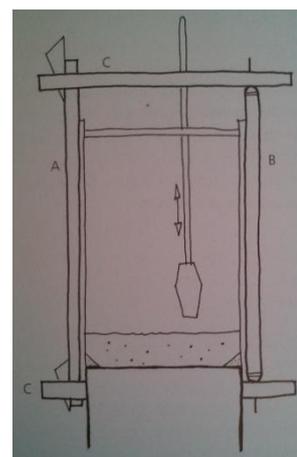


Le pisé



Banche lyonnaise

La banche auvergnate n'utilise des coins de serrage que sur un côté du coffrage. De l'autre côté, ceux-ci sont remplacés par des tiges métalliques permettant un réglage précis du fruit et de l'épaisseur du mur. Les clés sont mortaisées d'un côté, et pourvues de trous espacés de 5 cm dans lesquels les extrémités des tiges métalliques viennent s'insérer.



Banche auvergnate

Les coins ont tendance à remonter. Les banches ont donc tendance à s'écarter. On doit redonner des coups de marteaux sur les coins à chaque nouvelle couche de terre pour que la situation ne dérive pas. Les coins doivent être en bois dur ou en métal pour résister aux



nombreux coups de marteaux. De même, pour les enlever, on doit taper par le bas, du côté du « pointu », ce qui abîme rapidement les coins.

Lorsqu'on monte ou démonte les banches, le coffrage aura envie de tomber. On lui ajoutera des pieds qui seront fixés de part et d'autre du mur, et reliés entre eux par les trous des clés. Ces pieds seront aussi très utiles pour renforcer la structure du mur pendant la construction et pendant la cure humide.

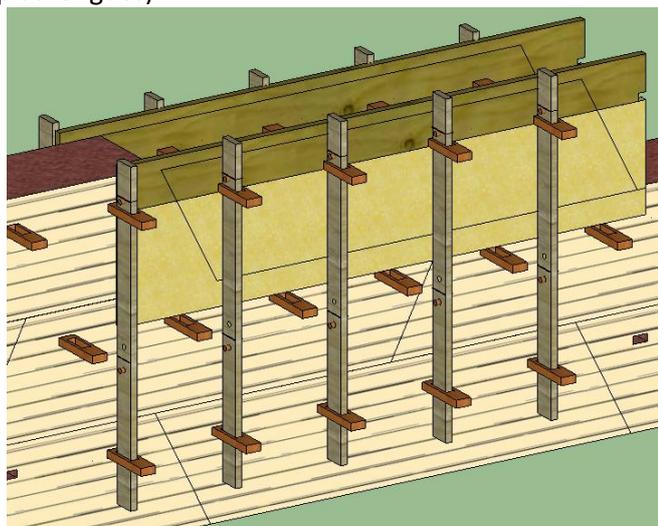


Les coffrages traditionnels grimpants modernisés

Les coffrages traditionnels ont été modernisés pour réduire le temps de mise en œuvre, faciliter le montage/démontage des banches, améliorer la qualité de la finition

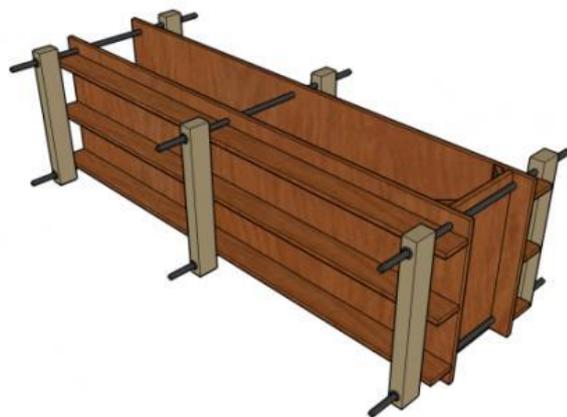
Se servir des clés comme échafaudage

Les clés encore en place dans la rangée du dessous peuvent servir d'appui au coffrage de la nouvelle banchée. Elles peuvent aussi servir d'échafaudage si les clés en place sont noyées dans l'assise du dessous, et pas seulement posées sur la dernière couche de terre. Ce type de banche le permet (en utilisant des clés plus longues) :



Ce principe a été adopté dans les exemples suivants :





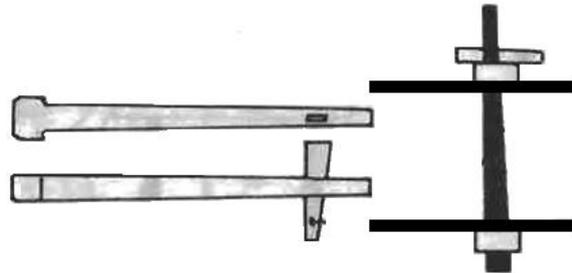
Se servir d'un portique sur roue

Déplacer/monter/démonter les coffrages est fastidieux. L'utilisation d'un portique sur roue enserrant le mur peut être une solution efficace. Une fois le portique mis en position, on utilise les trous de clefs pour solidariser le portique et le mur. Cette solution facilite aussi le maintien de la verticale du mur.



Utilisation de tiges à coffrage filetées

Les clés en bois peuvent gonfler en pompant l'eau du pisé. De même, elles peuvent se bananer, se vriller. Si c'est le cas, il sera difficile de les extraire du mur. Un moyen simple pour régler le problème est d'utiliser des clés légèrement coniques, recouvertes d'un morceau de bâche plastique pour éviter que l'eau du pisé ne pénètre dans le bois.



Une solution encore plus efficace est de remplacer les clés en bois par des tiges métalliques filetées. Les clés sont plus faciles à enlever lorsqu'on démonte le coffrage, à coups de marteau. Une fois décoffré, la trace des clés dans le mur est minime.





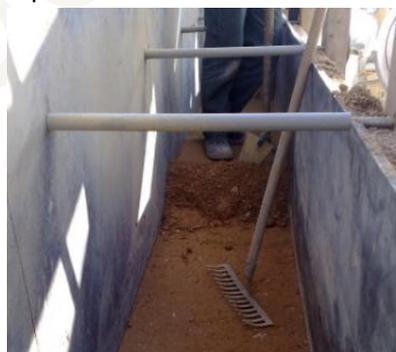
Hanno Burtscher, Thaïlande, tiges à coffrage



Liaison entre banches horizontales

Utilisation de tuyaux entretoises

Les tiges à coffrage filetées peuvent être gainées dans des tuyaux métalliques ou PVC qui servent en même temps d'écarteurs. On ne risque donc pas de taper sur les clés quand on dame la terre. Les clés sont faciles à enlever lorsqu'on démonte le coffrage. Graisser l'intérieur des tuyaux peut faciliter le démontage. Les écarteurs sont eux aussi faciles à enlever en tapant dessus à coup de marteau. Une fois décoffré, la trace des clés dans le mur est celle des tuyaux.





Utilisation de panneaux de coffrage en bois

Les planches de coffrage peuvent être remplacées par des panneaux de coffrage, facilitant la mise en œuvre et donnant un meilleur état de surface. Ces panneaux sont un peu plus chers, mais on les trouve facilement chez les marchands de matériaux. On trouve aussi des panneaux de contreplaqué filmés plus résistants et donnant une meilleure finition..



Coffrage intégral « maison » de Craterre



Workshop CRATerre (L'Isle d'Abeau)

Utilisation de tuyaux et de serre-joints à tuyau

A la place d'une tige filetée, on peut utiliser un tuyau traversant et d'un serre joint à tuyau. Le tuyau traversant peut servir de support d'échafaudage et de plateforme de travail pour les piseurs. L'échafaudage, serré contre les banches, les empêche de se déformer sous la pression du compactage de la terre.



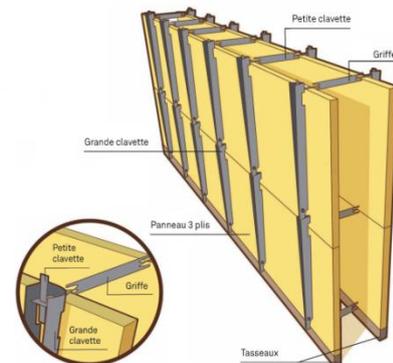
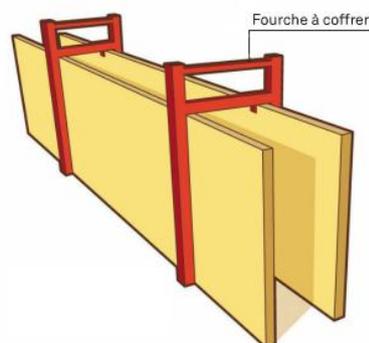
BRÜDER
MANESMAN
WERKZEUGE



Un filetage doit être peut-être être réalisé sur une des extrémités du tuyau traversant, suivant les modèles. Entre les 2 panneaux de coffrage, on peut insérer un deuxième tube métallique autour du tube traversant, en guise d'entretoise.

Les fourches à coffrer et le système griffe/clavette

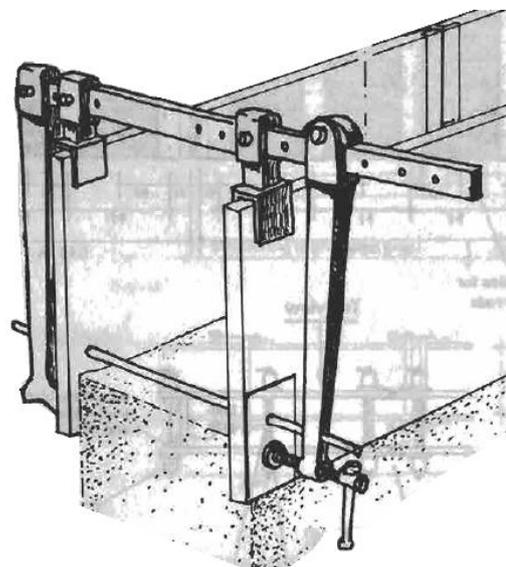
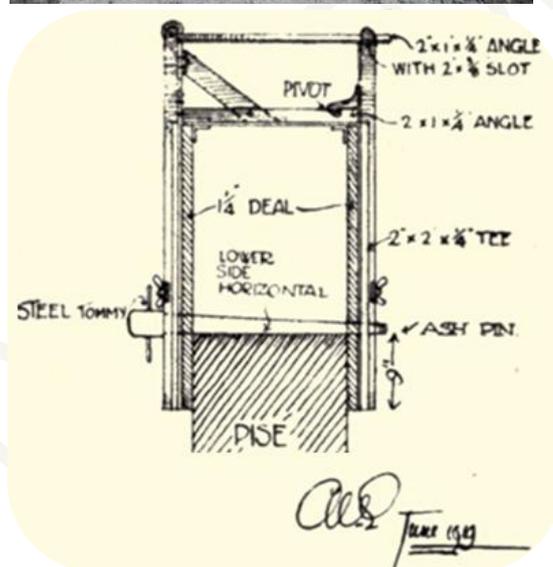
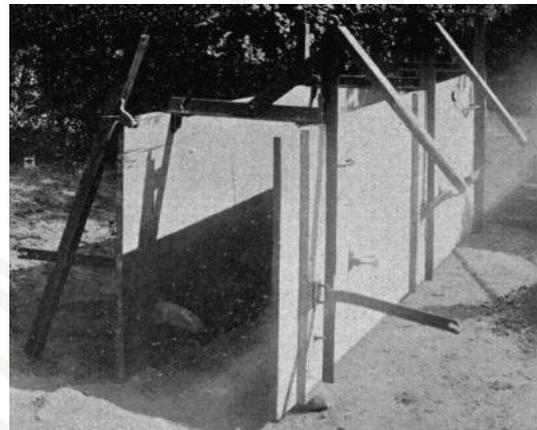
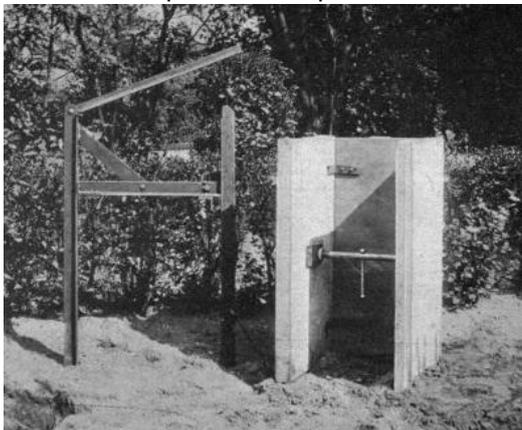
Les fourches à coffrer et le système griffe/clavette sont utilisés pour couler du béton. La largeur des murs en béton est inférieure à celle des murs en pisé. Ces équipements peuvent être intéressants pour des pisés de faible épaisseur. Pour des épaisseurs plus importantes, on peut s'inspirer de ces solutions





Fourches à coffrer et système griffe/clavette

La fourche métallique suivante permet de donner du fruit à votre mur



Fourche à coffrer pour pisé

Des serre-joints à coffrage

On peut utiliser des serre-joints de coffrage à la place des clés, et s'en servir de support d'échafaudage.





Dans l'exemple suivant, on utilise des tiges à coffrages dans des tuyaux entretoise à la place de la clé du bas de banche et des serre-joints à la place de la clé du haut de la banche.



Protéger son coffrage

Des coups de dame

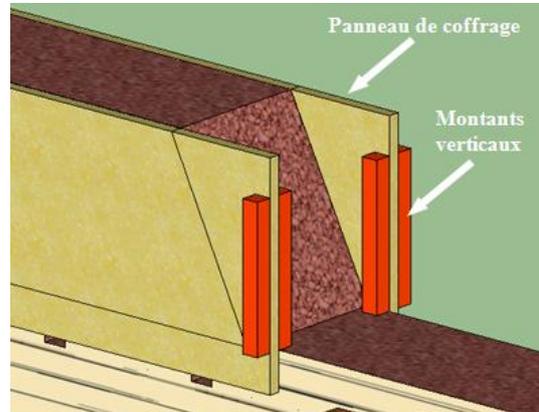
Les bords supérieurs des banches s'abiment facilement à cause du damage. On peut les protéger en les recouvrant de cornières métalliques.



Des déformations

Les banches encaissent la pression exercée par la terre damée. Si la structure des banches n'est pas hyper rigide, les panneaux de coffrages vont se déformer. La déformation s'appliquera toujours de la même manière sur les panneaux (ventre dehors), à moins que ceux-ci puissent être retournés d'une levée à l'autre pour les redresser.

Pour que les panneaux de coffrage soient réversibles, les montants verticaux tenant les fonds de banches (si c'est comme ça que vous les maintenez en place) doivent être présents des deux côtés du panneau de coffrage.



Principe des coffrages réversibles pour limiter les déformations

Faciliter le montage/démontage

Des poignées

Des poignées peuvent être vissées sur les panneaux de coffrages pour faciliter le montage, le démontage et le transport des panneaux.



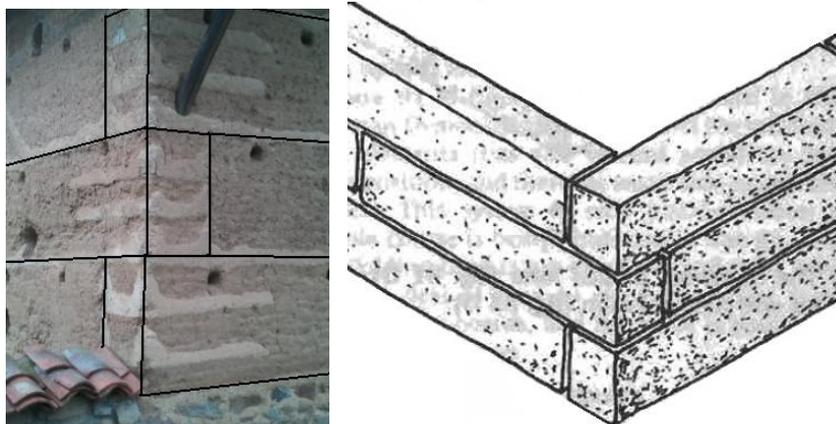
Des cales

Les banches subissent la pression du damage. Pour faciliter leur démontage, il est nécessaire de disposer des cales facilement démontable aux extrémités du coffrage, d'un bon coup de marteau, ou en les libérant en faisant tourner le tuyau entretoise. Des trous percés dans l'entretoise permettront de la faire tourner avec un barreau quelconque (manche de tenaille, ...)



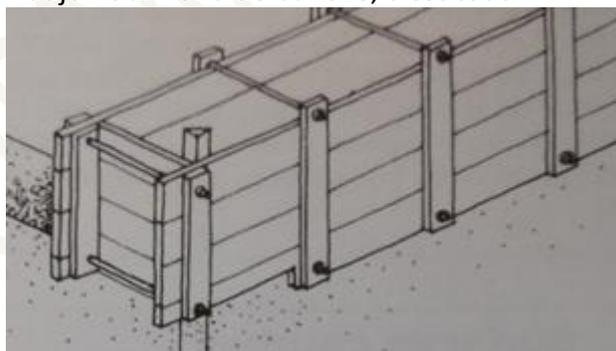
Coffrer les angles

La réalisation des angles des murs ne nécessite pas forcément de coffrage spécial si on se contente de croiser alternativement les banchées en bout de mur, à chaque assise (rangée), comme on le ferait pour un mur en briques, parpaing, ...

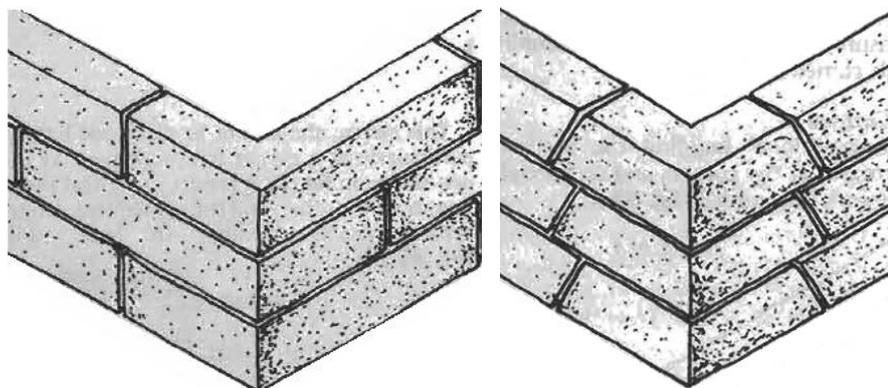


Croisement « simple » des banches dans les angles des murs

On se sert des banches courantes et on leur adjoint un fond de banche, c'est tout.



Des coffrages spécifiques peuvent être nécessaires pour réaliser les angles des murs d'un seul tenant, l'idée étant d'éloigner les joints entre banchées de l'angle du mur, pour ne pas le fragiliser.

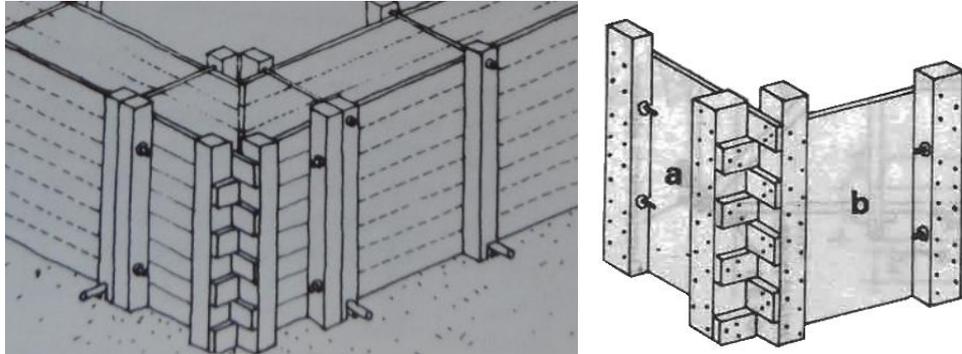


Exemple d'angle en « L »



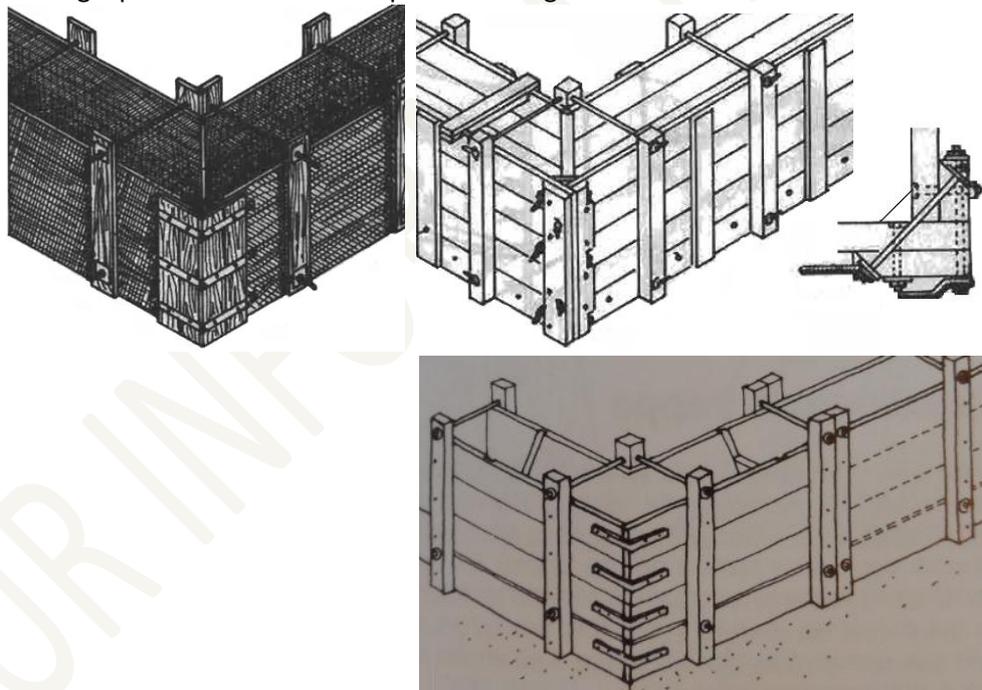
Coffrage courant + module d'angle

Pour réaliser l'angle du mur, on peut rajouter au coffrage habituel un élément d'angle, qu'on vient fixer solidement sur le coffrage extérieur.



Coffrage d'angle spécifique

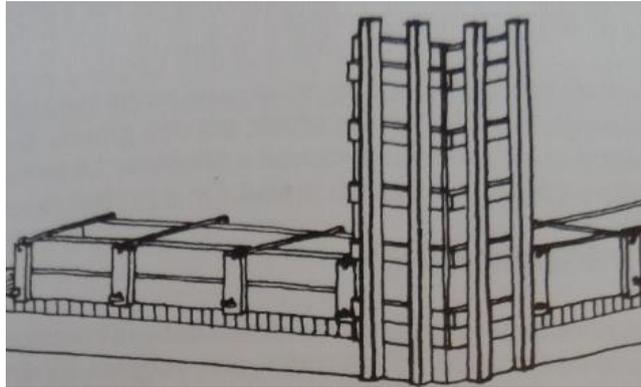
Le coffrage d'un angle peut aussi être réalisé par un coffrage dédié.



Coffrage d'angle intégral

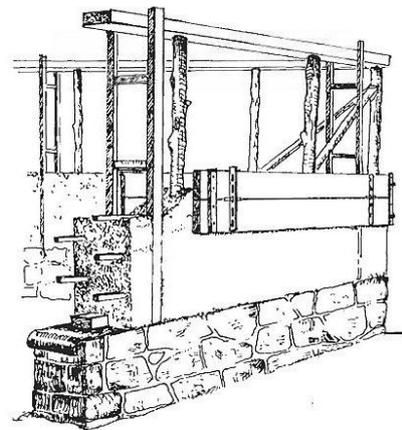
L'angle peut être coffré sur toute sa hauteur en une seule fois. Ce coffrage d'angle est relié levée après levée aux coffrages horizontaux.





Les coffrages perdus

Pour fixer des baies vitrées dans du pisé, il est préférable d'insérer une ossature bois dans le mur plutôt que d'essayer de fixer la baie dans le pisé. Pour créer des niches, des fenêtres, des portes, c'est la même chose. Cette ossature pourra simplifier le travail, les panneaux de coffrage pouvant prendre appui sur l'ossature. La finition (épaisseur, verticalité, ...) sera améliorée. Néanmoins, le bois peut gonfler à cause de l'humidité du mur frais, s'il n'est pas protégé par un film plastique.



Pour solidariser le pisé avec l'ossature en bois, on peut visser un tasseau/liteau sur les montants.



Les coffrages à béton NOE

La modernisation des coffrages traditionnels fait appel à certains éléments des coffrages à béton. Il est possible d'utiliser directement des coffrages à béton (type NOE) manuellement portables, ultra rigides, de taille importante, mais d'une hauteur limitée pour faciliter le travail du piseur.

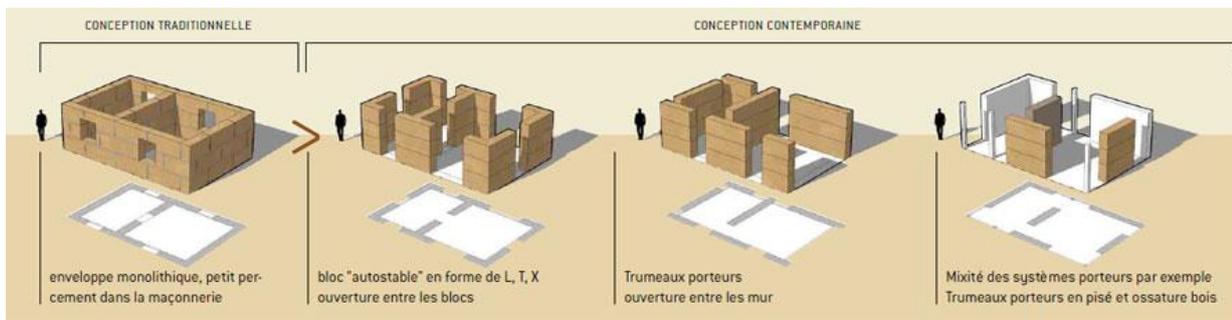


POUR INFORMATION



Les principes constructifs

Conception traditionnelle et conception contemporaine



[Lien](#)

Le pisé préfabriqué

Aujourd'hui, on dispose de tous les moyens de lavage et de transport pour préfabriquer le pisé en atelier, le transporter sur le chantier et construire avec ces « grosses briques ».

Principe

Le pisé préfabriqué, c'est une construction en briques géantes, qui doivent être manipulées avec un matériel adapté à leur taille et leur poids.

On peut faire des blocs de pisé de toutes les tailles, y compris de la taille de BTC ou d'adobes.



A grande échelle

Dans certains gros chantiers, il est parfois plus simple de fabriquer les blocs de pisé au sol, dans des conditions optimales et d'empiler ces blocs géants à l'aide d'une grue. Le nombre de banches nécessaire est très limité.

Les blocs peuvent être fabriqués sur le chantier ou chez l'artisan. Cette dernière méthode permet une fabrication des blocs dans des conditions optimales, mais impose leur transport jusqu'au chantier. Ils devront donc être protégés et rigidifiés pour résister aux chocs et aux vibrations pendant le chargement, le transport et le déchargement.





Nicolas Meunier



→ MISE EN PLACE DES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN PISÉ

France

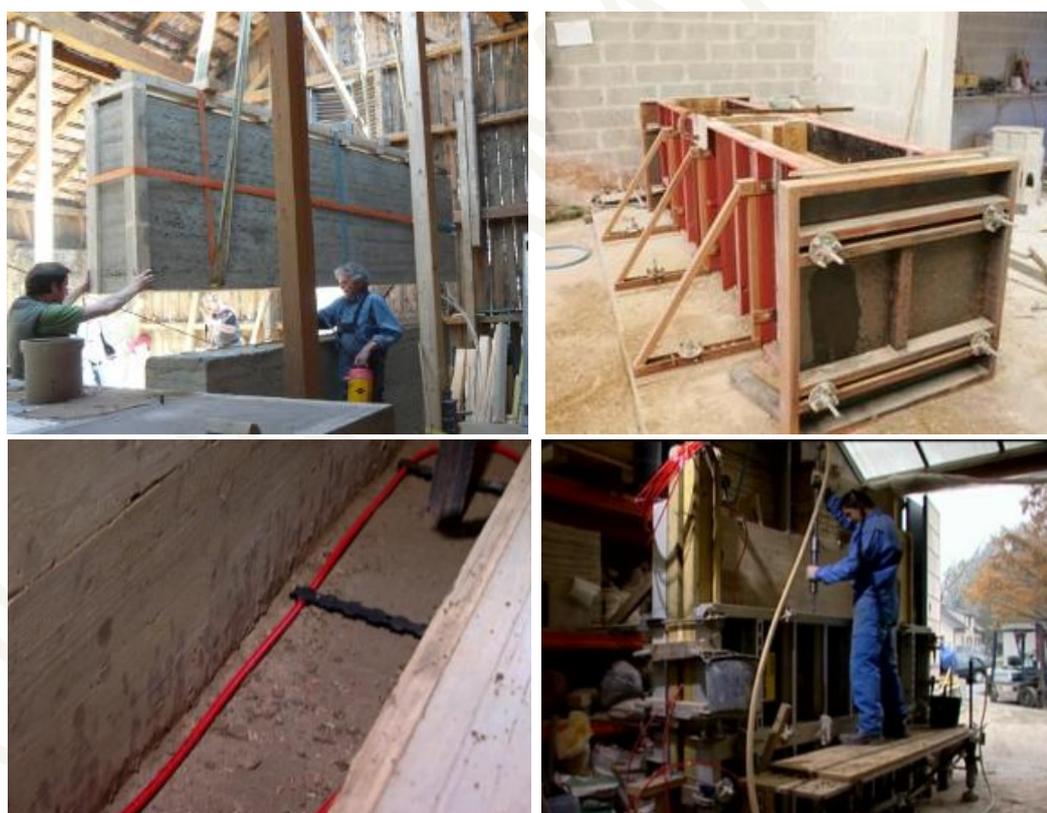


Le pisé



Rebouchage entre chaque banche

Ricola, Laufen, Suisse



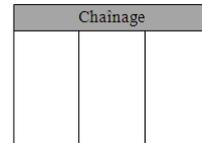
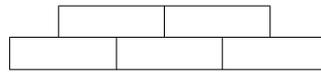
Martin Rauch et autres

L'appareillage

Le pisé, c'est un peu comme des briques géantes qu'on appareille entre elles. On peut les appareiller comme des briques classiques ou en trumeaux (éléments de murs verticaux d'un seul bloc). Certains murs peuvent être coffrés en une seule fois, on parle alors de pisé monolithique. Le pisé monolithique est plus susceptible de fissurer qu'un pisé monté par éléments, où les fissures, lorsqu'elles existent se situent au niveau des raccords de banchées.



Un mortier à la chaux est parfois utilisé pour lier les banchées. Des encoches sont souvent réalisées pour encastrer chaque banchée dans sa voisine.



Appareillage type « briques », appareillage type « trumeaux »

Appareillage type « briques »

Traditionnellement, les murs en pisé se construisent banchée après banchée, en démontant la banche et en la remontant à côté, en progressant horizontalement.

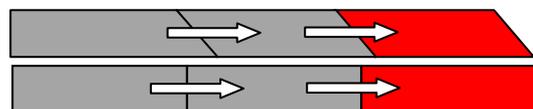


Mauvais appareillage

Mhamid, Maroc

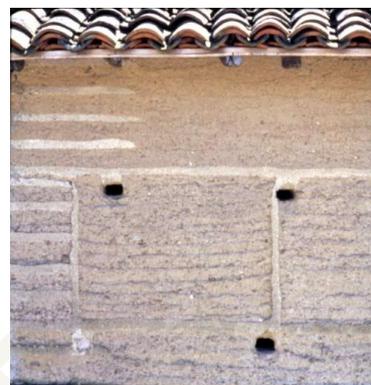
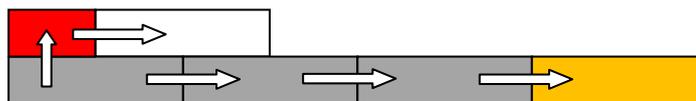
Progression du mur

- ✓ Au sein d'une même rangée
Une fois la banchée terminée, elle peut être décoffrée immédiatement pour être utilisée ailleurs.



- ✓ A l'extrémité du mur, monter d'un rang
Une fois arrivé à l'extrémité du mur, le coffrage est démonté pour être remonté d'un niveau pour réaliser le rang suivant :
 - ⇒ Dans le cas de joints verticaux (droits), on peut choisir le sens de montage de la nouvelle rangée.
 - La première solution, c'est conserver le principe retenu pour la rangée du dessous (repartir de la même extrémité et dans le même sens). La nouvelle banchée est donc réalisée sur un pisé « sec ».

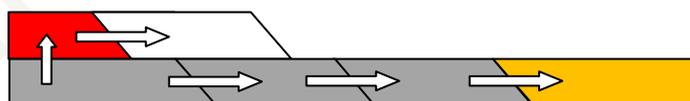




- La deuxième solution, c'est de changer le sens de montage. La nouvelle banchée est donc réalisée sur un pisé « frais ».

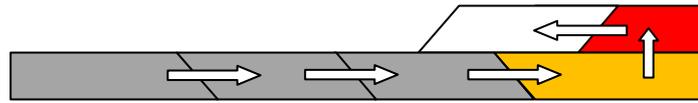


- ⇒ Dans le cas de joints en biais (obliques), on peut aussi choisir le sens de montage de la nouvelle rangée, mais de ce choix découle l'esthétique du mur.
 - La première solution, c'est conserver le principe retenu pour la rangée du dessous (repartir de la même extrémité et dans le même sens). La nouvelle banchée est donc réalisée sur un pisé « sec » et les joints sont orientés de la même manière.



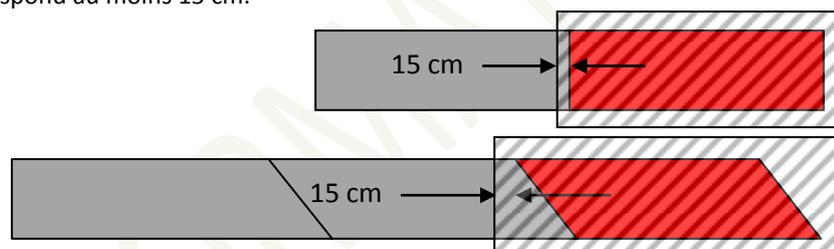
- La deuxième solution, c'est de changer le sens de montage. La nouvelle banchée est donc réalisée sur un pisé « frais ». Le sens de montage change et la nouvelle banchée est donc réalisée sur un pisé « frais ».





Recouvrement horizontal de la banche

On devra toujours faire se chevaucher le coffrage et la partie du mur déjà réalisée sur une longueur qui correspond au moins 15 cm.



Recouvrement horizontal (pisé « sec » ou « frais »)

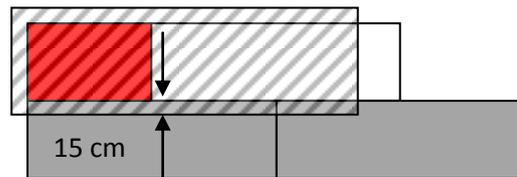


Le Village, Cavailon, 84

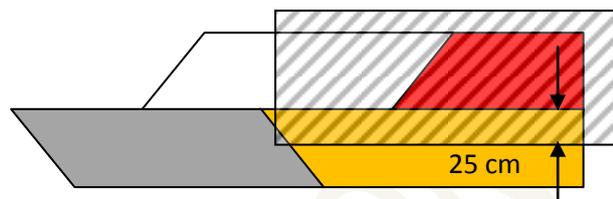
Recouvrement vertical de la banche

La banche doit prendre appui sur la rangée du dessous sur 25 cm environ si la rangée du dessous est « fraîche », pour ne pas fragiliser le pisé frais lorsqu'on pise, et 15 cm lorsque la rangée du dessous est sèche et dure. Cette précaution supplémentaire est nécessaire puisqu'en damant la nouvelle banchée, la pression exercée sur la terre va faire se boudiner le pisé « frais ».





Recouvrement vertical sur pisé « sec »



Recouvrement vertical sur pisé « frais »



Le Village, Cavailon, 84

En Allemagne, on préconise un chevauchement vertical d'au moins 1 mètre, ce qui évite tout problème de maintien de la verticale, de glissement du coffrage vers le haut, et de boudinage de la banchée du dessous.

Appareillage type « trumeaux »

Dans le cas de blocs montés en trumeaux, il est indispensable de créer une grosse rainure verticale pour lier correctement les deux banchées. Une forme en bois conique (base carrée ou légèrement rectangulaire) est placée à une des extrémités de la banche. La largeur de la rainure est approximativement d'un quart de l'épaisseur du mur.





Encoche sur mur en trumeau



Esthétique d'un mur trumeau

Dehlingen, 67
Mur trumeau préfabriqué

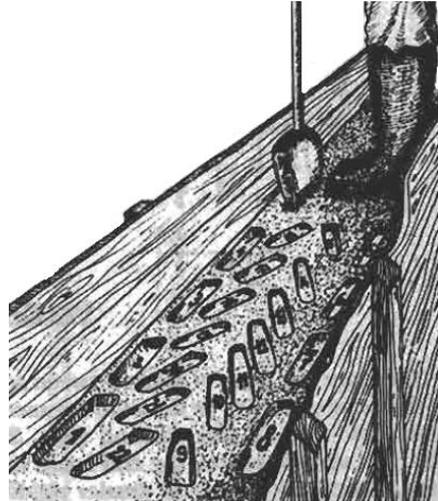
Les murs trumeaux doivent être chaînés pour solidariser les blocs verticaux.

Les raccords entre banchées (appareillage type « briques »)

Le raccord avec la banchée du dessus

Afin de permettre une meilleure accroche avec la banchée du dessus, on crée des aspérités (coup de marteau, de pisoir ou avec le manche du pisoir) sur chaque banchée, avant de décoffrer.

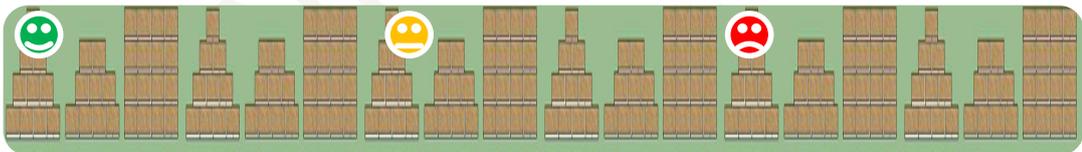
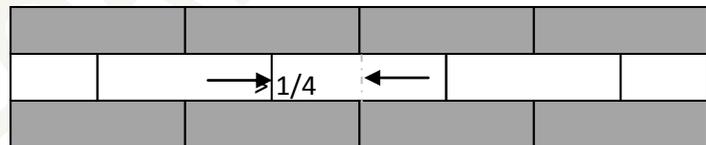




Le raccord avec la banchée d'à côté

Une banchée n'est après tout qu'une très grosse brique, et dans une construction en briques, les joints d'une levée ne sont pas alignés verticalement avec ceux des levées précédentes et suivantes pour éviter le coup de sabre (fissuration).

Le recouvrement minimum de deux briques superposées est d'au moins un quart de la longueur du bloc. Si le projet s'y prête, il faut aussi appliquer cette règle à la construction d'un mur à construire, que les raccords soient en biais ou verticaux.



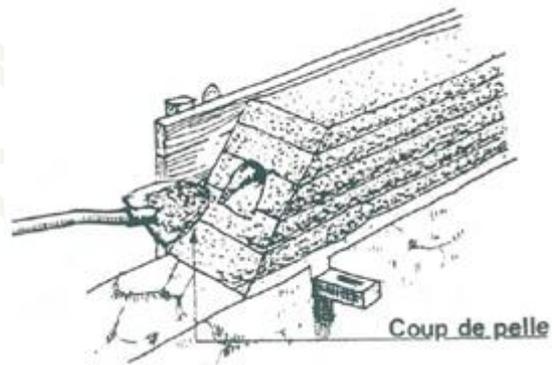
Les joints en biais (à l'équillade)

Les joints en biais permettent de limiter les défauts d'étanchéité qui peuvent apparaître lors du séchage du mur (retrait). Les sens de montage des levées successives sont facilement lisibles une fois le mur réalisé.

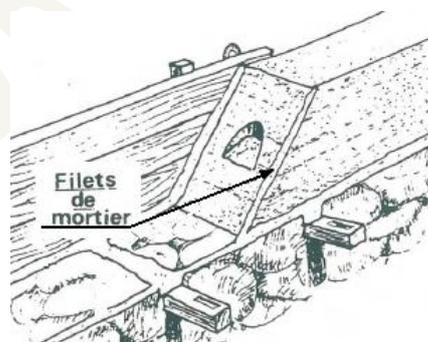
Réaliser un joint en biais propre et bien droit du premier coup n'est pas facile, surtout si l'angle du biais est important. Dans ce cas, on utilisera un fond de coffrage et couches de terre après couches de terre, on mettra des tasseaux pour former le biais. De la terre sera disposée et tassée des deux côtés. Au décoffrage, on fera sauter la partie de terre du côté du fond de coffrage, et on pourra finir proprement le raccord en biais à la disquette, sur quelques cm d'épaisseur.



Le Village, Cavailon, 84



Entre les deux banches on peut mettre une trainée de mortier réalisé avec une chaux grasse pour former une liaison entre les deux masses de terre.



Les joints verticaux

Si vous choisissez de faire un mur avec des joints verticaux, on procédera comme pour l'appareillage en trumeaux, à savoir, en créant une rainure pour solidariser les banchées voisines.

Entre les deux banches on met une trainée de mortier réalisé avec une chaux grasse pour former une liaison entre les deux masses de terre.





Nicolas Meunier

Un bonne toiture parce qu'il pleut

Mécanisme d'endommagement par l'érosion (mur de clôture)

Pour comprendre l'effet de l'érosion sur un mur, on peut regarder ce qui se produit sur un mur de clôture, non couvert.

Le pisé n'est pas une matière homogène (cailloux), qui n'est pas tassée de manière homogène. L'eau va commencer par accentuer ces hétérogénéités. La plus grosse hétérogénéité se situe au niveau des raccords de banches, surtout si du retrait s'est produit.

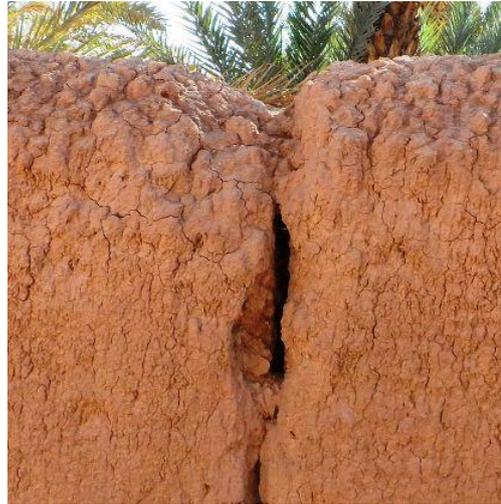


Mur de clôture, milieu de banche (Maroc)



« Cheminée de fée » sous un cailloux (Agdes, Maroc)





Mur de clôture, raccord de banche (Maroc)

De gros sillons finissent par se creuser. Le mur fond par le haut.



Sillons de plus en plus profond, Maroc

Le mécanisme est d'autant plus rapide que le pisé comporte des fissures.



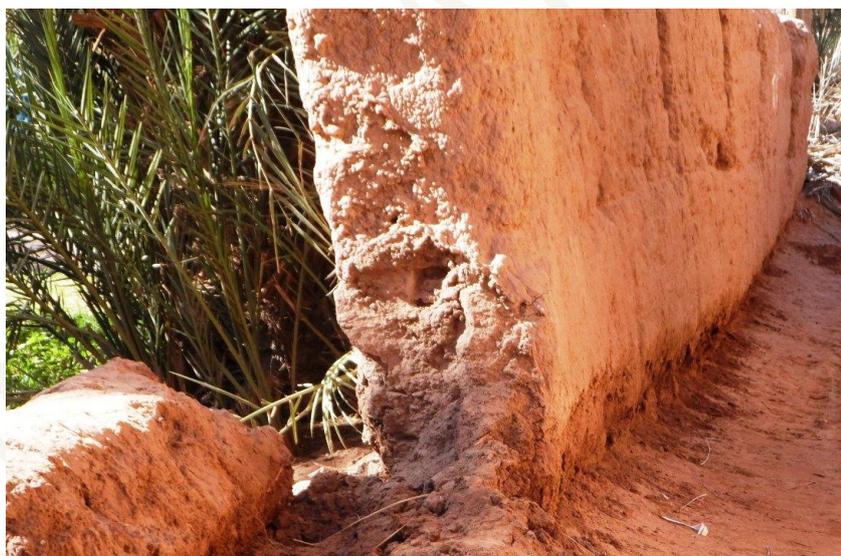
Mur de clôture neuf en pisé, très fissuré. Maroc

La terre érodée s'accumule au bas du mur, et, si ce n'était pas déjà le cas, permet à l'eau de remonter par capillarité, et de stagner en bas du mur. L'eau attaque désormais le mur pas le bas et le mur est en péril. Le mur finira par pencher puis tomber, par le bas, jamais par le haut.



Mur en pisé attaqué par l'humidité permanente en bas de mur.

Maroc



Mur de clôture (partie tombée à gauche, partie en péril à droite)

Des solutions qui déplacent le problème

Pour stopper l'érosion sur le dessus d'un mur en pisé, on peut réaliser un enduit stabilisé sur la partie supérieure du mur. L'érosion sera stoppée en partie haute, mais reprendra juste en dessous de la partie enduite. Le processus de dégradation se poursuivra.





Mur coiffé en partie haute du mur par un enduit stabilisé, érosion juste au dessous

A la place de l'enduit, on peut imaginer recouvrir le dessus du mur par un plastique, mais la même chose se produira. Le plastique peut aussi se perforer (oiseaux, UV/soleil) ou s'envoler. Cette solution ne peut être que provisoire, peut protéger le mur à certains endroits, mais empirer la situation là où l'eau s'infiltrera.



Bâches de protection (Maroc)

Une partie de la solution : le débord de toiture !

Un mur en pisé correctement protégé de l'eau reste suffisamment sec pour maintenir les ossatures en bois, linteaux, ... dans des conditions qui garantissent leur pérennité (la terre assèche le bois en pompant son humidité).

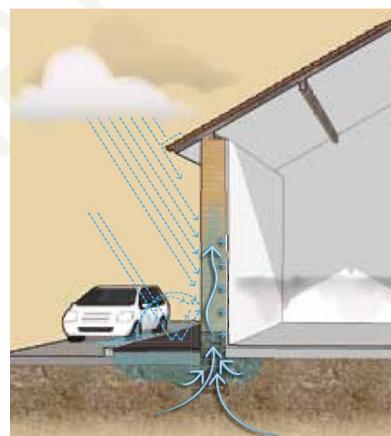
Les murs en pisé doivent être protégés :

- De l'eau qui tombe du toit (en l'absence de gouttières, et en présence de gouttières, qui parfois débordent). Avec le vent, cette eau peut être projetée sur le mur. Les murs pignons ne sont pas exposés.





- Du ruissellement (sur les parties exposées à la pluie. Il ne pleut pas toujours à la verticale !).
- Des rejaillissements en pied de murs. Les murs pignons sont moins exposés.

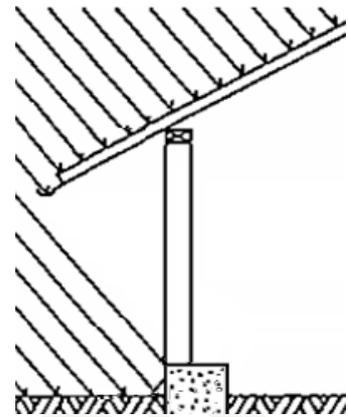


Impact direct (pluie) et indirect (projection d'eau depuis la route, rejaillissement en pied de mur)

Les murs en pisé doivent donc être protégés par un bon débord de toit, sans quoi l'eau de pluie ruissellera le long du mur. Le ruissellement sera d'autant plus important que le mur sera haut. Le fait que les murs en pisé possèdent généralement du fruit côté extérieur accentue la nécessité d'un bon débord de toit.

Un débord de toit doit exister sur chaque mur, même sur les murs pignons. Le débord de toit est moins important sur les murs pignons (prise au vent). Ils peuvent être protégés contre le ruissellement par un enduit à la chaux.





Principe du débord de toit



Débord de toit important dans une ferme

Ain



Débord de toit sur mur pignon, mur non enduit

Photo [Naturabati](#)

Le débord de toit protège de la pluie, sauf quand il pleut à l'horizontale à cause du vent. Si l'eau ruisselle sur le mur, la partie basse du mur sera plus rapidement endommagée que la partie haute.



Effacité d'un débord de toit limité à la banche supérieure

Bourg-le-Comte, 71, bâtiment très ancien



État de surface d'un mur en pisé sans bande stabilisé après 1 an de vie

Côté protégé du vent/pluie à gauche

Côté exposé aux vents/pluie à droite

Débord de toit 15 cm

Le Village, Cavailon

Le besoin de protection par l'avant-toit dépend de l'exposition du mur au vent dominant, des pentes de toiture, de la présence de chéneaux et de la nature de la terre.

Exemples de chapeaux sur des murs de clôture et sur le parapet de toitures végétalisées

Au Maroc, les maisons en pisé sont associées à des toitures terrasses. Le parapet des murs est coiffé d'une protection sacrificielle faite à partir de roseaux, de terre non stabilisée et d'enduit terre-paille. Cette couche permet d'absorber une partie de l'eau de pluie. Ce chapeau doit être réparé au fil des années pour remplacer les roseaux et la terre/l'enduit qui n'auront pas manqué de disparaître au fil des pluies.



Débord de toit insuffisant sur mur en pisé présentant du fruit, conséquences en pied de mur

Quarzazatte, Maroc



Chapeau non entretenu → cailloux apparent → protection inefficace → érosion

Tifloutoute, Maroc

Une évolution de cette technique passe par l'ajout d'un film plastique au dessus des roseaux. Dans le cas ci-dessous, des adobes fibrées sont utilisées à la place de la terre/enduits.





Roseaux + plastique + adobes

Mhamid, Maroc

Dans les régions disposant de pierres plates, elles peuvent être utilisées en remplacement des roseaux. Attention néanmoins à ce que l'eau ne s'infilte pas entre les pierres, ce qui produirait un ruissellement à ce niveau.



Pierres plates + terre

Nekob, Maroc



Traces d'humidité sous les pierres

Nekob, Maroc

La terre se lessivera progressivement de la même manière qu'avec la protection utilisant les roseaux.





Lessivage de la terre au dessus des pierres plates

Nekob, Maroc

En l'absence de pierres, des plaques de ciment peuvent être fabriquées



Plaques de ciment

Nekob, Maroc

Les pierres plates ou les plaques de ciment, une fois recouvertes de terre peuvent être enduits avec un enduit à la chaux ou au ciment, ce qui constitue une bonne solution (bon débord + pas d'infiltration).



Enduit ciment sur la protection du parapet d'une toiture végétalisée

Nekob, Maroc

Et parce qu'il ne pleut pas toujours à la verticale

Stabiliser à la chaux

A la surface du mur extérieur

Lorsqu'un mur en pisé présente un aspect de millefeuille marron et blanc, c'est sans doute que la terre utilisée était de qualité médiocre et manquait de cohésion (trop limoneuse, pas assez argileuse, ...). Les couches blanches sont en fait des cordons de terre stabilisée à la chaux qui permettent de compenser les points faibles de la terre et accroître la résistance à l'érosion du mur. Plus la terre est fragile, plus les cordons de chaux seront rapprochés. Suivant les régions et la qualité de la terre, ce liseré de chaux pourra être rajouté sur toute la longueur du mur le long de la banche, après chaque couche de terre, une couche sur deux, ou seulement après chaque levée, voir jamais.



Stabilisation de surface sur mur non enduit

Pour économiser les matériaux, le pisé n'est stabilisé que sur une dizaine de centimètres d'épaisseur et sur 5 à 10 cm de hauteur. Le cordon de chaux n'est jamais traversant, le cœur du mur étant rempli avec de la terre ordinaire. Il renforce la surface du mur face aux



agressions extérieures et améliore l'accroche des enduits à la chaux qui peuvent être rajoutés.



Stabilisation de surface en sapin de Noël (visible sur un mur en mauvais état)

Céron, 71

Après décoffrage du mur, lorsque de la chaux est utilisée, le mur est mis (en théorie) en cure humide environ 3 semaines, pour permettre à la chaux hydraulique de faire correctement sa prise.

Sur les murs exposés non enduits, le pisé se creusera entre les lits de mortiers au fil des années, malgré le liseré de chaux en forme de triangle rectangle.

L'hypoténuse du triangle est inclinée vers le bas et vers l'intérieur du mur. Une partie de l'eau de ruissellement aura tendance à pénétrer dans le mur en descendant le long de cette arête, ce qui aura pour effet d'absorber une partie de l'eau et donc de limiter le ruissellement.



Érosion des lits de terre non stabilisés en surface

Dans la photo ci-dessus, on voit une bande intacte sur deux (elles sont stabilisées en surface). Entre elles, les bandes ne sont pas stabilisées. Sous chaque bande stabilisée, le ruissellement résiduel creuse quand même le pisé.



Le pisé

Si le liseré n'était pas incliné vers l'intérieur ou s'il avait été trop stabilisé, l'érosion aurait certainement été plus importante, peut-être même davantage que si aucune bande n'était stabilisée.

Ce mécanisme est observé sur le bloc de pisé témoin présenté dans les photos suivantes.

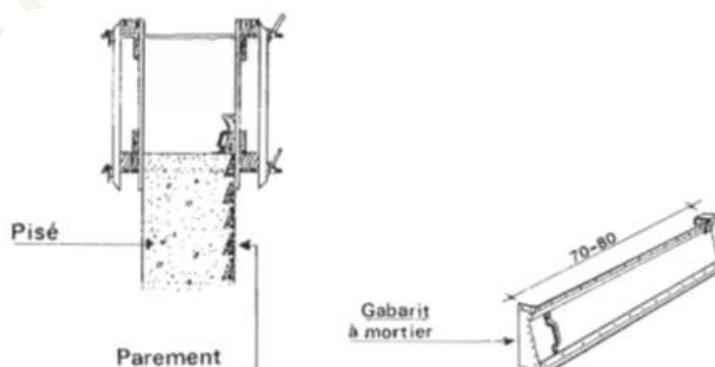


Bloc témoin en pisé, non protégé, après un an

À gauche sans couche stabilisée

À droite avec l'avant dernière couche stabilisée dans la masse. La stabilisation a accentué l'érosion en dessous de la couche stabilisée.

Pour avoir une finition régulière et des lits stabilisés à la chaux qui recouvrent uniformément le mur, on peut utiliser des gabarits comme celui-ci :



Gabarit de stabilisation

Il suffit de tasser légèrement la terre stabilisée dans les gabarits et de retirer immédiatement le gabarit, de verser la terre non stabilisée dans la banche et de piser normalement la totalité du lit de terre.

Dans la masse

Le pisé « moderne » est souvent stabilisé dans la masse à la chaux hydraulique naturelle. Une cure humide de 3 semaines est nécessaire après décoffrage pour permettre à la chaux hydraulique de faire sa prise. La stabilisation au ciment (jusqu'à 12% !) est aussi couramment pratiquée.



La stabilisation dans la masse n'est pas toujours nécessaire, mais, du fait du faible coût (financier) de la chaux, elle est couramment pratiquée. Elle rassure aussi souvent les clients sur un matériau qu'ils ne connaissent pas. Pour les rassurer, vous pouvez leur dire que le Smecta, c'est de l'argile. La stabilisation permet aussi d'éviter d'enduire le pisé et de conserver un cachet indéniable.

Intégrer des bandes horizontales saillantes

Pour éviter ou limiter le ruissellement et ses effets destructeurs, il est possible de disposer des briques en terre cuite bien jointives, horizontalement, de proche en proche, sur la partie du mur exposée aux intempéries. Les briques doivent être saillantes pour être efficace. C'est ce qui a été fait pour la maison présentée dans la photo ci-dessous. La manière dont les briques ont été disposées n'est pas connue (logiquement dans la banche, horizontalement, en saillie). La terre aura tendance à s'éroder en dessous des briques et à sédimenter au dessus de la rangée de brique située en dessous.

La maison étant récente, on manque de recul sur cette technique. Personnellement, j'é mets des doutes sur le bon fonctionnement au niveau des extrémités de chaque brique cuite. Si l'eau s'infiltré par cet endroit, le pisé se creusera en dessous, ce qui serait contreproductif. A voir dans le temps !



Maison de Martin Rauch, Autriche

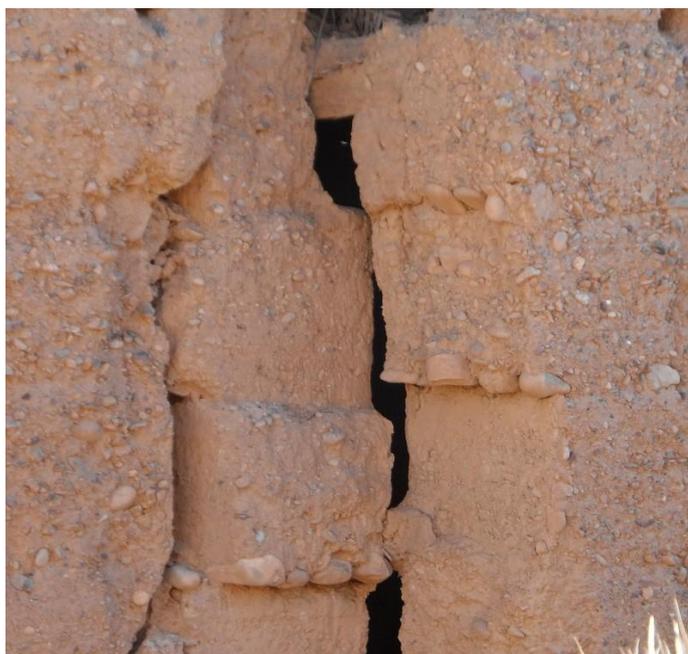
[Lien](#)

Des bases saines et solides pour mettre le pisé à l'abri de l'eau

Les fondations

De part son poids (1800 à 2200 kg/m³), le mur en pisé 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 pisé 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.





Tassement différentiel sur une ruine

Tinzouline, Maroc

Le soubassement

Les murs en pisé seront montés sur un soubassement (pierre, brique cuite, parpaing, ...) pour les protéger des inondations (soubassement suffisamment haut), des projections d'eau (eau qui tombe du toit, voitures, ...) et des remontées capillaires (la terre se comporte comme un papier buvard).

Le soubassement peut aussi être plus important pour limiter l'usure induite par le passage des hommes, des véhicules ou des animaux.

La zone la plus fragile d'un mur en pisé est généralement située juste au dessus du soubassement. En effet, c'est dans cette zone que le pisé est le plus sollicité mécaniquement (il porte l'ensemble de la maison), alors que sa résistance mécanique est fortement diminuée dès qu'il est humide, ce qui peut se produire à cause des remontées capillaires du sol et du rejaillissement d'eau frappant le sol.

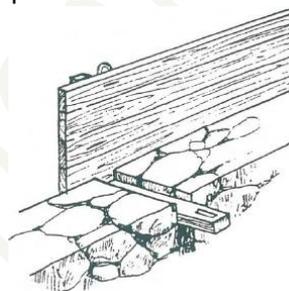


Soubassements traditionnels en galets hourdés à la chaux (gauche) et pierres taillées (droite)



Le mortier de jointoiment des pierres du soubassement (chaux - sable) permet d'évacuer par ses pores l'eau qui remonte dans le mur par capillarité. Pour que ça fonctionne bien, le soubassement fasse au moins 50 cm de hauteur (au dessus du niveau du sol) et ne doit pas être enduit.

On prévoira des réservations pour insérer les clés de coffrage dans le soubassement. L'horizontalité des réservations, et leur bon alignement est un élément important à ne pas négliger. Ces réservations doivent être noyées dans le soubassement sur au moins 5 cm, pour que les banches pincent le soubassement, et ne soient pas seulement posées dessus.



Réservations de clés

Le rejaillissement d'eau



Evacuation d'eau d'une toiture terrasse et effet en pied de mur

Effet direct (eau impactant directement le mur à cause de son fruit) et indirect (projection)
Tinzouline, Maroc

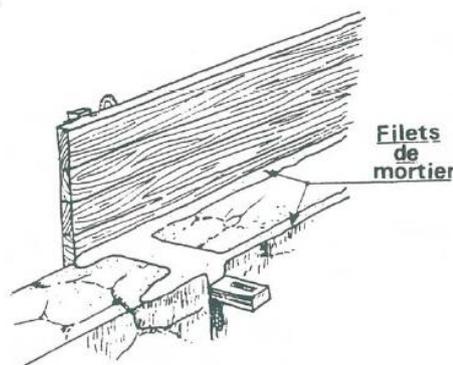
Protéger le premier lit de pisé en le stabilisant

Le premier lit de terre doit être stabilisé (au moins en surface) pour le protéger de l'eau ruisselant du mur. Sans stabilisation, l'eau va s'infiltrer et stagner juste au dessus du soubassement. Deux conséquences : La résistance à la compression du mur va être diminuée et l'eau érodera progressivement le premier lit de terre. La stabilisation du premier lit de terre empêche l'érosion.



Érosion du pisé juste au dessus du soubassement

[Lien](#)



Filet de mortier en surface du premier lit de terre





Soubassement en pierres hourdées au béton de chaux

Bourg-le-Comte, 71

Notez que le premier lit de pisé est stabilisé sur la partie extérieure

Ce problème est amplifié par les techniques modernes utilisant une barrière anti remontées capillaires. La stabilisation devient dans ce cas indispensable. Elle doit être faite dans la masse, avec un dosage en liant plus important sur la partie exposée du mur (extérieur, > 10%).

Le pisé sera stabilisé à la chaux sur environ 10 cm au dessus de la barrière anti remontées capillaires.

Cette épaisseur protectrice est parfois réalisée par voie humide (béton coulé) pour éviter de trouser le film goudronné lors du compactage de la première couche de terre.



Pisé (légèrement stabilisé dans la masse) érodé au niveau du seuil d'une ouverture

Bâtiment neuf

Rejaillissement d'eau depuis le seuil métallique, ce qui équivaut à une absence de soubassement, corrigée par la stabilisation du pisé. La stabilisation est trop légère.

Empêcher les remontées capillaires

Pour compléter le soubassement, un film goudronné ou un mortier avec adjuvant hydrofuge sera réalisé au dessus du soubassement pour empêcher les remontées capillaires.





Soubassement en parpaings, pisé non stabilisé au dessus du film goudronné, érosion

Le Village, Cavaillon, 84

Le premier lit de pisé n'étant pas stabilisé, l'eau de ruissellement s'accumule au dessus du film goudronné et érode progressivement le pied du mur. Il aurait fallu stabiliser le premier lit de terre.

Là où ces produits modernes ne sont pas disponibles, le premier lit de pisé peut être réalisé sur un lit de pierres qui fera office de protection anti capillaire entre le soubassement et le pisé.



Soubassement pierre-ciment + rangées de pierre montées à sec

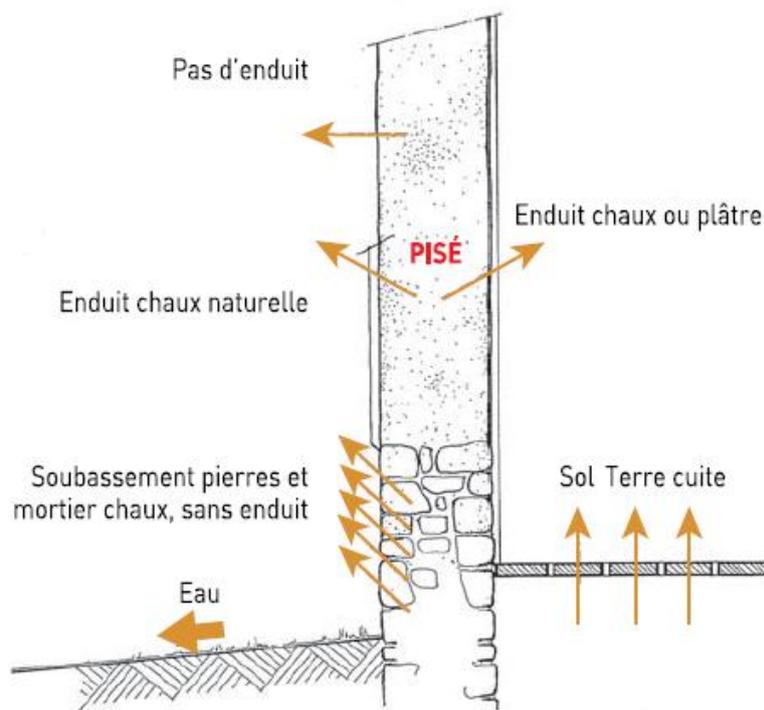
Tinzouline, Maroc

Évacuer l'eau, d'où qu'elle vienne

L'eau de pluie

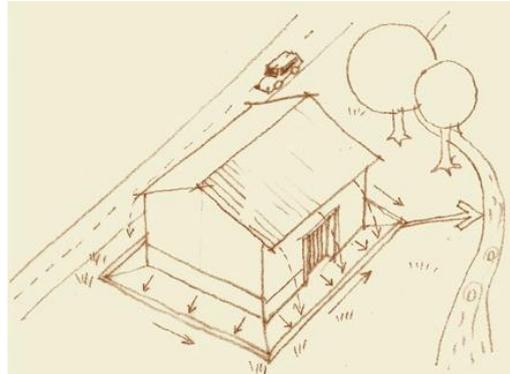
L'eau de pluie doit être évacuée loin du bâtiment par une pente douce et (c'est mieux) vers un drain périphérique extérieur situé à l'aplomb des gouttières afin d'éviter que ces eaux ne stagnent en bas des murs. Il va de soi que le drain doit être entretenu !

La prévention de la pathologie humide du pisé



Illustrations Pascal Scarato (ABITerre) et Thierry Lolson

Source AQC n°143



Principe du drain extérieur périphérique

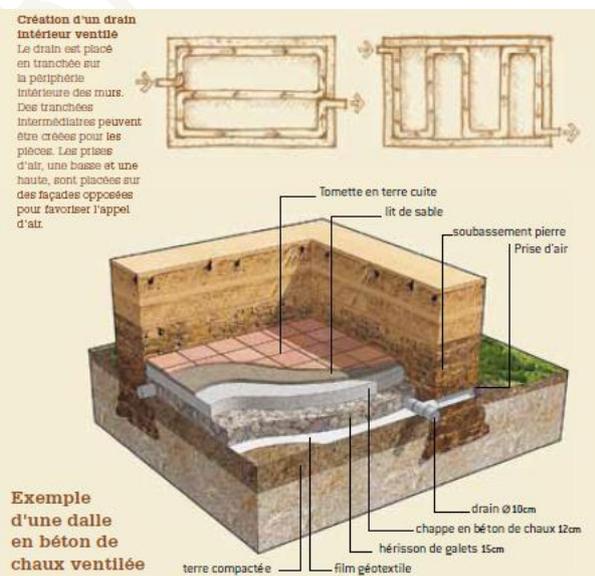
L'eau du sol intérieur

A part dans le désert, le sol n'est pas sec, même si il semble sec. Une partie de son eau est évacuée par évaporation. Le sol intérieur aussi contient de l'eau qui cherche à s'évaporer, ce qui est impossible si le plancher est imperméable.

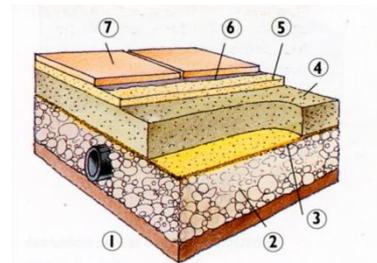
Si les dalles sont étanches (dalles ciment et/ou isolant synthétique), l'eau va s'insinuer dans le bas des murs et augmenter les remontées capillaires, ce qui créera des désordres.

Les dalles intérieures doivent donc être perspirantes (pour laisser la vapeur d'eau passer au travers de la dalle) et ventilées pour évacuer le reste d'eau vers l'extérieur du bâtiment (drain).

Quelques exemples de dalles :



Exemples de drain intérieur et de sol perspirant

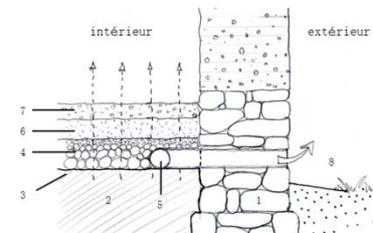


Chape isolante sous sol en terre cuite traditionnel (doc. J.-P. Oliva).

- 1 Terre compactée
- 2 Hérisson en cailloux lavés avec aérations
- 3 Fermeture du hérisson gravier + sable ou film géotextile
- 4 Chape isolante ou panneaux liège
- 5 Chape de pose maigre chaux NHL*/sable
- 6 Chaux NHL pure
- 7 Carrelage terre cuite

[Autre exemple](#)

- Dalle de terre sur hérisson ventilé.**
- (1) Soubassement en pierre
 - (2) Fond de fouille en terre compactée
 - (3) Film géotextile
 - (4) Hérisson de galets 15 cm
 - (5) Drain de 10 cm de diam.
 - (6) Chape de chaux pouzzolane de 10 cm
 - (7) Terre damée 8 cm + cire dure
 - (8) Prise d'air basse



[Autre exemple \(Naturabati\)](#)

Le drain intérieur est relié à un drain périphérique extérieur placé plus profond que lui, et à une distance suffisante des murs (plus d'un mètre) pour éviter l'accumulation d'eau à proximité du soubassement).

La végétation

La végétation, c'est beau, un arbre, ça pompe l'eau du terrain. Oui, c'est vrai, mais il faut les laisser à distance des murs.

Les racines des arbres peuvent conduire à la fissuration des murs. Les plantes grimpantes retardent le séchage des murs après la pluie. Elles facilitent aussi la vie aux petits rongeurs.



[Végétation ayant colonisé le mur en pisé](#)

Photo [Naturabati](#)



Plantation à moins d'un mètre d'un mur en pisé

Mhamid, Maroc

Les autres règles

Le fruit

Hier

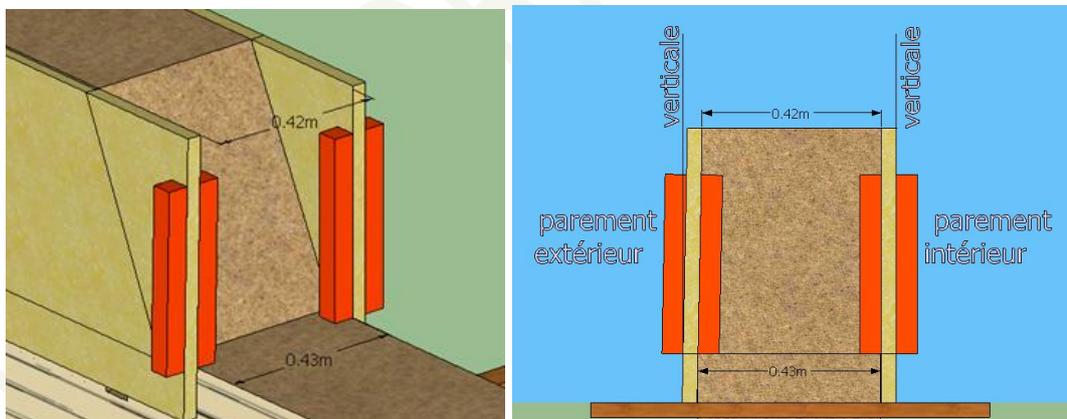
Les murs en pisé construits autrefois présentaient un fruit de quelques degrés (1 cm par banchée, parfois plus). Le fruit est un des indices qui permettent d'identifier que le mur est construit en pisé.

L'épaisseur du mur diminue sur son parement extérieur, au fur et à mesure qu'on l'élève, avançant ainsi sa base par rapport à l'aplomb du sommet. Cette obliquité de la face extérieure du mur permet entre autres de le rendre plus résistant aux forces qui pourraient le pousser vers l'extérieur.



Fruit sur une tour, partir du 1^{er} étage

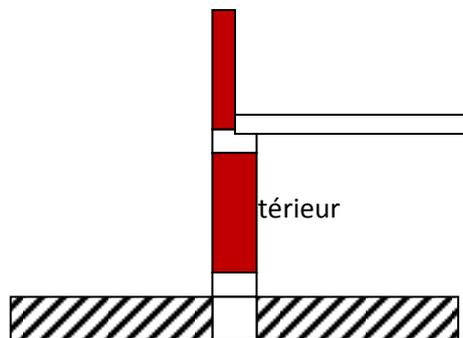
Tinzouline, Maroc



Fruit et banche de coffrage

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. Pour alléger les murs en partie haute, on aura plutôt recours à des murs en escaliers, les marches étant situées côté intérieur.





Principe, mur à étage sur une ancienne maison

Maroc

Aujourd'hui

Aujourd'hui, les règles et les logiciels de calculs de résistance mécanique permettent de s'affranchir de cette contrainte et d'élever des murs ne présentant aucun fruit.

A chaque changement de niveau, pour répondre aux nouvelles normes parasismique, on pourra réaliser un chaînage horizontal en béton armé, ce qui permettra du même coup de faire reposer les planchers sur la marche.

L'épaisseur des murs

Traditionnellement, l'épaisseur des murs en pisé est d'environ 50 cm, pour qu'un homme puisse travailler depuis l'intérieur de la banche. La largeur minimale pour pouvoir travailler de l'intérieur avec des banches peu hautes (en dessous du genou) est d'environ 35 cm.



Piseur un peu à l'étroit dans le coffrage

Une telle épaisseur paraît surdimensionnée si on les compare à une construction contemporaine. Ce surdimensionnement était en partie rendu nécessaire à cause des remontées capillaires. En effet, la présence d'humidité fait chuter la résistance mécanique du matériau, compensée à l'époque par une épaisseur plus forte. Aujourd'hui, ce surdimensionnement n'est plus utile.

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



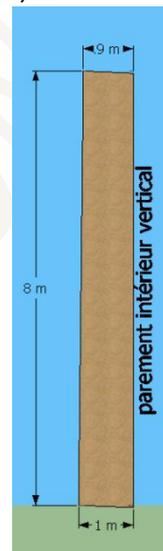
En Allemagne, l'épaisseur des murs porteurs extérieurs doit être supérieure à 32.5 cm, et les murs intérieurs doivent être d'au moins 24 cm, sous certaines conditions.

(Voir règles adobes).

L'élançement

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

Sans les garde-fous modernes, l'élançement maximal d'un pur en pisé 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, ...



L'élévation 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 façades sont fragilisées par la présence des ouvertures. Elles ne doivent pas excéder 1/3 de la surface totale du mur. Leur portée est limitée à 1,2 mètre. On évite de les placer à moins d'un mètre d'un angle pour ne pas l'affaiblir.
- Les proportions des murs entre 2 angles ont en règle générale ne dépassent pas un élançement 8 en hauteur et 12 en longueur

La lisse haute

La lisse haute permet de transférer les charges depuis la charpente sur les murs porteurs. Si les charges sont « mal » transférées (transférées sur la partie extérieure du mur, contacts ponctuels entre la lisse haute et le haut du mur), des charges ponctuelles trop élevées endommageront le mur en pisé là où elles s'appliquent, et en dessous.

Dans l'exemple suivant, la partie extérieure du mur, stabilisée en sapin de Noël, est tombée du mur, des décennies après que le bâtiment ait été construit. La cause de ce décollement est sans doute due à des charges s'appliquant sur la partie extérieure du mur (modifications à l'intérieur du bâtiment ?, charpente endommagée ?, ...).





Partie extérieure (stabilisée) décollée du mur

Sur 3 hauteurs de banches (Céron, 71)

Les ouvertures

Les façades sont fragilisées par la présence des ouvertures. La construction traditionnelle en terre obéit à quelques règles générales concernant les ouvertures, héritées de siècles de retour d'expériences :

- Limiter la largeur des ouvertures à 1/3 de la longueur du mur.
- Leur portée est limitée à 1,2 mètre pour limiter la charge au dessus du linteau (pour les maisons)
- On évite de les placer à moins d'un mètre d'un angle pour ne pas l'affaiblir.
- Ne jamais placer une ouverture sous un appui de charpente.

Traditionnellement, pour soulager les linteaux, on réalisait des arcs de décharges ou on insérait des poutres en bois au dessus des linteaux en pierre. La recherche de l'esthétisme n'était souvent pas le critère numéro un, on était donc très pragmatique (maison de ferme, bâtiment d'exploitation). Les encadrements de porte, fenêtres, ... étaient faits avec des pierres ou des briques, parfois du bois et souvent un mix de toutes ces solutions.



Fenêtre dans un mur en pisé d'un bâtiment agricole : pierre + brique cuite + tuiles + bois

Bourg le Comte, 71





Arcs de décharges en briques cuites

Céron, 71



Poutre en bois + linteau en pierre (porte double), linteau en pierre (porte simple), arc en brique (lucarne)

Bâtiments agricoles.
Céron (71)



Arc de décharge en brique + linteau en pierre, linteau en bois (lucarne)

Bâtiment agricole
Bourg le Comte (71)

Aujourd'hui dans le neuf

L'emplacement des futures portes, fenêtres, solives de plancher, ... doit être prévu à l'avance. Des caissons démontables, en bois remplis de sable, de la taille de la réservation à créer, devront être fabriqués et insérés dans les coffrages. Le sable évite la déformation des caissons

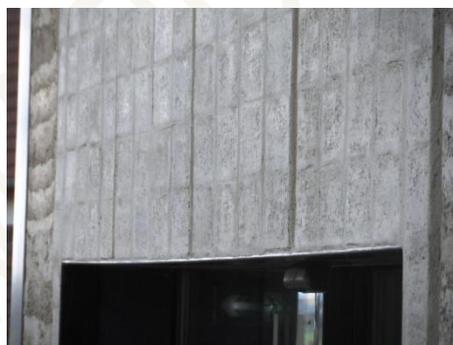


lors du damage. Une fois le caisson démonté, on pourra facilement insérer la porte, la fenêtre, ...

En dehors des ouvertures, le mariage du pisé et d'autres techniques de construction plus rigides est déconseillé dans le sens des descentes de charges. Le changement rapide de résistance mécanique conduit généralement à l'apparition de fissures. Le mariage du pisé avec d'autres matériaux plus rigide est tout à fait possible dans le sens perpendiculaire aux descentes de charges. C'est même parfois indispensable (chaînage horizontal).

Un mur en pisé, c'est lourd. Le poids du mur se rajoute aux charges provenant de la charpente et des planchers.

On recherche davantage l'esthétisme que « dans le temps » (le pisé n'est plus utilisé pour les bâtiments agricoles) et on cherche à mixer la terre avec des éléments d'architecture moins massifs comme le métal. On pense (à tort) pouvoir se passer des arcs de décharge.



Mur en pisé sans arc de décharge au dessus d'un linteau métallique

Le pisé a été remplacé par des briques en terre sur le premier mètre au dessus du linteau (ce qui évite les vibrations). La poutre métallique a fléchi sous le poids du mur.

Bâtiment neuf (67)

Aujourd'hui, on a aussi à disposition des outils de conception, des panneaux de coffrage et la possibilité de stabiliser dans la masse à moindre coût. On peut donc remplacer une partie des pierres/briques cuites par de la terre stabilisée.

Pour coffrer les ouvertures, des fonds de banches ou des châssis indéformables solidement étayés doivent être insérés dans les coffrages pour modéliser la future ouverture. La structure doit être légèrement évasée d'un côté pour faciliter son démontage.



A Villefontaine, sur certains bâtiments, les encadrements des ouvertures ont été faits en béton de chaux.



Domaine de la Terre

Villefontaine

Les supports de linteaux doivent être soigneusement réalisés et placés, en prévision du futur retrait du mur.

Fixation des éléments de façade

Les petits éléments de façade (gonds et loquets) doivent être scellés solidement et profondément dans le mur. Les scellements peuvent être faits à la chaux, ou, dans les encadrements en briques, pierres, bois. Des briques, pierres, cales en bois peuvent être insérées lors de la réalisation du pisé.

Des pré-cadres en bois

Les pré-cadres en bois peuvent être directement intégrés dans les banches pendant la réalisation des murs.



Pré cadre en bois

Tamnougalt, Maroc

Une possibilité pour provisionner des espaces où intégrer des cadres en bois ultérieurement est de créer un renforcement à l'aide d'un élément fixé au coffrage et facilement démontable. Ci-dessous, un demi-tuyau PVC.





Réservation pour pré cadre

Qu'on noie dans la masse ou pas les pièces de bois qui serviront de pré cadres aux menuiseries, il est indispensable de les sceller dans le mur avec des pattes métalliques dont l'extrémité s'élargi, ou des tirants en fil de fer barbelé. Ces pièces seront noyées dans le mur régulièrement sur toute la hauteur de l'ouverture. Le scellement doit permettre de reprendre les vibrations et les chocs induits par la manipulation des ouvrants, sans que des fissures n'apparaissent.



Cadre de fenêtre en bois

Villefontaine

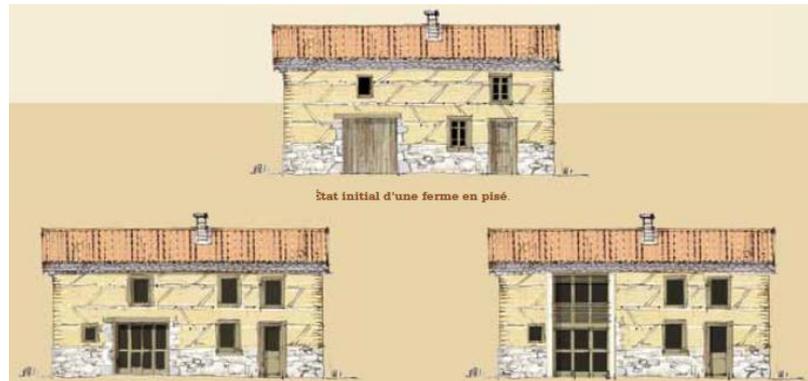
Aujourd'hui en rénovation, le percement des ouvertures

Quelques recommandations structurelles

Le percement d'une ouverture dans un mur en pisé modifie la descente des charges sur le mur et crée un point de fragilité propice aux fissurations.

Il convient de respecter les règles générales utilisées traditionnellement ou de contourner ces règles.

L'option la plus simple pour s'affranchir des risques de fissuration est de percer le mur sur toute sa hauteur et d'y intégrer portes, fenêtres et panneaux de remplissage en bois. Il faut toutefois s'assurer que ce découpage de la structure n'entrave pas la stabilité des murs.

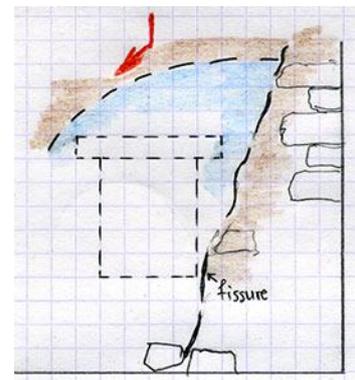


Deux propositions de rénovation

Le mur est-il fissuré ?

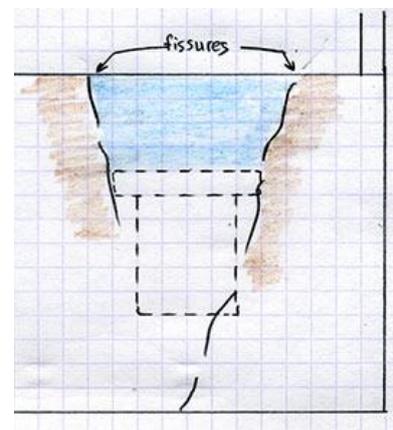
Si le mur est fissuré, il est encore plus important de bien réfléchir (et de faire appel à un professionnel).

Dans l'exemple ci-dessous, le percement est risqué (dans un angle de mur fissuré). La présence de la fissure modifie l'arc de décharge (pointillé). Si vous décidez quand même de percer le mur, il est impératif d'étayer sérieusement, et de décharger le plancher intermédiaire situé au dessus de la future fenêtre.



Une fissure dans un angle

Dans l'exemple suivant, la présence de 2 fissures impose d'ouvrir le mur jusqu'en haut, et de tout remaçonner.



Deux fissures



Comment faire ?

Pour percer une ouverture, il faut travailler en sous-œuvre et étayer correctement le mur pour éviter ... qu'il ne vous tombe dessus, il en va de votre vie ! Ceci est indispensable pour percer des grandes ouvertures et pour des ouvertures trop proches des zones fortement sollicitées par les descentes de charges.

On étaye le mur avec des étais. Pour les petites ouvertures, le pisé étant un matériau très cohésif, étayer n'est pas toujours indispensable. Attention tout de même !

Le bon transfert des charges par les étais doit être réalisé jusqu'au sol. Pensez-y, surtout si l'ouverture doit être percée à l'étage.



Étayage d'un mur en pierre (étais + IPN)

Le mur est percé en 2 étapes (une demi-épaisseur à la fois), les deux étapes étant identiques :

- Marquer l'emplacement de l'ouverture



Marquage de l'emplacement de l'ouverture

- Creuser le futur emplacement du linteau puis l'ouverture jusqu'à mi-épaisseur





Étayage d'un mur en pisé, décroûtage et percement du linteau côté extérieur

- Installer un linteau ou un cadre complet en bois. Si le linteau est en pierre, il est impératif de réaliser un arc de décharge au dessus du linteau pour décharger la pierre, qui casserait.



Installation de la poutre linteau extérieure

- Remplir l'espace au dessus du linteau avec des adobes ou de la terre ou du plâtre



Remplissage du dessus de la poutre

- Laisser sécher le remplissage (et les jambages si ils ne sont pas en bois) avant de percer l'autre côté du mur
- Faire de même de l'autre côté du mur (jusqu'à l'installation du linteau)





Cadre en bois installé, linteau rebouché et sec, début du percement de l'autre côté

Photo [Naturabati](#)

- Relier les deux linteaux/cadres



Liaison des cadres en bois

Photo [Naturabati](#)

- Reboucher l'espace séparant les deux cadres avec du bois, de la terre, du plâtre, ...



Remplissage en plâtre entre les 2 parties d'un cadre en bois

Photo [Naturabati](#)

- Remplir l'espace au dessus du linteau avec des adobes ou de la terre.





Percement du linteau côté intérieur, mise en place de la poutre, rebouchage



Remplissage en terre au dessus d'un cadre en bois

Photo [Naturabati](#)

- Percer en dessous du linteau (si l'ouverture est importante). Sinon, cette étape peut se faire en même temps que le percement du linteau.



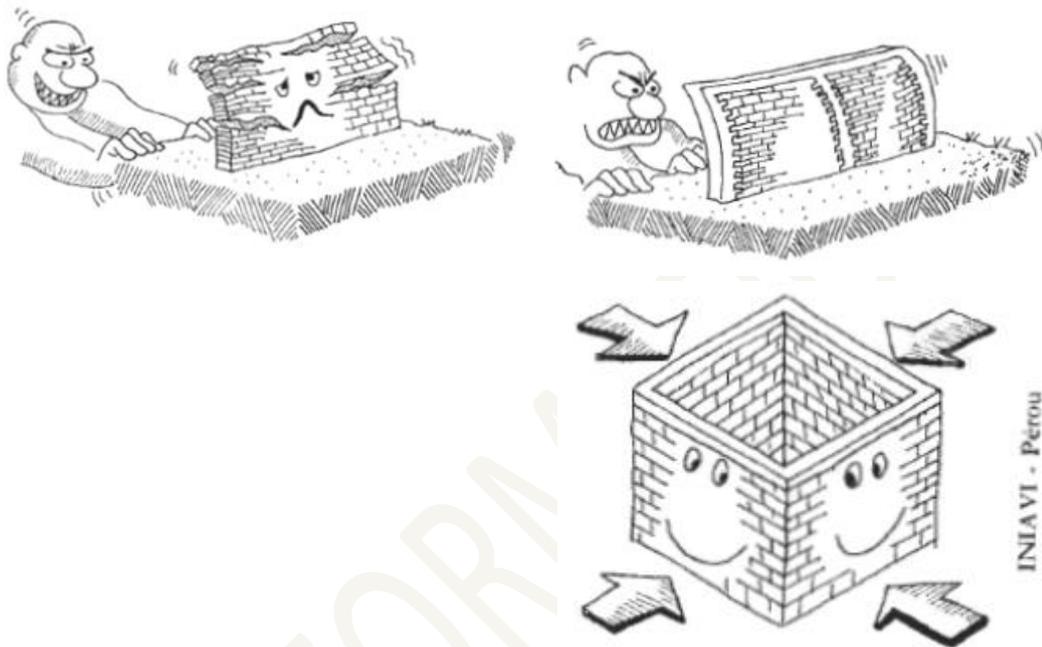
Percement de l'ouverture sous les linteaux

Renforcer pour prendre en compte du risque sismique

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.



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. Ce n'est pas toujours possible sans un bon système de freinage. Dans une construction en terre, les freins, ce sont le chaînage (les renforcements) et la forme du bâtiment. Toutes les formes ne se valent pas (voir [ici](#)).



Les renforcements de la structure peuvent être indépendants (poteaux/poutres) ou inclus dans la maçonnerie (béton armé, chaînage, bambous). Ils permettent de consolider la structure lorsqu'elle est sollicitée en traction ou en flexion (point faible des maçonneries en terre et des maçonneries en briques). Ces renforcements sont indispensables pour que le bâtiment résiste mieux à un séisme, mais aussi au quotidien pour lutter contre les effets des mouvements du terrain (gonflement/retrait).

Pour en savoir plus sur le renforcement mécanique du pisé, voir [ici](#).

Renforcer pour reprendre les contraintes mécaniques

Augmenter la résistance en compression

Il est possible d'augmenter la résistance en compression d'un mur en pisé en insérant des couches horizontales de grillage. La maille du grillage ne doit pas être trop fine pour ne pas désolidariser les couches de pisé. Le grillage possède une bonne résistance à la traction et permet de compenser les points faibles du pisé.

Vous pouvez vous en convaincre en faisant l'expérience suivante : prenez un pot et remplissez-le avec du sable fin humide, retournez-le, disposez une plaque dessus et chargez cette plaque. Au-delà d'une certaine charge, le cône de sable va s'effondrer. Recommencez l'expérience en ajoutant des couches de grillage. La charge maximale qu'on pourra poser dessus va augmenter.



Le grillage géotextile (trame en fibre de verre recouverte de polyamide) est bien adapté au renforcement des constructions en pisé. Les trames végétales (jute, chanvre, ...) ne sont pas assez résistantes pour reprendre les tensions internes du mur. Le grillage n'est pas posé entre deux lits de terre, mais au sein des lits de terre, à peu près au 2/3 de la hauteur d'un lit. Il n'y a pas de compactage intermédiaire au niveau du grillage.

Augmenter la résistance à la traction

La bonne résistance en traction des grillages géotextiles permet de reprendre les tensions créent par le retrait du mur lors de son séchage. Il n'est pas possible, comme dans le cas d'un enduit, de disposer la trame verticalement. On ne pourra la disposer qu'en suivant les couches de pisé.

La trame peut être disposée aux endroits à priori sensibles.

Renforcer les raccords entre banches

Si l'angle d'un mur est fait en plusieurs fois, il n'est pas possible d'intégrer une trame dans les lits de terre pour lutter préventivement contre la fissuration aux raccords entre les deux banches formant l'angle. Dans ce cas, il est possible de renforcer l'angle au changement de niveau comme montré sur la photo ci-dessous.



Palmier pour raccorder les banches dans les angles

Tamnougalt, Maroc

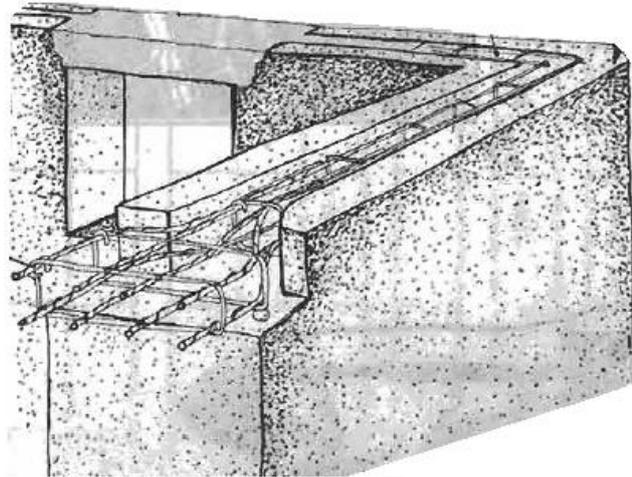
Le chaînage horizontal

En béton armé

Le plus souvent, les chaînages horizontaux sont réalisés en béton armé noyé au cœur du mur et de ce fait, invisible. Avant de couler le béton armé au milieu du mur en pisé, il faut d'abord intégrer un coffrage provisoire au milieu du mur en pisé, damer la terre autour du coffrage, et enlever le coffrage. Un coffrage légèrement trapézoïdal facilitera le démontage.



On ne doit pas chercher à obtenir une surface lisse à l'interface pisé-béton, de sorte que les deux matériaux s'interpénètrent, ce qui améliore le coefficient de frottement terre-béton.



Chaînage béton dans un mur en terre

En bois, par les planchers et la charpente

Les planchers béton sont à éviter car ils engendrent une surcharge importante du pisé. Leur mise en œuvre requiert des tailles importantes dans les murs ce qui fragilise la structure. L'eau du béton au moment du coulage est également une source potentielle d'accident. Ces solutions sont bien souvent irréversibles.

Les chaînages horizontaux peuvent être réalisés en bois si les bois sont profondément ancrés dans le pisé. En effet, le coefficient de frottement entre la terre et le bois n'est pas bon. Du Nergalto fixé sur le chaînage en bois améliore le coefficient de frottement entre les deux matériaux, mais est loin d'être suffisant. Les ancrages doivent pouvoir supporter des gros efforts de cisaillement.

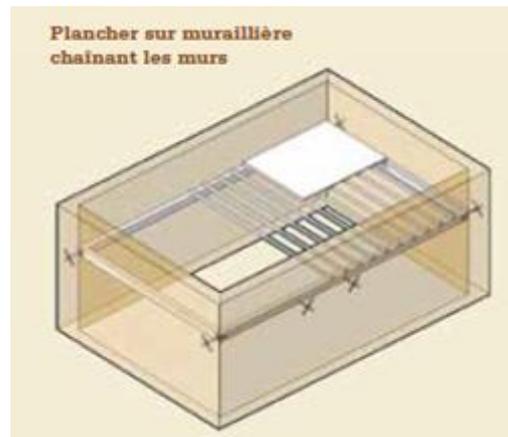
Poutres maîtresses intégrées dans le mur

L'intégration de nouveaux planchers en bois est courante et tout à fait adaptée aux structures en pisé. Le plancher repose sur des poutres maîtresses porteuses dont les extrémités sont ancrées dans les murs en pisé. Ces poutres doivent reposer sur une large semelle de répartition pour éviter les efforts de poinçonnement.

Plancher sur muraille

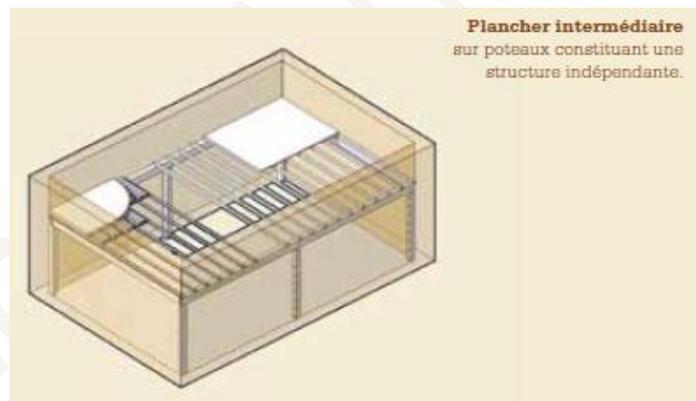
Une autre solution couramment employée consiste à fixer une muraille le long des murs pour porter le plancher. Cette solution plus simple à mettre en œuvre doit être réservée aux planchers de faible portée car elle ne permet pas une bonne répartition des charges au centre du mur. La muraille est tenue en place par des boulons ou des tirants métalliques traversant le mur.

La muraille est ancrée à l'aide de tirants métalliques à la fois sur les murs pignons et gouttereaux.



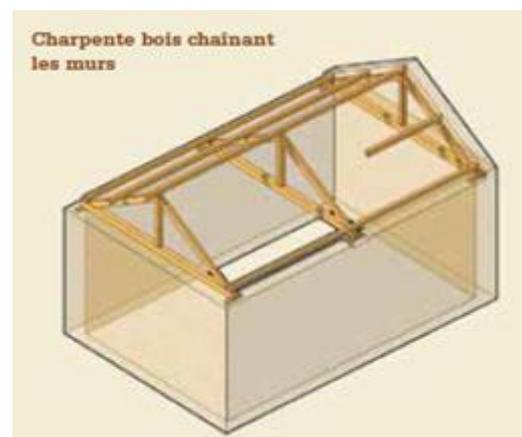
Chaînage par un plancher sur muraillière

Plancher sur poteaux



Chaînage au niveau d'un plancher intermédiaire sur poteaux, indépendants des murs

Charpente



Chaînage par la charpente

Chaînage vertical

Exemple 1 : Christian Baur / Areso

Le pisé

Le chaînage est fait verticalement et horizontalement avec des poteaux insérés au cœur du mur.



L'association du bois et de la terre pose des problèmes de liaison à cause du gonflement/retrait du bois, pas réellement résolus.

Exemple 2

Dans ce projet de maison semi-enterrée ([Lien](#)), le pisé a été renforcé par un chaînage en béton armé, non pas pour les aléas sismiques, mais pour contenir la poussée du terrain.



Chaînage vertical en béton armé

La forme

Un mur exposé à des contraintes latérales comme le vent n'est stable que s'il est contreventé dans la direction de la contrainte. Si la présence d'un fruit sur un mur apporte de la stabilité, le plus efficace est la présence d'un mur de refend, surtout si la longueur du mur est importante. Les formes assurant un contreventement efficace sont le L, le T, le X et le U :



LTXU



Renforcer mécaniquement les angles

Il existe plusieurs manières pour renforcer le pisé dans les angles, à cause des agressions extérieures (passage d'animaux ou de véhicules, érosion, ...).



Angle de murs en pisé usés par le passage des charettes. Ouled driss, Maroc.

Casser les angles

Les angles des murs sont des parties fragiles de part leur position (érosion due au passage et à la pluie) et de par la difficulté de piser correctement dans les angles saillants. Casser les angles est nécessaire et peut apporter une esthétique intéressante à votre mur. Ce « chanfrein » pourra être réalisé avec un linteau triangulaire incorporé dans le coffrage.



En stabilisant la terre ou avec d'autres matériaux

Des liserés de chaux, de la brique en terre cuite, des galets, des pierres, du bois sont parfois rajoutés dans les angles pour renforcer les parties les plus vulnérables aux agressions extérieures et soumises à des contraintes mécaniques plus importantes que les parties courantes des murs.



Le pisé



Avec des briques cuites (Céron, 71) + enduit (Bourg-le-Comte, 71)

L'angle en brique est monté en sapin, avec ne évolution « en cône » au sein de chaque banche.



Détail de la jonction brique cuite - pisé (Céron, 71)

Dans le cas de la photo ci-dessus, un lit de pisé sur 2 est stabilisé à la chaux sur l'extérieur. Les briques cuites sont montées au mortier de chaux. Un liserait de mortier de chaux relie les briques cuites au pisé (pas de contact entre le pisé et les briques cuites).

A voir : est-ce que les briques sont montées sur toute l'épaisseur du mur ?



A la chaux (pyramides, en « sapin »)





A la chaux (internet) & (environs de Feurs, 42)



Tronc en palmier dans l'angle

Ouled Driss, Maroc





Traitement « moderne » des angles et des raccords de banchées

Villefontaine

Renforcer pour résister aux contraintes thermiques

Les zones comme les conduits de cheminée subissent des contraintes thermiques et sont traditionnellement réalisées avec des briques cuites.





Céron (71), Urbise (42)

Intégrer les gaines techniques

Lorsqu'on observe un mur enduit, on doit toujours se dire que les éléments visibles (prises, interrupteurs, compteur, ...) sont reliés entre eux par des gaines, qui généralement en surface du mur. En effet, les gaines en plastiques, si elles sont intégrées à l'intérieur du pisé peuvent être écrasées si on tasse trop la terre. On devra utiliser des gaines ou des profilés résistants (métalliques par exemple).



Compteur électrique (Agdes, Maroc)



Il est possible d'insérer des pièces en bois dans le coffrage, qu'on enlèvera immédiatement après que la banche soit terminée. Les pièces en bois devront être légèrement coniques et préalablement humidifiées pour pouvoir les retirer facilement (même principe que les clés en bois).

POUR INFORMATION

Les finitions

Stabiliser la surface à l'eau

On peut passer un badigeon à l'eau avec un simple pinceau brosse pour stabiliser la surface d'un mur en pisé. Ceci permet de disperser les plaquettes d'argile pour qu'elles collent le sable et les graviers et masque l'hétérogénéité de la finition entre les couches de terre successives. Dans le cas d'une restauration d'un mur en pisé, ça peut être très utile pour masquer le pansement.

Les enduits

Les murs extérieurs sont souvent enduits à la chaux lorsqu'ils ne sont pas suffisamment protégés des intempéries. Les graviers apparents à la surface du pisé permettent une bonne accroche de l'enduit. Si vous construisez un mur en pisé destiné à accueillir un enduit, vous pouvez le broser avec une brosse métallique pour créer la rugosité nécessaire à la bonne accroche de l'enduit sur le mur. Lorsque la terre à pisé est fine et qu'on veut enduire le pisé, on peut volontairement rajouter des graviers, morceaux de tuiles, ... le long des banches pour créer des points d'accroches à l'enduit.

Les murs en pisé supportent très bien les enduits à la chaux légers, fins (5 mm suffisent) et perspirants. Oubliez le grillage galvanisé sur lequel est réalisé un enduit épais au ciment gris ! Il ne faut pas non plus essayer de corriger la présence d'un fruit sur mur en pisé pour retrouver un mur extérieur vertical. Ça chargerait inutilement le mur et le fragiliserait.

Se passer d'un enduit est une économie appréciable (gain de temps et d'argent), qui devient possible si :

- Le mur est protégé de la pluie battante (bon chapeau) et des projections d'eau (bonnes bottes)
- L'esthétique du mur extérieur est soignée. Pour ça, on doit être plus minutieux et on doit se simplifier la vie. Les marques des banches doivent être le moins visible possible, la taille des banchées doit être la plus régulière possible, les angles doivent être biseautés, ...
- Les murs exposés aux intempéries doivent être stabilisés en surface (liseré de chaux par exemple, ...)

La décoration

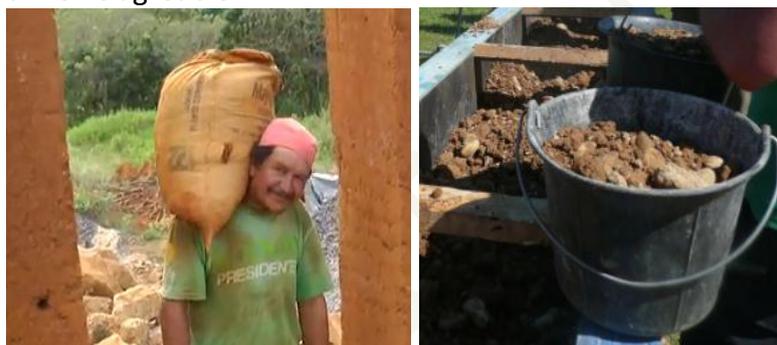
Si vous vous sentez une âme d'artiste, vous pouvez marteler le pisé juste après le décoffrage, pour y créer des motifs en relief.



POUR INFORMATION

Transporter et charger la terre dans les banches

Le chargement de la terre dans les banches peut être fait avec les moyens du bord (seaux, sacs, brouette, godet/fourche à fumier/tracteur, ...). Si le chargement est fait manuellement, l'opération prendra de plus en plus de temps à mesure que le mur monte, ce qui ralentit le travail et le rend moins agréable.



Pour rendre le travail moins pénible, certains ont opté pour la création d'un « ascenseur à brouette » (Yves de Morsier, Australie).



Le pisé



La solution la plus efficace pour gagner du temps, c'est certainement le godet malaxeur, qu'on équipera d'une goulotte pour déverser facilement la terre partout dans la banche.





Avec une « auge » à fond amovible

Lors du workshop 2013 du festival Grain d'Isère, Craterre a utilisé une « auge » à fond amovible pour déverser la terre dans la banche, ce qui présente l'avantage de déverser la même quantité de terre partout le long de la banche, et donc gagner du temps et conserver plus facilement l'horizontalité des lits de terre.



Workshop CRATerre (L'Isle d'Abeau)





[Autre version](#)

Pas trop de cailloux sur les bords

Le chargement des banches doit être fait de sorte que le lit de terre soit homogène. Déverser un tas de terre d'un côté de la banche et l'étaler ensuite ne permettra pas d'avoir une bonne homogénéité. Les cailloux auront tendance à se rassembler. La terre doit donc être déversée tout au long de la banche pour obtenir un meilleur résultat. Les cailloux et graviers présents le long des banches seront déplacés au cœur du mur pour obtenir une finition de surface plus homogène et résistante. Le lit de terre sera ensuite égalisé au râteau pour qu'il soit d'épaisseur constante sur toute la longueur de la banche..



Piser / damer

La terre foisonnée est versée dans le coffrage par couche de 5 à 15 cm de haut suivant la consistance de la terre et la méthode de damage de la terre (manuelle ou pneumatique). La hauteur de terre versée déterminera l'homogénéité du compactage. La terre déversée en dernier (située en haut de la couche de terre) étant toujours mieux compactée que la partie située en bas. La hauteur de terre doit donc être réglée en fonction du degré de compactage accessible sur le chantier (manuel, mécanique).



De gauche à droite : surcompactage à compactage faible, épaisseur de la couche de terre constante (Craterre, Villefontaine)



De gauche à droite : couches de 3 cm à couches de 9 cm d'épaisseur, degré de compactage identique (Craterre, Villefontaine)



A chaque couche, la hauteur de terre peut être contrôlée avec un simple bâton dont une des extrémités est peinte sur une hauteur correspondante à la hauteur de terre foisonnée souhaitée.



[Contrôle de l'épaisseur de terre](#)

Lors d'un changement d'équipe, l'esthétique du mur peut être modifiée à cause des différences de pratiques d'une personne ou d'une équipe à l'autre (épaisseur de terre, taux de compactage, ...).



[Epaisseur de terre à damer non contrôlée \(Villefontaine\)](#)

La semelle des dames peut être de différentes formes pour piser au cœur du mur (plat), le long des banches ou dans les coins. Une masse peut faire l'affaire pour piser le long des banches et dans les angles, à condition de refaire le manche, trop court. Un marteau est très utile pour piser correctement les coins.

Le premier compactage est un compactage très sommaire, réalisé directement par le piseur (avec ses pieds), au cœur comme le long des banches. Il permet de fixer les cailloux et d'éviter qu'ils ne retombent par la suite le long des banches.

Le deuxième passage est un vrai compactage, qui commence le long des banches pour « faire la fleur » et dans les coins, pour durcir les parties externes du mur, avant continuer par le cœur du mur. Lorsque le lit de terre ne peut plus être compacté, le travail est presque terminé. Refaites un dernier passage le long des banches pour améliorer la finition et vous pouvez recharger la banche de terre pour faire une nouvelle couche.

Si la largeur du coffrage le permet, le piseur se met directement à l'intérieur des banches pour travailler.

Les couches couchent se succèdent jusqu'à ce que la banche soit remplie. Le volume de terre compris entre les banches s'appelle une banchée. Pour faire une plaine banchée, soit environ 80cm, il faut une dizaine de couche de terre compactée.

Piser à la main

La terre foisonnée est versée dans le coffrage par couche de 10 cm de haut maximum. Cette épaisseur permet d'obtenir un bon compactage sur toute la hauteur de la couche, notamment dans la partie basse. Il est possible de travailler avec une couche plus épaisse, mais la fatigue aidant, on pourrait aboutir à des couches mal tassées dans la partie basse au bout d'un certain temps. Le travail de compactage à la main reste agréable si on le réalise à plusieurs, sans pousser au rendement et si on veille bien à ne pas se casser le dos à cause d'une mauvaise posture, à ne pas vouloir aller trop vite (pour ne pas s'épuiser). Le compactage va réduire d'environ 1/3 la hauteur de la couche de terre.

En pratique, les murs en pisé réalisés à la main sont modestes, à cause du temps nécessaire à sa réalisation, à l'épuisement/lassitude/fatigue qui va gagner les équipes et au coût financier induit par le travail manuel.



Le seul bruit désagréable est celui qui provient de la bétonnière.



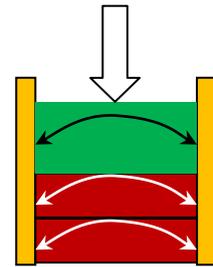
Plus la tête du piseoir est petite, plus l'empreinte dans la terre est petite, et plus la pression d'impact est importante. Pour rester maniable, le poids d'un piseoir manuel est environ égal à la surface de sa **base (A mesurer sur nos piseoirs)**

La terre est suffisamment damée lorsque le son émis par la dame devient plus clair et net. Au début, c'est un son étouffé par la terre foisonnée.

Une masse peut faire office de piseoir, mais vous allez vite vous rendre compte que le manche est trop court pour piser sans se courber.

Piser au fouloir/piseoir pneumatique

Le compactage au piseoir pneumatique transmet plus d'énergie à la terre, ce qui permet de travailler à partir de terre disposée en couches plus épaisses et de terre plus sèche. La terre foisonnée est versée dans le coffrage par couche de 10 à 18 cm de haut. Le compactage va réduire d'environ 1/3 la hauteur de la couche de terre. Si la couche est trop épaisse, la terre sera mal tassée dans sa partie basse malgré la force du compactage. En effet, la pression exercée sur la terre par le fouloir se transmet en partie aux banches, en formant des arches qui limitent les effets de la pression exercée par le fouloir.



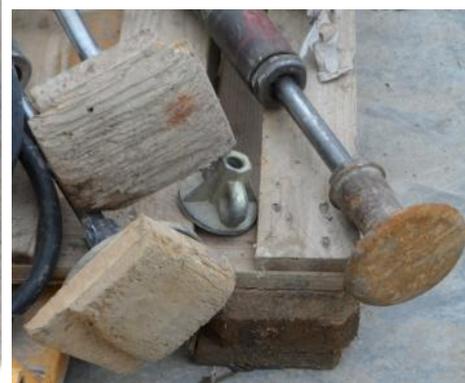
Le psoir pneumatique permet de gagner du temps, mais n'en rends pas le travail plus agréable à cause des vibrations, du bruit (compresseur, épurateur d'air, psoir) et de la cadence imposée par le psoir (environ 400 coups par minutes).



Psoir peumatique relié au tuyau d'air comprimé

Le bruit du psoir impose l'utilisation d'un casque antibruit, ce qui rend la discussion impossible et le travail moins humain.

Le poids du psoir est plus élevé que celui d'une dame manuelle.



Psoir pneumatique et différents embouts

Le bruit du psoir pneumatique (et le casque) ne permet pas de se fier à ses oreilles pour savoir si la terre a été suffisamment damée.

Piser au compacteur à plaque vibrante

Le compacteur à plaque est un appareil assez lourd et encombrant à manipuler dans un coffrage. Un système de levage (palan, potence, ...) est nécessaire pour le déplacer. La pression exercée sur les banches est plus importantes que dans le cas d'un damage manuel ou au piseoir pneumatique.

Le temps gagné pour le compactage est en partie perdu à cause du temps nécessaire à sa mise en place. On réservera donc son usage dans le cas de murs plans, longs et coffrés intégralement en une seule fois. Le damage ne sera pas fait correctement le long des banches, on devra donc en complément se servir d'un piseoir pneumatique pour que le compactage soit homogène.

Le suivant est composé d'un treuil et d'un rail galvanisé fixé sur une solive en bois.



Compacteur à plaque (électrique)

Le bruit du compacteur impose l'utilisation d'un casque antibruit, ce qui rend la discussion impossible et le travail moins humain.



Les problèmes qui vont survenir à la construction

Des coffrages qui montent

Il n'est pas rare de voir son coffrage monter tout seul. Ceci est dû à la pression et aux vibrations exercées pendant le damage de la terre, et au fait que votre coffrage peut s'écartier en bas, ou se resserrer en haut. C'est le cas dans la photo ci-dessous, où le coffrage s'est resserré sur la partie haute :



Pour éviter cela, on peut/doit :

- Bien ancrer le coffrage au sol
- Se passer au maximum des coins en bois. Sous l'effet des vibrations, ils se desserrent sans arrêt, on doit en permanence les retaper, ce qu'on oublie de faire. En plus, ça les endommage et à force, ça fragilise les traverses (celles sont en bois).



- Vérifier régulièrement l'aplomb du coffrage



- Mettre des écarteurs sur le haut du coffrage (pour empêcher qu'il ne se resserre par le haut)

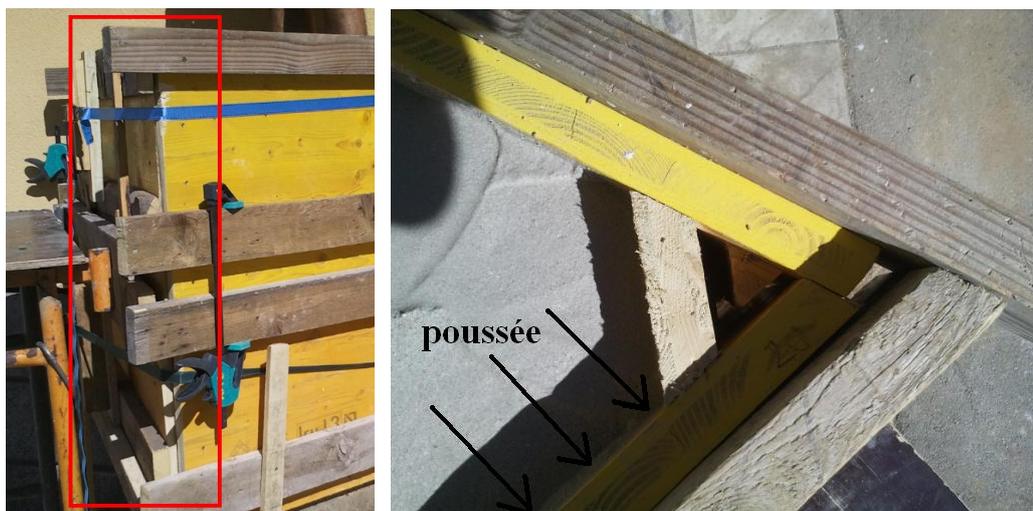


- Solidariser le coffrage dans lequel on pise avec celui du dessous (pour limiter au maximum la remontée du coffrage)



Sangler le coffrage pour se faciliter la vie et limiter le nombre de serre-joints ou par manque de serre-joints n'est pas suffisant. Les sangles, même tendues conservent un peu d'élasticité, et la pression exercée par le damage suffit à écarter le coffrage.





Garder sa verticale et suivre une ligne droite

Si on utilise une banche unique pour réaliser un mur, on va vite se rendre compte que garder la verticale et suivre une ligne droite n'est pas une chose si simple que ça.

Garder sa verticale

Pour garder sa verticale, il est très important de bien démarrer. Le premier rang donne le ton, s'il n'est pas vertical, on passera son temps à corriger le tir lorsqu'on fera les rangs suivants. Avec un coffrage qui présente du jeu ou qui présente un biais au sol, c'est quasi mission impossible.

Pour démarrer correctement, le bas du coffrage doit reposer sur un socle parfaitement horizontal, à la fois dans le sens de l'épaisseur et de la longueur du mur. On peut alors correctement régler sa verticale. Si ce coffrage n'est pas démonté et qu'on pose un nouveau coffrage pour monter le deuxième niveau, il ne devrait pas y avoir de problèmes.

Si on décoffre pour réutiliser la banche, on va être exposé au même problème à chaque niveau. Les clés doivent donc aussi être parfaitement horizontales.

Si le mur n'est pas trop long, les extrémités du mur peuvent servir de guides pour tenir la verticale.



Le pisé

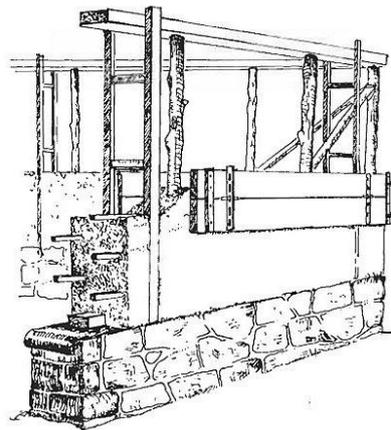


On peut monter aussi coffrer entièrement un côté du mur (banches verticales), et monter les banches horizontalement de l'autre côté du mur (côté qui nous sert à travailler). La verticale et la rectitude du mur sont réglées par les banches verticales.

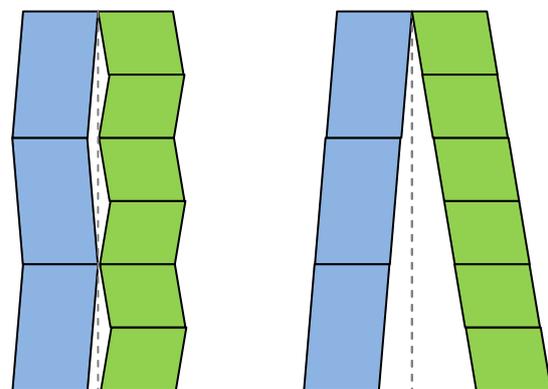




Des guides intégrés au mur et solidaire du soubassement sont une autre solution. Ces guides peuvent être des éléments décoratifs, servir à accrocher du mobilier, des baies vitrées, ou être partiellement ou totalement démontés une fois le mur réalisé.



Les banches de faible hauteur posent plus de problèmes pour garder sa verticale que les banches hautes, puisqu'elles demandent plus de montage/démontage et qu'à chaque nouveau montage, les erreurs de verticalité se cumulent.



Cumul des défauts de verticalité

Coffrage haut en bleu, coffrage de faible hauteur en vert

Pour être certain de rester sur le droit chemin, il est indispensable de contrôler régulièrement au fil à plomb la verticalité des banches.

Suivre une ligne droite

L'idéal pour avoir un mur bien droit est de pouvoir le coffrer toute la longueur du mur en une seule fois, et de bien solidariser les banches entre elles. On pourra amarrer au sol un profilé métallique parfaitement rectiligne, sur lequel viendra s'appuyer le coffrage.

POUR INFORMATION

Un travail saisonnier

La terre propice à une bonne construction en pisé ne peut être prélevée que du printemps à la fin de l'été, plus exceptionnellement jusqu'au milieu de l'automne. C'est en partie cette contrainte qui limitait la période de construction des maisons en pisé, lorsque tout se faisait à la main (les travaux des champs dictaient aussi les priorités et les urgences). Aujourd'hui, la mécanisation du travail nous permet de travailler avec des terres prélevées en dehors de ces périodes, et c'est principalement les conditions météo qui limitent la période de construction :

- En dehors de la période de gel (construction + temps de séchage du mur !)
- Pas sous la pluie (impossible de préparer et damer la terre)

On peut donc faire un mur en pisé du printemps à l'automne à condition qu'il fasse beau. Si le mur réalisé est un mur intérieur et que le bâtiment est mis hors d'eau hors d'air avant les premières gelées, le temps de séchage du mur n'est plus une contrainte (vis-à-vis du gel).

S'il y a risque de gel, la partie du mur qui vient d'être réalisée doit être protégée, soit en laissant la banche en place (si elle est en bois, le bois ca isole) et en la recouvrant d'un peu d'isolant (paille, planche en bois, ...).



Protéger le mur en construction

Botte de paille !

Un séchage trop rapide en surface n'est pas bon pour le mur, car des fissures pourraient se former. On doit protéger le mur en construction des rayons du soleil lors des grosses chaleurs. Des bâches suffisent dans les régions non ventées.





A l'inverse, une pluie battante viendrait ruiner votre travail si on ne protège pas le mur « par en haut ».



Protection temporaire du mur contre la pluie (région non ventilée)



Protection temporaire du mur contre la pluie (région ventilée)

Eviter un séchage trop rapide

Lorsque la journée de travail est terminée ou que c'est l'heure de la pause, même si la banche n'est pas terminée, on veillera à recouvrir le mur d'un plastique pour que l'eau ne s'évapore pas. Ceci permet d'éviter qu'une croûte sèche ne se forme. Piser sur de la terre sèche ou séchée, c'est risquer de décoller la couche sèche de celle d'en dessous et de ne pas réussir à faire coller la couche à réaliser sur la couche sèche.



Si la couche sur laquelle on travaille est sèche, on l'aspergera d'eau (la veille, c'est mieux) et on la recouvrira d'une bâche plastique. On laissera le temps à cette eau de pénétrer dans la couche, qui redeviendra souple et plastique.

En principe, le pisé doit être mis en cure humide pendant un mois pour qu'il sèche très lentement. Ca n'est pas toujours possible (vent, délais, ...). On fait comme on peut !

POUR INFORMATION



Les trous de clés

Pas trop près des extrémités

Les clés sont retirées du mur une fois la levée. Leur retrait peut s'avérer difficile, ce qui peut fragiliser le mur. De même, elles ne doivent pas être positionnées trop proche des extrémités du mur.

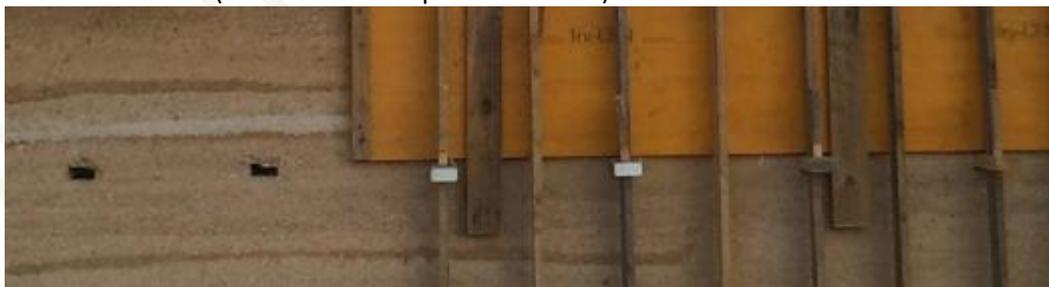


Enlever les clés en bois

Les clés en bois sont celles utilisées traditionnellement.

Si les clés sont en bois, elles doivent être légèrement prismatiques pour faciliter leur retrait. Si vous les coupez droites, le bois va travailler sous l'effet cumulé de la pression et de l'humidité du mur, et va se gondoler. Vous ne pourrez plus le retirer. Dans tous les cas, protégez les clés de l'humidité avec un peu de bâche plastique que vous enlèverez par la suite.

Avec des clés prismatiques, pensez bien à marquer le côté de la traverse sur lequel il va falloir taper pour la faire sortir (en blanc dans la photo suivante)



Au dessus des clés

Au Maroc, traditionnellement, les clés sont posées sur la banchée d'en dessous dans des « tranchées » creusées à la surface de la banchée. Des pierres plates sont insérées au dessus des clés, ce qui doit faciliter le retrait des clés une fois la banche terminée.



Trou de clé. Vallée du Draa, Maroc

Attendre avant de charger le mur

Un mur en pisé met du temps à sécher. Sa résistance à la compression augmente au fur et à mesure qu'il sèche. Si vous réalisez un mur porteur, vous ne pourrez pas continuer le chantier avant que le mur en pisé ne soit suffisamment sec pour reprendre les charges des futurs planchers, charpentes, ...

Cette contrainte peut vous amener, à cause du planning du projet à décider d'opter dès la conception pour un mur en pisé non porteur, pour du pisé pré fabriqué ou d'imposer que le mur en pisé soit construit au tout début du chantier, pour lui laisser le temps de sécher.



L'avis des occupants qui râlent, ça compte aussi

On parle souvent trop de technique en oubliant la vie de tous les jours.

Accrocher dans un mur en pisé, c'est galère

Le pisé est une technique constructive qui résiste mal aux efforts de traction et qui supporte mal les vibrations d'une perceuse à percussion.



Fil électrique mal fixé dans un mur en pisé. Zagora, Maroc

Généralement, quand on veut accrocher quelque chose dans un mur en pisé, on opère comme on le ferait dans un mur en béton. On perce un trou assez peu profond et de faible diamètre dans le mur avec une perceuse à percussion, puis on y insère une petite cheville en plastique avant de mettre en place un crochet. C'est une erreur.

Dans l'ordre, essayez directement de visser une vis longue galvanisée dans le mur (à la visseuse). Si vous y arrivez (pisé non caillouteux), pas besoin d'aller chercher plus loin.

Si vous n'y arrivez pas (présence de petits cailloux, visseuse pas assez puissante), vous allez devoir percer (essayez sans la fonction percussion. Si c'est impossible, utilisez la fonction percussion, n'allez pas trop vite) un trou et y insérer une cheville. Si on veut ancrer des charges pas trop lourdes, des chevilles à expansion suffiront. Si on veut ancrer des charges lourdes dans le mur, on devra utiliser des chevilles à injection.



Les chevilles à faible expansion pourront être placées assez proches les unes des autres. Les chevilles à forte expansion fragilisent davantage le mur et devront être plus éloignées les unes des autres.

Si vous devez placer des charges assez proches les unes des autres, ou assez proche de l'extrémité d'un mur, vous ne pourrez pas fragiliser le mur en perçant en de multiples



endroit. Il va falloir reprendre le mur autour du futur emplacement du/des crochets (ou décider de percer un peu plus loin) et y insérer une/des pièces en bois dur ou y couler du béton. C'est plus long, mais c'est nécessaire. Les pièces en bois doivent être humidifiées pour qu'elles ne gonflent pas une fois posées en se chargeant de l'humidité du mortier de pose et de l'humidité naturelle du pisé. Ceci pourrait créer des fissures dans le pisé.

Les prises électriques et les interrupteurs peuvent être scellés au plâtre ou avec un mélange terre-plâtre. Si le mur n'est pas enduit, ça dégrade son esthétique et ça rompt l'harmonie d'ensemble. Le plâtre a la particularité de gonfler au séchage et donc de compenser le retrait de l'argile.

POUR INFORMATION



Sécurité sur le chantier

La santé, c'est essentiel, alors en plus des précautions habituelles, faites attention à :

- ▷ La position de travail : Si on pise dans une mauvaise position, le dos courbé vers l'avant, à cause d'un pisoir trop petit, ou parce que l'échafaudage est trop loin des banches par exemple, on va vite s'épuiser, avoir mal au dos.
- ▷ Les chaussures de sécurité



Les caractéristiques techniques

Le Gabion (Embrun) donne les caractéristiques suivantes pour le pisé (ces valeurs sont à considérer comme des ordres de grandeurs) :

- ▷ Thermique :
 - Capacité thermique : différentes valeurs trouvées dans la bibliographie : 510 Wh/m³°C, 900 J/kg.K
 - Conductivité thermique : très grande donc très mauvaise. Ce qui isole, c'est l'air sec et immobile. Dans le pisé, il n'y a que très peu d'air. Le pisé isole au minimum 10 fois moins qu'un bon isolant sec. Le lambda d'un pisé de 1700 kg/m³ est d'environ 0.8, celui d'un pisé de 2000 kg/m³ est d'environ 1.1 et celui d'un pisé de 2200 kg/m³ est d'environ 1.4.
- ▷ Hygrométrie : la terre contient de l'eau. 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. Ce phénomène n'existe pas dans la construction en ciment. L'indice de diffusion de vapeur d'eau du pisé (non stabilisé) est compris entre 5 et 10.
- ▷ Masse volumique : d'après « Construire en terre crue », la masse volumique du pisé est comprise entre 1700 et 2400 kg/m³, selon les granulats et le compactage. Le mur en pisé damé à la main au Village, réalisé avec 3 mélanges différents de terres différentes, à une masse volumique qui varie entre 1700 à 2050 kg/m³.
- ▷ Résistance à la compression : supérieure à 20 kg/cm² (2 N/mm² = 2 MPa). La résistance du pisé varie fortement en fonction du mélange (étalement granulométrique, proportion d'argile, fibres, ...). Les mélanges gras et fibrés sont en général plus résistants que les mélanges maigres non fibrés.

Le projet de recherche « Béton d'argile environnemental » (BAE) a permis de tester le comportement mécanique du pisé en fonction de son humidité. La teneur en eau et la résistance à la compression Rc d'un pisé de terre de Brezins ont été mesurées après compactage en laboratoire, puis séchage à des températures croissantes :

 - Au décoffrage, pour une teneur en eau de 12 à 13 %, la résistance à la compression du pise est d'environ 0,3 MPa.
 - Après séchage à 20 °C, celle-ci monte à 3,3 MPa pour une teneur en eau de 1,5 %.
 - Elle grimpe à près de 5 MPa pour une humidité relative de 0,5 % obtenue en conditions expérimentales à 50 °C.
 - Elle plafonne autour de 7 MPa pour des éprouvettes déshydratées en laboratoire à 105°C.
 - A 200 °C, toutes les argiles sont totalement déshydratées et la résistance redescend vers 5MPa: la suppression des forces capillaires diminue la résistance du pise sec, qui demeure néanmoins solide comme à 50 °C.
- ▷ Résistance à la traction : très mauvaise
- ▷ Acoustique : le pisé, grâce à son élasticité, absorbe mieux les vibrations que le béton. C'est particulièrement le cas pour les basses fréquences. La norme allemande DIN4109 donne un



indice d'affaiblissement acoustique de 56 dB pour un mur en pisé de 24 cm d'épaisseur et de 2200 kg/m³ de masse volumique.

- ▷ Comportement au feu : En Allemagne, le pisé n'a pas à être évalué et est considéré comme « non combustible » (matériau classé « A »), même lorsque le pisé comporte des fibres. En Allemagne toujours, les murs en pisé d'une épaisseur supérieure à 24 cm sont classés dans la classe de résistance au feu F90.

Dire arrêté <1% organique => incombustible

La qualité d'un mur dépend bien sûr du choix de la terre, mais aussi de la qualité du travail des ouvriers.

Une « bonne » terre mal tassée ou mal homogénéisée laisse apparaître des zones caillouteuses et des zones qui s'érodent facilement dans la fleur du pisé. Ces zones vieilliront mal.

Une terre trop mouillée peut se fendre au séchage. Si elle se fendille, ce n'est pas grave. Les grosses fissures sont problématiques puisqu'elles fragilisent le mur (résistance mécanique) et qu'elles sont des portes d'entrées pour les infiltrations d'eau au cœur du mur.

Une terre trop mouillée qui sèche trop vite sur une des faces du mur (face exposée au soleil) peut se fendre dans la longueur du mur. C'est pas bon !

Contrôle des caractéristiques

Masse volumique

Pour connaître approximativement la masse du mur, on va prélever des échantillons de terre qu'on va damer entre des parpaings. L'échantillon sera mis à sécher, conservé à l'abri et pesé. Chaque personne damant différemment, la masse volumique du mur va varier d'une personne à l'autre. Essayez de faire faire un échantillon par personne pour voir si la masse volumique varie beaucoup ou pas. La fatigue aidant, on a tendance à damer moins fort.

Faites au moins un échantillon par mur, ou par tas de terre si vos terres proviennent de prélèvements différents.



Retrait

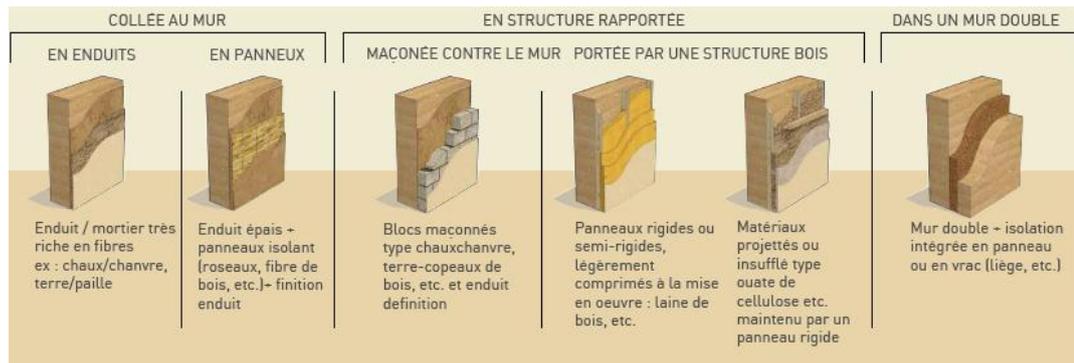
Le retrait d'un mur en pisé peut être mesuré avant de construire en suivant la méthode énoncée dans le paragraphe dédié aux différents tests de terre. Ce test peut être répété régulièrement lors de la réalisation du mur.

Vous pouvez aussi poser des repères directement dans le mur (allumettes par exemple) pour noter les évolutions de votre mur (retrait horizontal perpendiculairement à la direction de compression, tassement vertical parallèlement au sens de compression).

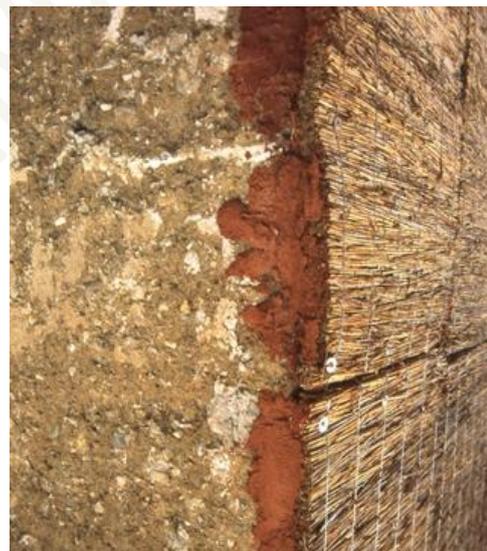


Isoler un mur en pisé

Du fait de leur forte conductivité thermique, les murs en pisé ne peuvent pas répondre à la réglementation thermique RT2012. Vous n'aurez pas de permis de construire pour une maison en pisé non isolé.



[Lien](#)



[Panneaux de roseaux collés sur un mur en pisé.](#)

Il est important de rappeler qu'un mur en terre respire. 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. L'isolant doit être choisi pour être compatible avec le coefficient de diffusion de vapeur d'eau du pisé, ce qui limite les possibilités.

Les isolants étanches (polystyrène, ...) sont 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.

Et l'environnement dans tout ça ?

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

Si vous faites votre pisé manuellement, avec la terre de votre terrain ou avec de la terre issue d'une ruine dans votre village, vous aurez du mal à faire plus écologique. Si vous faites faire votre pisé, les opérations seront mécanisées pour accélérer le rythme et faire baisser la facture. Mécanisation rime avec consommation énergétique, mais un chantier qui avance vite évite beaucoup de transport de personnel.

Si vous faites votre pisé à partir de matière première achetée, le coût environnemental sera celui du transport et de la mécanisation de l'extraction, du tamisage, ...

Dans tous les cas, la quasi absence de liant (chaux ou ciment) dans le pisé le place au même niveau que les adobes, et 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 !

Les cordons de chaux nécessitent une quantité d'énergie négligeable par rapport aux autres postes de consommation d'énergie. En fin de vie, la terre à pisé n'a pas à être retraitée, concassée et dépolluée.

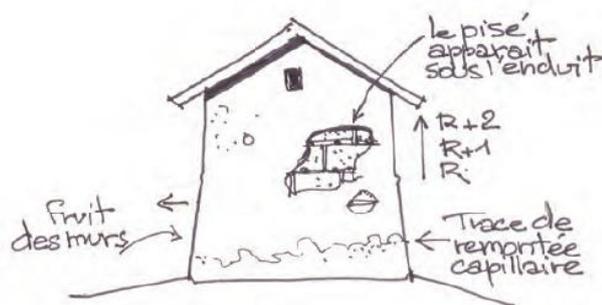


[Cycle de vie d'un bâtiment en terre \(source PNR Livradois Forez\)](#)

Les pathologies dans le désordre

Le mur est-il uniquement en pisé ?

Quel crédit dois-je apporter à ce qui m'est dit par le propriétaire d'une maison en ... pisé ? Que connaît-il de l'historique des travaux sur la maison ? Que se cache-t-il vraiment sous un enduit ? la maison est-elle dans son état d'origine, ou a-t-elle déjà été rénovée (une ou plusieurs fois) ?



Quelques indices pouvant indiquer la présence de pisé. [Lien](#)

Cette maison est en pisé, dans une région où l'on trouve pas mal de maisons en pisé (Bourg-le-Comte, 71). Des travaux ont été faits récemment sur un mur pignon. Le mur aurait été enduit, il aurait été difficile de savoir de quoi il était fait (pisé, brique cuite pleine, brique cuite creuse, parpaing). La présence d'un balcon non couvert aurait pu nous mettre la puce à l'oreille (pas courant sur les maisons en pisé), mais sans nous en dire plus.



Maison en pisé après travaux sur le mur pignon





Zoom sur le mur pignon non enduit



Maison en pisé après décroûtage

Photo [Naturabati](#)

La maison n'est pas dans son état d'origine

Les pathologies du pisé, avant tout une histoire d'eau

Plus y'en a, moins c'est costaud

A la mise en œuvre par compactage, la teneur en eau est de 10 à 12 %.

Au toucher, un pisé sec est dur comme la pierre. Sa teneur en eau est d'environ 1 à 2 %.

Le pisé prend une couleur foncée à partir de 5 à 7%. Il reste dur mais la pathologie est déjà là.

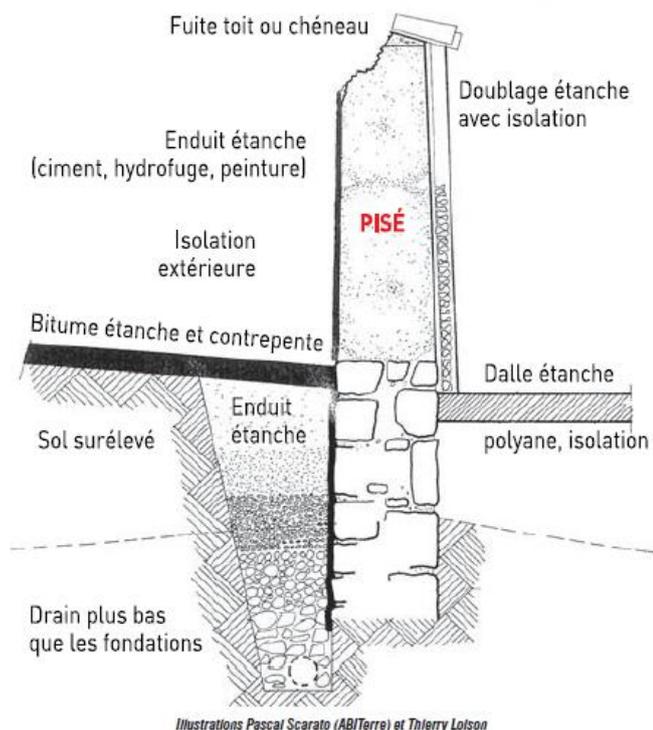


Au-delà, il garde l’empreinte du doigt et se déforme comme une pate à modeler.

A l’origine, un mur sain, aujourd’hui, un mur en péril

Les murs en pisé qui s’écroulent le font à la fin de l’hiver, au dégel.

Les causes d’humidification d’un mur en pisé



Illustrations Pascal Scarato (ABI/Terre) et Thierry Lolson

Source AQC n°143

Efforts latéraux



Trace d’un tas de terre appuyé contre un mur en pisé

Tinzouline (Maroc)





Stockage de bois contre un mur en pisé

Mhamid, Maroc

Les plantes grimpantes ou trop proche du mur

Origines

- Végétation haute contre les murs maintient l'eau en contact avec le mur en pisé.



Creusement par ruissellement et plantes grimpantes

- Végétation trop proche du mur, amenant l'eau au contact avec le mur en pisé.

Désordres constatés

- La végétation s'accroche et prend racine dans le mur humide.



Travaux à entreprendre

Le ruissellement

Le ruissellement concentré est beaucoup plus dangereux pour l'intégrité du bâtiment que l'érosion directe induite par l'impact direct de la pluie sur le mur (non enduit), qui lave les particules fines de la fleur du pisé. Dès que les sables apparaissent, la vitesse d'érosion est fortement ralentie.

Le ruissellement concentre l'eau dans une zone.

Origines

- Absence de débord de toit
- Défaut d'entretien de la toiture



Défaut d'entretien de la toiture, effets du ruissellement

Céron, 71

- Infiltration d'eau entre le mur et l'enduit (suite à la fissuration du mur et de l'enduit par exemple).



Décollement de l'enduit

Le Bouchaud, 03

- Infiltration d'eau au travers de l'enduit (enduit trop ancien, ou non stabilisé à la chaux)
- Dégât des eaux, canalisation/évacuation d'eau percée
- Vents tournoyants



Mur en pisé humide dans un angle

Céron, 71

Désordres constatés

- Lessivage du pisé, mur évidé et humide
- Décollement de l'enduit (eau faisant gonfler la terre argileuse, gel faisant gonfler encore plus le mur et déstructurant la terre, déformant et fissurant l'enduit)

Travaux à entreprendre

- Reprise de la toiture, création d'un débord de toit
- Reprise des trous, des fissures et de l'enduit
- Création d'une pente douce du sol pour éloigner les eaux de ruissellement vers un drain périphérique extérieur

La condensation

Origines

- Émission de vapeur d'eau à l'intérieur du bâtiment et enduit extérieur trop étanche et/ou mur nord. Le mur nord ne voyant jamais le soleil reste froid. La vapeur d'eau condense facilement à l'intérieur de ce mur.

Désordres constatés

- Enduit décollé (souvent le cas si l'enduit est en ciment)



Enduit ciment décollé du mur en terre

France, Photo [Naturabati](#)



Enduit entièrement décollé

- Enduit 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

Les remontées capillaires, les infiltrations d'eau et les pieds dans l'eau

Origines

- Pose d'un dallage étanche (béton de ciment, goudron...) en intérieur et/ou en extérieur, qui provoque une forte concentration d'humidité en pied de mur
- Dalle intérieur étanche repoussant l'humidité du sol à la périphérie de la dalle, à savoir dans les murs
- Murs construits sans soubassement ni fondations, en contact direct avec le sol, sans protection anticapillaire
- Caves et pièces mal ventilées, caves imperméabilisées, caves comblées. Aérations bouchées
- Soubassements enduits au ciment
- Ajout de terrasses
- Remblais de terrassement de maison ou de piscine, gravats de démolition ou de travaux mitoyens étalés contre les murs en pisé.
- Dépose de la toiture du bâtiment (eau stagnant sur les planchers)
- Construction d'un mur en béton contre le mur en pisé, sans évacuation correcte des eaux pluviales le long des murs.



Construction d'un mur en parpaing contre un mur en pisé

Mhamid, Maroc

- Intervention des pompiers sur un bâtiment mitoyen. L'eau stagne dans les gravats.
- Trottoir imperméabilisé, route goudronnée
- Sol/trottoir rehaussé au dessus du soubassement



Route rehaussée, herbe en pied de mur

Photo [Naturabati](#)

- Parterre de fleur contre le mur
- Bâtiment occupé par des animaux (urines)
- Manque d'entretien des abords et développement de végétation au pied des murs
- Comblement d'un puits ou d'un fossé de drainage





Puits comblé

Photo [Naturabati](#)

- Création de conduites/fossé d'évacuation d'eau sous ou à proximité du mur (en cas de fuites).



Stockage de fumier/déchets végétaux et extension du jardin contre un mur en pisé

Chez mes parents





Remontée du niveau de la rue, pas de canalisation des eaux de pluie
+ remontées capillaires

Agdes, Maroc



Remontée de la route (regardez la hauteur de la banche du bas)

Zagora, Maroc

Désordres constatés

- Mur humide et érodé en bas de mur. Des sillons destructeurs se creusent chaque hiver quand le pisé humide gèle. Le mur aura tendance au fil des années à tourner autour du sillon destructeur jusqu'à l'écroulement du mur.



Sillon érodé au niveau de chaque lit de terre non stabilisée en surface

Céron, 71

- Apparition de salpêtre. Il remonte par capillarité et imprègne les murs des étables ou des hangars agricoles. Ses auréoles blanches caractéristiques sont dues à sa cristallisation en surface.



- Apparition de mousses/herbes

Travaux à entreprendre

- Décroûtage du bas des murs (si les murs ont malheureusement été enduits au ciment), puis du reste du mur. Prendre le temps de laisser sécher les murs avant de réenduire. L'assèchement peut être réalisé au travers d'adobes sacrificielles qui seront remplacées une fois le mur asséché.



[Décroûtage du soubassement](#)

Photo [Naturabati](#)

- 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.
- Reprise de la dalle intérieure étanche au pied des murs (ou mieux, partout avec intégration d'une chape isolante perspirante).
- Rétablir la ventilation des caves et des pièces pas assez ventilées
- Reprise de la terrasse extérieure
- Évacuation gravitaire des eaux, par pente douce.
- Là où c'est possible, installer des films goudronnés pour mettre fin aux remontées capillaires.
- Reprise de la dalle intérieure étanche au pied des murs (ou mieux, partout avec intégration d'une chape isolante perspirante. Ex : chaux-chanvre, chaux-pouzzolane) et installation d'un drain périphérique intérieur ventilé, relié à un drain périphérique extérieur. Ce drain ventilé est indispensable si on ne supprime pas la totalité de la dalle étanche.

Le salpêtre

Origines

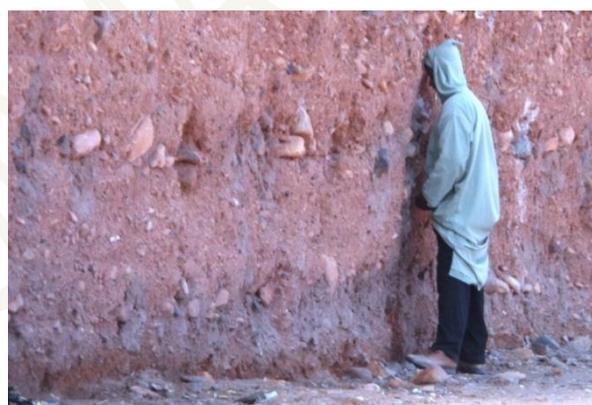
Les remontées capillaires peuvent faire apparaître du salpêtre à la surface du mur (les sels contenus dans l'eau remontent avec elle, mais ne peuvent pas s'évaporer. Ils cristallisent).

On trouve souvent du salpêtre dans les bâtiments agricoles (en bas des murs) ayant hébergé des animaux (urines) ou dans lesquels des engrais étaient stockés. Les bovins, lorsque l'agriculteur ne leur a pas mis à disposition de pierre de sel, lèchent les murs en pisé pour y trouver les sels dont ils ont besoin pour vivre.

Le bas des murs en terre non enduits est souvent la cible des animaux et des hommes qui se soulagent lorsque leur vessie est pleine ou qui veulent marquer leur territoire. Du salpêtre peut alors apparaître.



Bâtiment agricole



Mur de clôture en pisé à l'extérieur d'un souk

Tamegroute, Maroc

Le salpêtre peut apparaître n'importe où dans un mur à partir du moment où le mur a été fait avec de la terre ou de l'eau souillée/salée (urines, sels)





Salpêtre en partie haute d'un mur de clôture. Terre de construction souillée + eau salée

Tamnougalt, Maroc



Salpêtre au niveau d'un compteur d'eau (fuite)

Agdes, Maroc

Désordres constatés

- Des cristaux de sels apparaissent à la surface du mur. Le salpêtre fait perdre sa cohésion à la terre, qui devient poudreuse, ce qui accélère la formation de sillons.

Travaux à entreprendre

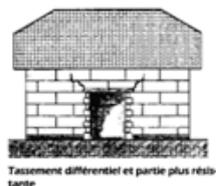
-



Les fissurations, le bombement et l'écartement du mur

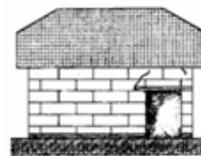
Le pisé travaille bien en compression, mais ne résiste pas à des efforts de traction ou de flexion. Avec le temps, les zones sollicitées se fragilisent et développent des pathologies telles que des fissures, des ventres et des faux aplombs. Qu

- ✗ Création d'ouvertures trop importantes avec linteau en béton provoquant un tassement des jambages (A),
- ✗ Réalisation d'un plancher en béton dans un étage entraînant un cisaillement du pisé.
- ✗ Terre trop humide lors de la mise en œuvre, des fissures de retrait apparaissent tout les 1 m (C).

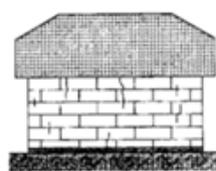


Tassement différentiel et partie plus résistante

- ✗ ou ouvertures trop proches d'un angle (B), ou ajout d'éléments trop lourds tel que des balcons,

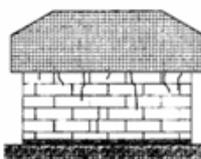


Arc de décharge et flambement (ouverture proche de l'angle)



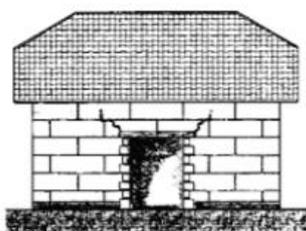
Fissures de retrait, environ tous les 1m

- ✗ Manque de chaînage des murs (D),

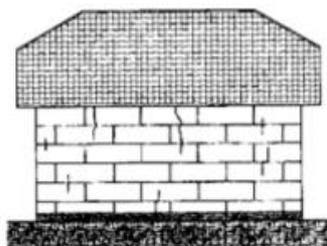


Fissures de retrait + manque de chaînage

OIKOS - 14 mai



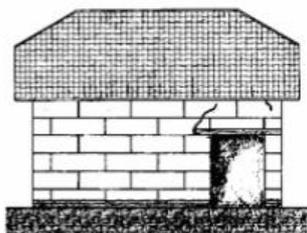
Tassement différentiel et partie plus résistante



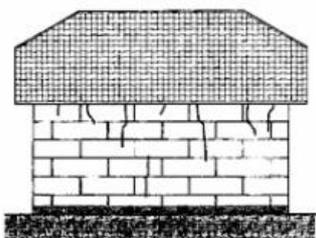
Fissures de retrait, environ tous les 1m



Le pisé



Arc de décharge et flambement (ouverture proche de l'angle)



Fissures de retrait + manque de chaînage

Origines

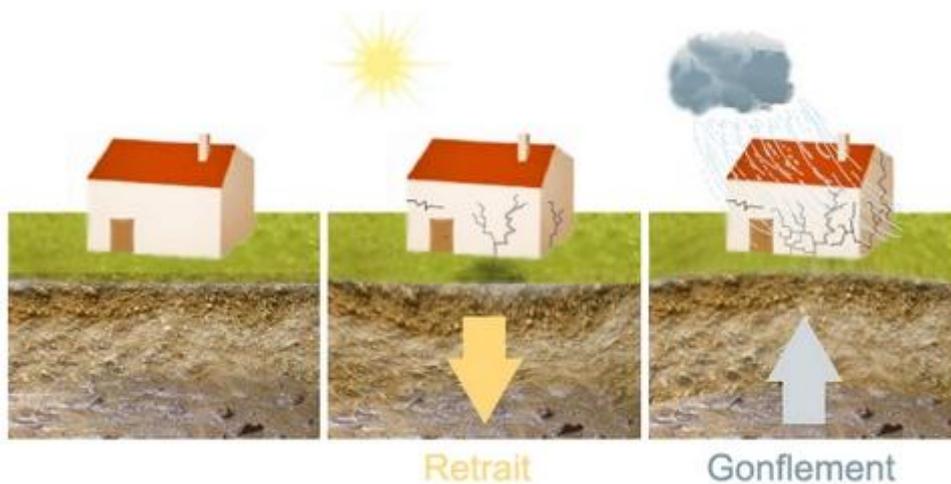
- Réhabilitation antérieures, modifications excessives du bâtiment
- Surcharge ponctuelle mal répartie, ajout de balcons



Fissure sous une poutre

- Gonflement des argiles, changement climatique, tassement différentiels (surtout sur les bâtiments originellement à vocation agricole, de par leur taille)





Les argiles gonflantes

- Mauvaise évacuation des eaux issues des chéneaux, qui concentre l'eau à un seul endroit (ce qui ne se serait pas produit en l'absence de chéneaux), fait gonfler le sol et/ou réduit sa résistance à la compression. Séquence de gonflement/retrait d'une saison à l'autre => fissuration des murs. Bâtiment conçu sans chéneaux à l'origine.
- Imperméabilisation des sols. Création d'une terrasse d'un côté du bâtiment, créant des écarts d'humidité dans le sol (gonflement/retrait). Création de zones où le pisé travaille en traction => fissuration
- Rehausse du sol extérieur (poussée latérale)
- Charpente exerçant une poussée latérale sur les murs. Mauvais comportement en traction du pisé => fissuration dans les angles



Poussée latérale de la charpente

Bourg le comte/Céron, 71

- Charges ponctuelles trop importantes de la charpente et des planchers
- Insuffisance ou absence de fondations
- Arbres trop près du mur (racines)





- Absence de chaînage
- Mélange de matériaux d'élasticité différente dans le sens des descentes de charges
- Insuffisance des fondations provoquant des tassements différentiels



Photo [Naturabati](#)

Désordres constatés

- Bombement des murs
- Écartement et apparition de fissures aux jonctions entre les murs et dans les angles.

Travaux à entreprendre

Les fissures les plus importantes peuvent être suturées à l'aide de clés en bois noyées dans la reprise du mur en terre.

- Comprendre
Comprendre les réhabilitations successives faites sur le bâtiment.
- Mesurer, observer
Avant d'intervenir sur une fissure, il faut savoir si le bâtiment vie/bouge, et si la fissure s'ouvre et se referme au gré des saisons. Pour cela, on peut utiliser une jauge pour mesurer l'évolution de la fissure. Il faut savoir attendre.

Si la fissure est vivante, il faut établir la cause du mouvement et voir si on peut éliminer la cause.

Si la fissure est morte, on peut la reboucher, mais si elle est vivante, la reboucher peut être contreproductif et endommager un peu plus le mur.



Témoin

- Assainir la périphérie du bâtiment (végétation, terrasses, reprise du drainage des eaux de pluie) pour éviter les infiltrations d'eau à la base des murs et stabiliser le bâtiment. Attendre. Observer. Une fois les fissures « mortes », ce qui peut prendre plusieurs semaines, il est alors possible, si besoin, de renforcer les structures.
- 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.
- Chaînage
- Contreforts



Contreforts sur un mur en adobes

Midi Pyrénées

-
- Reconstruction du mur ?
- Pose de tirants métalliques





Stabilisation par tirants métalliques

Le Bouchaud (42)



Stabilisation de murs par tirants métalliques

Stabilisation par tirants métalliques (principe)

- Répartir les charges plus uniformément possible. Poser un lindeau de décharge sous une poutre
- Rebouchage des fissures « mortes » avec un mortier de terre coulée. Du béton créerait un point rigide et pourrait aggraver le problème.



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

Photo [Naturabati](#)



- 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.

Les nids de rats, les oiseaux et les insectes

Origines

- Attaque d'insectes dans le pisé (peu graveleux) tel que les bourdons, les guêpes maçonnes qui creusent des petits trous
-
- Attaque de « nuisibles » sur les murs exposés au sud (abeilles) ou présentant des remontées capillaires (rats, souris).



Trous d'insectes (chez mes parents)



Photo [Naturabati](#)

- Les oiseaux trouvent dans les trous de clé de quoi faire leur nid.



Pigeon (Marrakech, Maroc)

Désordres constatés

La présence des nids implique une fragilisation due à la présence de trous, mais aussi à cause des sels et des germes qui peuvent réduire la cohésion de la terre.

Travaux à entreprendre

Les trous peuvent être passés au jet pour enlever tout ce qui n'est pas cohésif. Une bonne protection contre les rats tient en la réalisation d'un enduit résistant.

La rénovation du patrimoine en pisé

La rénovation de bâtiments en pisé souffre souvent d'erreurs grossières induites par la méconnaissance des spécificités de la construction en terre. Ces erreurs peuvent conduire à l'effondrement des bâtiments à moyen terme.



Le coût social de ces sinistres est souvent supporté par les propriétaires du fait de l'absence de règles professionnelles qui régissent ces travaux, et peut causer des drames humains.

Décrouter et remplacer un enduit au ciment

Les enduits au ciment ont parfois montés sur du grillage fixé dans le mur, et sont parfois très épais en haut des murs, lorsque le fruit du mur à été compensé par l'enduit pour obtenir une

belle verticale. Vous allez peut-être devoir attaquer l'enduit à la disqueuse à cause de sa forte épaisseur. Attention au poids des blocs qui pourraient se détacher.

Une fois le mur décroûté, il va falloir attendre que le mur ait séché avant de rendre à la chaux. Ca peut prendre longtemps, mais c'est nécessaire.

Réparer une base légèrement érodée

Une base érodée sur quelques centimètres peut être réparée en mouillant le pisé en place, en le brossant légèrement pour enlever les parties ayant perdu leur cohésion et en appliquant une terre à pisé à la massette. La terre appliquée doit être la plus sèche possible mais doit pouvoir accrocher. En effet, plus la terre est mouillée, plus elle aura tendance à fissurer. Pour mettre en œuvre une terre plus humide, on va être obligé de lui rajouter du sable, ce qui réduira la solidité de la réparation.

La terre de réparation doit toujours être damée du haut en bas, mais pas en dévers.

Assécher un mur en pisé

Un mur en pisé trop humide peut être asséché artificiellement en remplaçant la partie trop humide par des 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 (voir paragraphe suivant). Ces adobes seront remplacés une fois le mur asséché par d'autres adobes moins sableuses.

Reboucher une cavité dans une partie courante de mur

Les ouvrages en terre mal entretenus ont parfois besoin d'être repris à certains endroits. Pour réparer une cavité dans un mur en pisé, 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.

Il est dangereux de simplement reboucher les trous avec de l'enduit pour masquer la misère. Un enduit sert à protéger le mur, mais ne sert pas à reprendre les descentes de charges, ce n'est pas sa fonction. Le mur sera fragilisé, mais personne ne le saura !

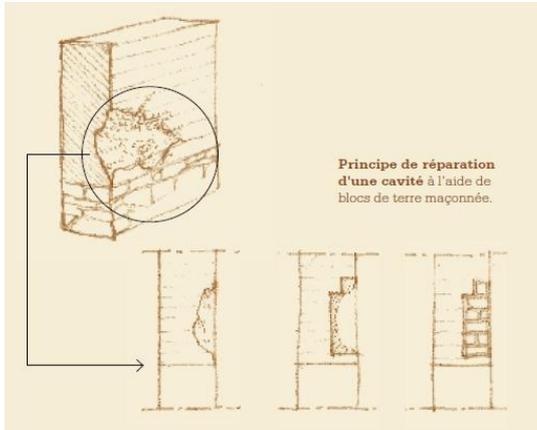


Erreur : couche d'enduit de corps fibrée utilisée pour reboucher les trous : Ouarzazatte (partie courante d'un mur), Tinzouline (pied de mur)

La cavité recreusée devra être mouillée (sans que ça ne ruisselle) avant d'être comblée avec de la terre pour que la réparation ait les mêmes caractéristiques que le mur dans laquelle elle est faite.



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.



Principe de réparation d'une cavité à l'aide de briques

PNR Livradois Forez

Reprendre l'intégralité du pisé au dessus du soubassement

Si l'intégralité du bas du mur doit être remplacée (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.

Sans rehausser le soubassement

Si le niveau du sol est rabaissé à son niveau d'origine, la réparation peut se faire avec des adobes. On stoppera les remontées capillaires en installant un film goudronné au dessus du soubassement.

Attention ! 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 même aggravé les choses.

Après avoir réparé les premières portions de mur, il va falloir attendre que le mortier des portions réparées sèche (pour qu'il ait acquis sa pleine résistance à la compression). Une fois les zones réparées sèches, on peut creuser les zones restantes, installer le film goudronné, les réparer, les laisser faire leur retrait et enfin faire le raccord entre les réparations.

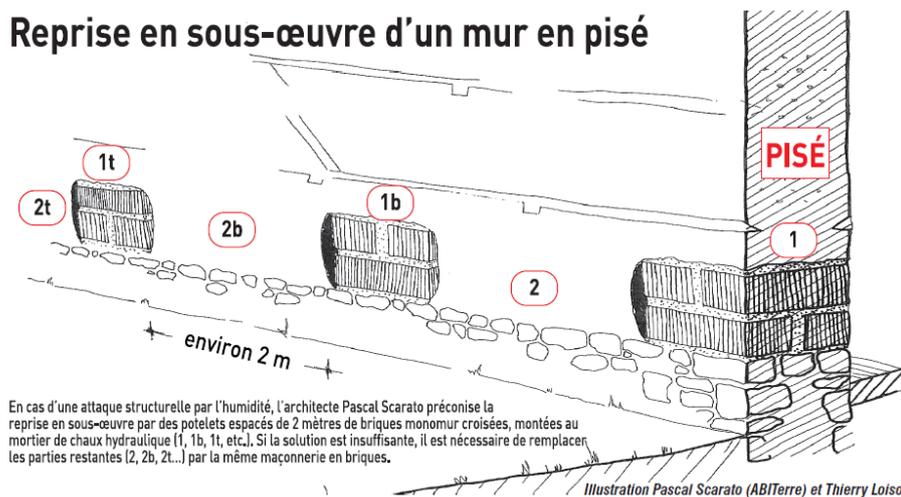
En réhaussant le soubassement

Si le niveau du sol ne peut pas être ramené à son niveau d'origine, on peut procéder de la même manière, mais en utilisant des briques ne craignant pas l'humidité.

Pascal Scarato préconise la reprise en sous œuvre par des potelets de briques Monomur croisées, montées au mortier de chaux hydraulique, qui permet de reprendre les charges et d'évacuer l'humidité. Les potelets sont espacés de 2 mètres initialement, et non enduits pendant quelques mois. Cette reprise rapide à mettre en œuvre permet le retour des habitants chez eux deux semaines après leur évacuation. Si la solution ne suffit pas à

redonner au pisé ses qualités, les parties restantes sont remplacées par la même maçonnerie.

Reprise en sous-œuvre d'un mur en pisé



En cas d'une attaque structurelle par l'humidité, l'architecte Pascal Scarato préconise la reprise en sous-œuvre par des potelets espacés de 2 mètres de briques monomur croisées, montées au mortier de chaux hydraulique (1, 1b, 1t, etc.). Si la solution est insuffisante, il est nécessaire de remplacer les parties restantes (2, 2b, 2t...) par la même maçonnerie en briques.

Illustration Pascal Scarato (ABITerre) et Thierry Loison

Source AQC n°143

Fixer un coffrage dans un mur en pisé

Pour fixer des planches de coffrage sur un mur en pisé, on peut utiliser des chevillettes de maçon. Ca ne suffira peut-être pas dans le cas d'une réparation ou l'on repise la partie manquante du mur, mais ca suffira largement si on décide de couler de la terre.



Les planchers en pisé

Dans les vieilles bâtisses, on trouve parfois des planchers en pisé, qui permettaient entre autre de protéger le bâtiment et la charpente de la propagation des incendies.

Le séchage définitif du mur

La surface d'un mur en pisé sèche rapidement, mais le cœur du mur reste humide très longtemps. Il faut parfois plus d'un an pour que le mur soit sec. Pour laisser l'eau s'échapper, les deux faces du mur ne doivent pas être enduites une fois la fleur de pisé sèche. Les bandes de mortier à la chaux tirent l'humidité vers l'extérieur. La face intérieure du mur est enduite en premier (l'intérieur des maisons est plus humide que l'extérieur).

Les prix pratiqués

Les prix donnés ici sont à prendre avec des pincettes. La demande sur la construction en pisé et sur les matières premières n'est pas suffisante pour que les prix se soient homogénéisés. Le « marché » est surtout celui de la rénovation du patrimoine existant, et pas celui de la construction neuve.

La matière première

Prix HT (ordre de grandeur)	En sac	En vrac
Terre argileuse sèche au détail		150 - 200 € / tonne
Sable	5 € / 25 kg	30-60 € / tonne
Argile non broyée		30 € / tonne
Argile sèche en poudre	40 € / 25 kg	120 € / tonne
Mélange à pisé		
Mélange à béton	3-4 € / 25 kg	20-80 € / tonne

La main d'œuvre

Faire faire un mur en pisé, c'est avant tout rémunérer le travail d'un professionnel. La mécanisation fait gagner pas mal de temps mais la location d'un psoir pneumatique, d'un compresseur pneumatique, de banches, d'échafaudages, d'engins de chantier peut faire rapidement grimper la note.

Les rendements de production du pisé varient considérablement selon de multiples paramètres dont :

- l'organisation du chantier et les conditions de travail
- le type de coffrage utilisé
- le degré de mécanisation.

Un autoconstructeur (Christian Baur, Areso) a estimé le temps de travail pour construire 1m³ de pisé. Ces valeurs sont des ordres de grandeurs qui doivent être considérés comme tels :

- Coffrer/décoffrer : 3 heures/m³
- Charger de la terre : 5 heures/m³ à la main, 1h30/m³ avec un Manitou
- Damer : 5 heures/m³ à la main, 1h30/m³ au psoir pneumatique
- Renforcer le mur (chaînage et liserés de chaux) : 1 heure/m³
- Plus le mur sera haut, plus l'écart se creusera à l'avantage de la mécanisation

A ceci vient se rajouter la préparation de la terre si celle-ci doit être démottée, homogénéisée, malaxée, amendée et réhumidifiée.



Tout compris

Si l'on prend tout en compte (coffrage, préparation de la terre, transport de la terre, mise en œuvre, décoffrage), on peut compter environ 4 à 6 heures de travail par m² de pisé, pour une épaisseur de mur de 50 cm, en utilisant un piseur pneumatique et des moyens de manutentions modernes.

D'après « Traité de construction en terre », le rendement peut aller de 5 à 30 heures par m³ pour un chantier très mécanisé, suivant les conditions du chantier (très bonnes à très mauvaises).

D'après « construire en terre crue », la réalisation d'un mur en pisé de 30 cm d'épaisseur prend entre 6 et 21 heures par m², et son prix de revient serait compris entre 300 et 900 €/m². D'après une autre source, les tarifs pratiqués par les artisans piseur en 2012 iraient de 350 à 1000 €/m² en fonction du niveau de mécanisation et des conditions de chantier.

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

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

A la fin de la seconde guerre mondiale, 3 documents officiels ont 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 pisé, les artisans peuvent passer par une « Appréciation Technique d'Expérimentation » (ATEX) si le chantier est conséquent, et trouver un assureur qui accepte d'assurer le pisé en « technique non-courante ».

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



Pisé en remplissage d'une ossature en briques de terre cuite



Ils l'ont fait en pisé !



Hakka des Tulou (Fujian, Chine)



Palais du Potala
(Tibet, Chine)



Ksar d'Aït Ben Addou (Maroc)



Palais de l'Alhambra
(Espagne)



Grande muraille (Jiayuguan, Chine)



La Croix-Rousse
(Lyon, France)





Bâtiment à Weilburg en Allemagne

POUR INFORMATION



Aujourd'hui aussi !



Domaine de la terre, Villefontaine, France



Rick Joy, Etats-Unis



Oaxaca School of Plastic Arts
Mauricio Rocha



Hôpital de Feldkirch, Autriche



Casa Posada Moreno, la Aldea, Colombie, Jesus



Un peu de lecture

Références bibliographiques



On aime aussi





POUR INFORMATION

Le pisé

POUR INFORMATION



CONTACT

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

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

associationlevillage@wanadoo.fr
www.associationlevillage.fr



POUR INFORMATION