

Construire en pisé

Prescriptions de dimensionnement
et de mise en œuvre

EDITIONS
LE MONITEUR



CRAterre

Sommaire

	Avant-propos	7
	Préface.....	9
	Introduction.....	13
CHAPITRE 1	Domaines d'emploi	17
CHAPITRE 2	Conception, dimensionnement et tolérances dimensionnelles.....	25
CHAPITRE 3	Dispositions constructives.....	35
CHAPITRE 4	Mise en œuvre	53
CHAPITRE 5	Analyses et contrôles.....	75
CHAPITRE 6	Désordres et traitements	119
ANNEXE	Caractéristiques du pisé.....	125
	Bibliographie	127
	Références normatives.....	133
	Index.....	137
	Table des matières.....	141

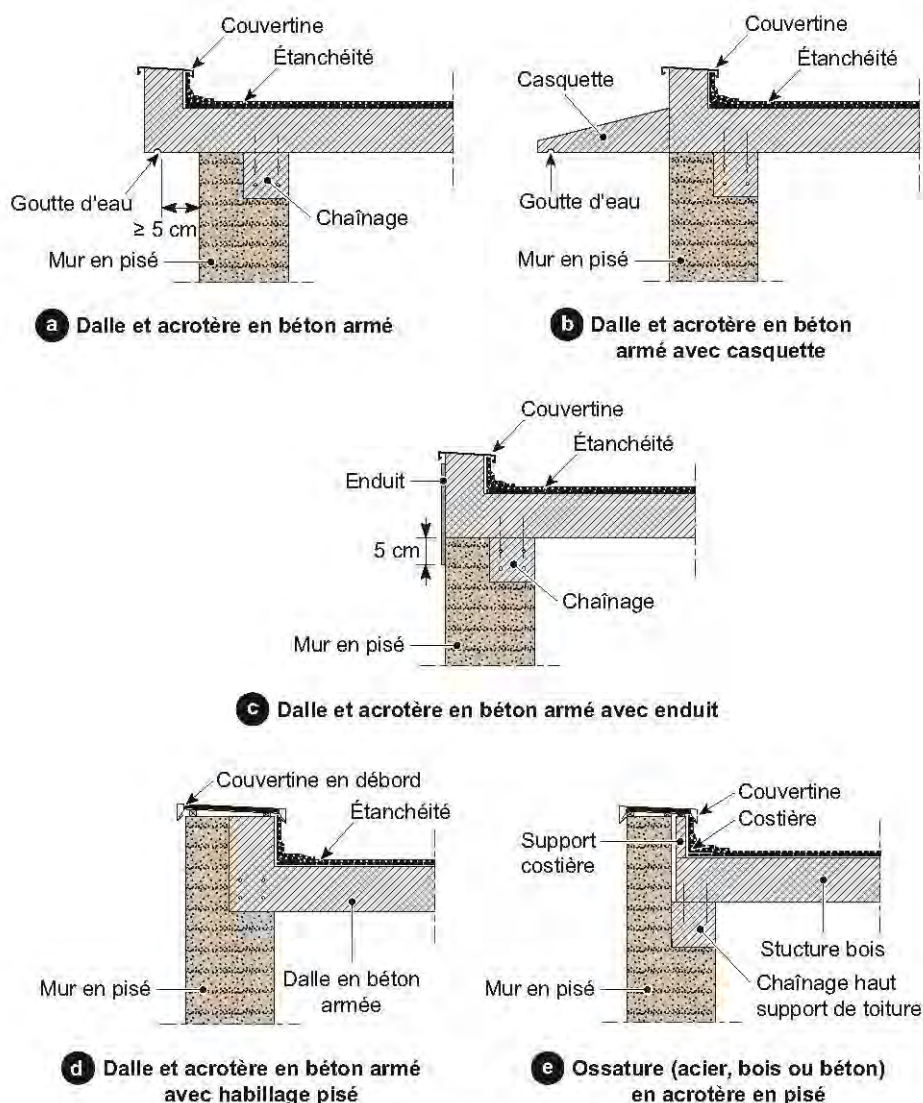


Fig. 3.6. Principes de liaison en toiture

3.4.1 Protection en tête de mur

Une protection supplémentaire, formée d'une arase réalisée au mortier de sable et de ciment, de sable et de chaux, ou en terre stabilisée, peut être mise en œuvre pour protéger la tête du mur contre les infiltrations et fuites accidentelles d'eau de la couverture.

- la longueur cumulée des ouvertures ne doit pas dépasser $\frac{1}{3}$ de la longueur du mur ;
- la distance minimale entre une baie et l'extrémité du mur sur lequel elle se trouve est de 80 cm (voir § 2.3.2) ;
- la largeur d'un trumeau doit être supérieure égale à l'épaisseur du mur sur lequel il se situe, sans être inférieure à 80 cm.

3.8.2 Linteau

La pose d'un linteau doit précéder la création d'une ouverture, celle-ci pouvant être réalisée après le séchage du mur en pisé.

La longueur minimale d'appui d'un linteau est de 20 cm. Il peut être coulé sur place (fig. 3.14a, 3.14c et 3.14d) ou préfabriqué (béton, acier ou bois) (fig. 3.14b). Un linteau préfabriqué en béton armé doit être mis en œuvre, aux appuis, sur un lit de mortier frais (fig. 3.14d).

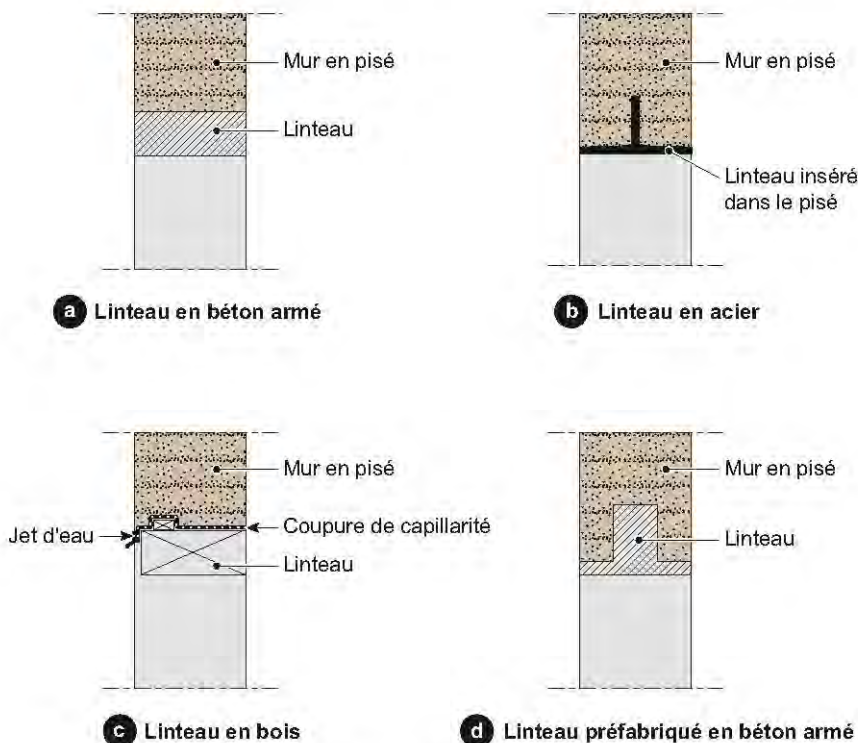


Fig. 3.14. Principes de linteau (vues en coupe)

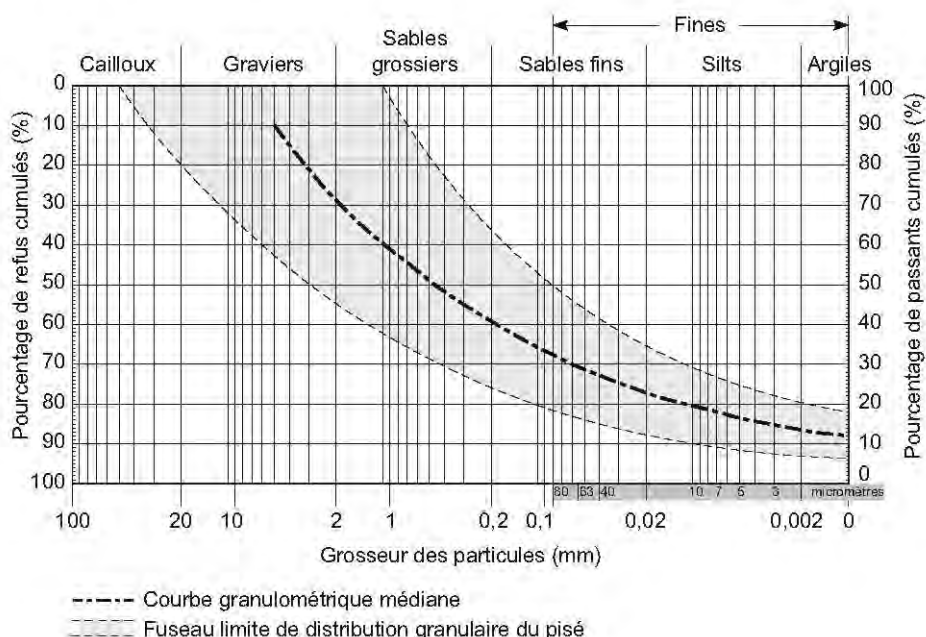


Fig. 4.1. Fuseau granulométrique

Sa courbe médiane montre la distribution granulaire d'un matériau comportant :

- 70 % d'éléments dont la grosseur est inférieure à 2 mm (sables et particules fines) avec :
 - 35 % de fines ($< 80 \mu\text{m}$),
 - 15 % d'argiles ($< 2 \mu\text{m}$) ;
- 30 % de graviers ($> 2 \text{ mm}$).

Selon la nomenclature du Guide des terrassements routiers¹ et de la norme NF P 11-300², une terre avec cette distribution granulaire est un sol sableux et graveleux contenant des fines. Une terre à pisé dont la courbe granulométrique se situe dans ce fuseau est donc, *a priori*, convenable. À l'inverse, cela ne signifie pas pour autant qu'une terre dont la courbe granulométrique n'est pas totalement contenue dans ce fuseau ne puisse pas donner de bons résultats.

4.1.2 Nature des constituants

La nature des éléments constitutifs du pisé peut affecter sa stabilité dimensionnelle et sa durabilité. Les graviers, dont la proportion est comprise entre 20 et 30 %, participent

1. Guide des terrassements routiers (SETRA, LCPC, *Réalisation des remblais et des couches de forme*, ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, 2000).

2. NF P 11-300 (septembre 1992 – indice de classement : P 11-300) : Exécution des terrassements – Classifications des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

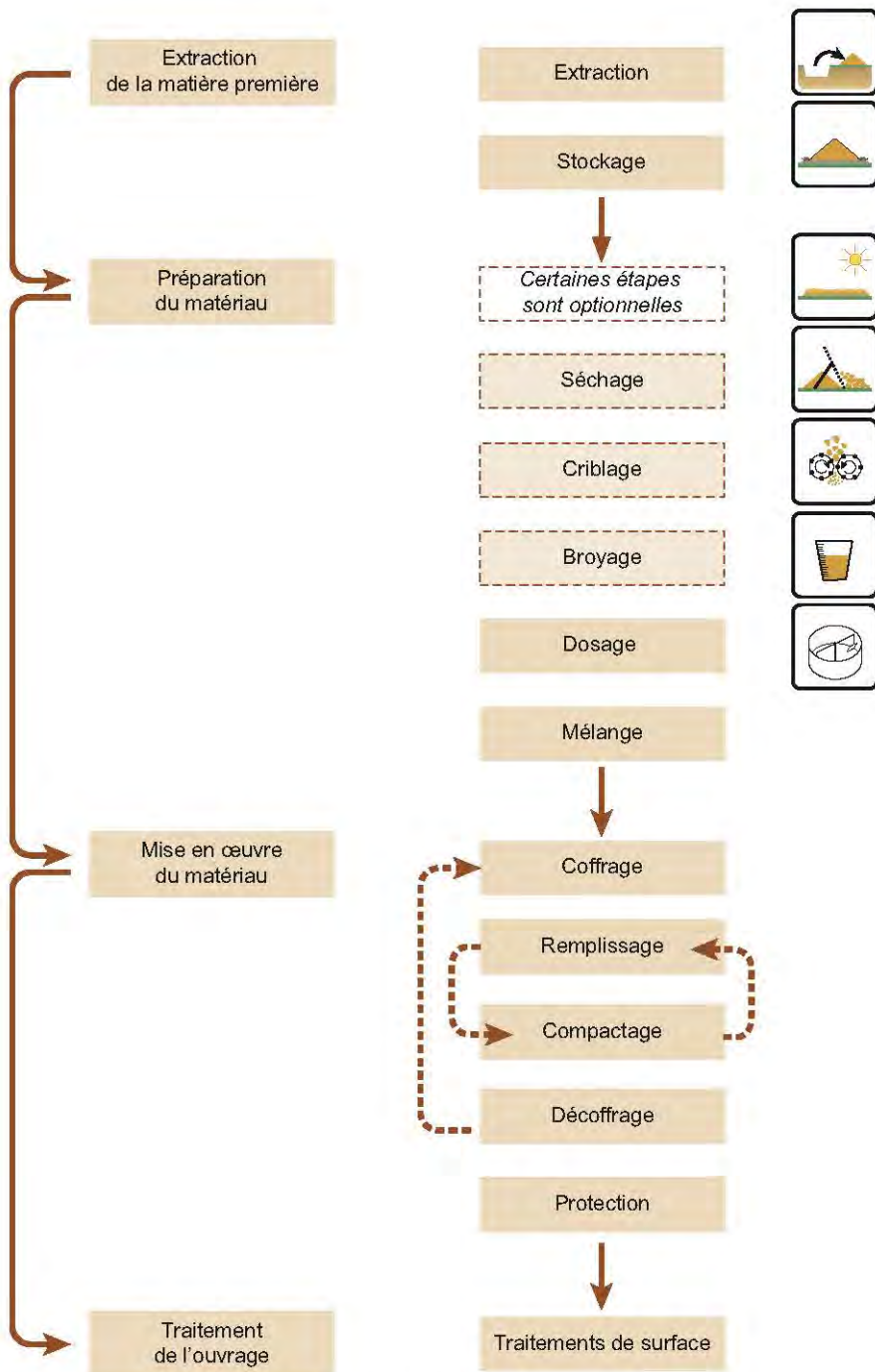


Fig. 4.4. Ligne de production du pisé



Photo 4.7. Pulvérisation

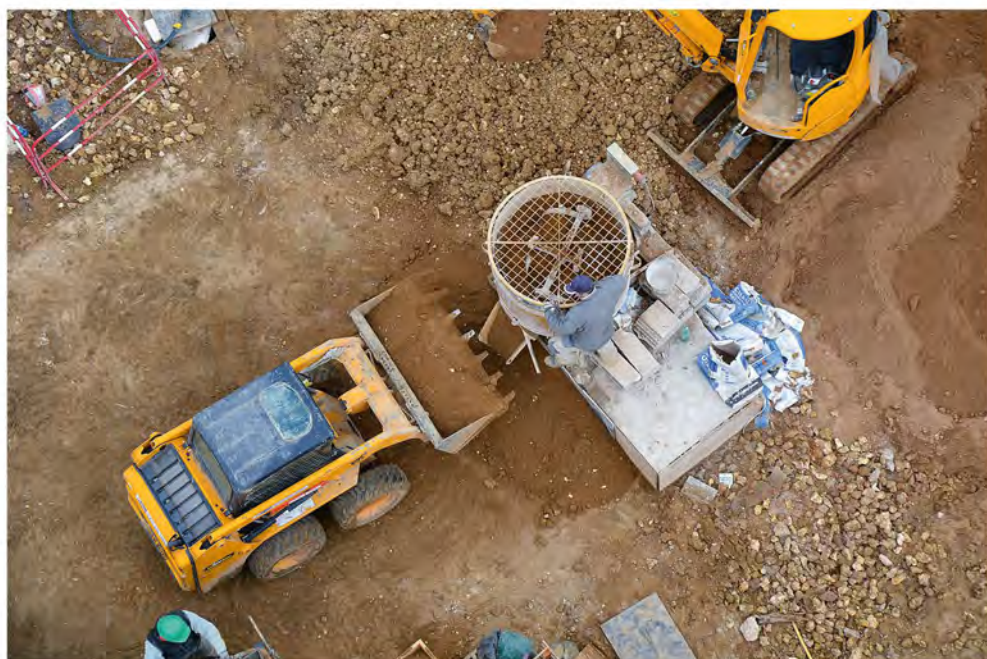


Photo 4.8. Malaxage mécanique avec malaxeur planétaire

Tab. 5.2. Analyses et contrôles de la matière pour une mise en œuvre de type B

Étapes de validation	Essais et contrôles	Fiche technique correspondante
En amont du chantier : Caractérisation de la matière première	Analyse de la matière première	F1 – Prélèvement des échantillons de terre
		F2 – Identification rapide des terres
		F3, F3.1, F3.2 et F3.3 – Analyse granulométrique des terres
	Mise au point du matériau	F4 – Correction granulaire
		F5, F5.1, F5.2 et F5.3 – Tests sur éprouvettes de pisé
		F6 – Murets d'essai
Pendant le chantier : Mise en œuvre	Contrôle de la matière première	F2 – Identification rapide des terres
		F3, F3.1, F3.2 et F3.3 – Analyse granulométrique des terres
	Contrôle du matériau	F5, F5.1, F5.2 et F5.3 – Tests sur éprouvettes de pisé
		F7 – Contrôle de la maniabilité et ajustement de la teneur en eau
	Contrôle de la mise en œuvre	F8 – Contrôle du compactage
		F9 – Contrôle du matériel et de l'ouvrage en cours d'exécution
Après le chantier : Réception de l'ouvrage	Contrôle de conformité	F10 – Observations sur l'ouvrage dès son achèvement

Contrôle de la mise en œuvre

Contrôle du compactageFICHE
F8

FICHE F8

Objectifs

Cette fiche décrit un test permettant de contrôler, sur chantier, la qualité du compactage d'un pisé pour en corriger une éventuelle insuffisance ¹⁴.

Principe

Ce contrôle consiste à mesurer, dans le coffrage, la diminution de la hauteur d'une couche de pisé suite au compactage et à vérifier que la relation $h' = 2/3 \times h$ est respectée ¹⁵.

1. Matériel

- Une pige sur laquelle sont indiquées les hauteurs h et h' projetées. L'utilisation d'une pige est conseillée car elle réduit le risque d'erreur ;
- à défaut, un mètre à ruban ou un régleur métallique.

2. Préparation

Aucune.

3. Exécution de l'essai (fig. 5.5)**À l'aide d'une pige**

- Mettre en place la pige dans le coffrage puis déverser la couche de terre jusqu'à la marque h ;
- compacter la couche de terre ;
- vérifier la concordance du haut de la couche compactée avec la marque h' .

14. Cette méthode, appliquée de façon continue, banchée par banchée, permet un suivi régulier de la mise en œuvre. D'autres méthodes peuvent également être utilisées. L'une d'elles consiste à rapporter, pour une phase de la construction comportant plusieurs banchées, le volume de pisé produit à la quantité de terre approvisionnée. Les essais de compactage dans un moule, effectués avant le démarrage du chantier afin de déterminer la teneur en eau optimale de compactage, servent alors d'étalonnage.

15. Convenablement compactée, une terre perd usuellement environ un tiers de son volume initial. Ainsi, la hauteur h' d'une couche compactée doit respecter la relation suivante :

$$h' = \frac{2}{3} \times h$$

avec :

h' : hauteur de la couche de terre compactée (m) ;

h : hauteur de la couche de terre foisonnée (m).

Contrôle du compactage

À l'aide d'un mètre à ruban ou d'un réglet métallique

- Déverser la couche de terre dans le coffrage ;
- mesurer la distance d entre le haut de la couche de terre foisonnée et le haut de la banche de hauteur H connue. La hauteur h de la couche de terre foisonnée est calculée comme suit :

$$h = H - d$$

avec :

h : hauteur de la couche de terre foisonnée (m) ;

H : hauteur de la banche (m) ;

d : distance entre le haut de la couche de terre foisonnée et le haut de la banche (m) ;

– compacter la couche de terre ;

– mesurer la distance d' entre le haut de la couche de terre compactée et le haut de la banche.

La hauteur h' de la couche de terre compactée est calculée comme suit :

$$h' = H - d'$$

avec :

h' : hauteur de la couche de terre compactée (m) ;

H : hauteur de la banche (m) ;

d' : distance entre le haut de la couche de terre compactée et le haut de la banche (m).

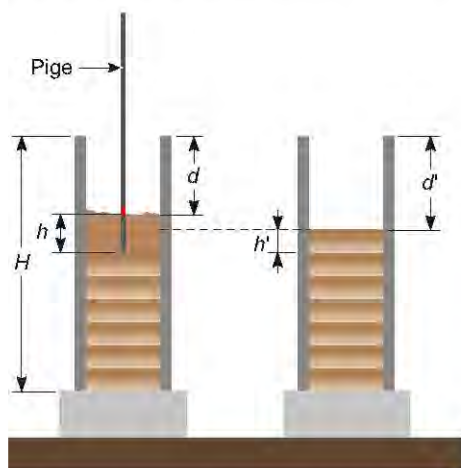


Fig. 5.5. Principe de l'essai permettant de contrôler le compactage d'un pisé

4. Calculs et présentation des résultats

- Vérifier que la relation $h' = 2/3 \times h$ est respectée ;
- dans le cas contraire, notamment si la hauteur h' est trop importante (compactage insuffisant), il convient de corriger l'énergie de compactage en modifiant la durée de celui-ci ou le matériel utilisé.

Table des matières

Sommaire	5
Avant-propos	7
Préface.....	9
Introduction.....	13
CHAPITRE 1 Domaines d'emploi	17
1.1 Ouvrages concernés.....	17
1.1.1 Types d'ouvrage	17
1.1.2 Fonctions assurées par les ouvrages.....	17
1.2 Classe de pisé	17
1.3 Bâtiments concernés	18
1.4 Zones sismiques concernées.....	18
1.4.1 Limitations d'usage par zones de sismicité	18
1.4.1.1 Zone 1 (très faible).....	19
1.4.1.2 Zone 2 (faible).....	19
1.4.1.3 Zones 3 (modérée) et 4 (moyenne).....	20
1.4.2 Coefficient de comportement q	21
1.5 Emploi par zone climatique.....	21
CHAPITRE 2 Conception, dimensionnement et tolérances dimensionnelles.....	25
2.1 Principes de conception des ouvrages en pisé.....	25
2.1.1 Principes structurels.....	25
2.1.2 Protection vis-à-vis de l'eau	25
2.1.2.1 Protections basse et haute des murs	25
2.1.2.2 Drainage.....	26
2.1.2.3 Pièces humides	26
2.2 Fonctions assurées par la paroi	26
2.2.1 Étanchéité à l'eau	26
2.2.2 Isolation phonique.....	26
2.2.3 Isolation thermique	26
2.2.4 Perméabilité à la vapeur d'eau et condensation.....	27

2.2.5	Réaction au feu.....	28
2.2.6	Résistance au feu.....	28
2.3	Dimensionnement des murs porteurs.....	29
2.3.1	Épaisseur minimale.....	29
2.3.2	Longueur minimale.....	29
2.3.3	Longueur maximale entre joints.....	29
2.3.4	Élancement et hauteur maximaux.....	30
2.3.4.1	Cas d'un mur libre.....	30
2.3.5	Calcul de la résistance à la compression admissible.....	31
2.3.5.1	Murs soumis à des charges concentrées.....	32
2.4	Tolérances dimensionnelles.....	33
2.4.1	Retrait linéaire.....	33
2.4.2	Tolérances géométriques.....	33
CHAPITRE 3	Dispositions constructives.....	35
3.1	Soubassement.....	35
3.1.1	Hauteur minimale.....	35
3.1.2	Protection contre les remontées d'humidité.....	36
3.2	Dallage ou plancher bas.....	37
3.3	Plancher et charpente.....	37
3.3.1	Liaison plancher-mur.....	37
3.3.2	Appuis des éléments de charpente en acier ou en bois.....	38
3.4	Couverture.....	39
3.4.1	Protection en tête de mur.....	40
3.4.2	Relevé d'étanchéité et solin.....	41
3.5	Châînages.....	41
3.5.1	Châînage horizontal.....	41
3.5.2	Châînage vertical.....	42
3.6	Joints de retrait, de tassement ou de dilatation.....	43
3.6.1	Joint de retrait.....	43
3.6.2	Joint de tassement sous poids propre.....	43
3.6.3	Joint de dilatation ou de rupture.....	44
3.7	Jonction entre murs.....	44

3.7.1	Jonction entre murs en pisé	44
3.7.2	Jonction entre murs de nature différente.....	44
3.8	Ouverture	46
3.8.1	Dimensionnement	46
3.8.2	Linteau	47
3.8.3	Jonction allège-jambage et appui de baie.....	48
3.8.4	Larmier	49
3.9	Isolation thermique.....	49
3.10	Revêtements intérieur et extérieur	51
3.11	Implantation des réseaux.....	51
3.12	Fixation non structurelle.....	51
CHAPITRE 4	Mise en œuvre	53
4.1	Terres « admissibles » et critères de convenance.....	53
4.1.1	Distribution granulaire et fuseau de convenance.....	53
4.1.2	Nature des constituants	54
4.1.2.1	Argiles.....	55
4.1.3	Composants indésirables.....	57
4.1.3.1	Minéraux solubles non argileux	57
4.1.3.2	Matières organiques	57
4.1.3.3	Substances polluantes ou toxiques	58
4.2	Procédé de fabrication.....	58
4.2.1	La ligne de production du pisé, de la carrière à l'élément fini.....	58
4.2.1.1	Approvisionnement de la terre	60
4.2.1.2	Préparation de la terre	62
4.2.1.3	Mise en œuvre du pisé	65
4.2.1.4	Traitement de surface	70
4.2.2	Outils spécifiques à la technique du pisé.....	70
4.2.2.1	Coffrages.....	70
4.2.2.2	Outils de compactage.....	71
4.2.3	Sécurité des intervenants.....	72
4.2.3.1	Organisation des coffrages.....	72
4.2.3.2	Maintien des coffrages	72
4.2.3.3	Étalement	73
4.2.3.4	Déplacement des coffrages ou des éléments de pisé préfabriqués...	73
4.2.3.5	Compactage.....	73

CHAPITRE 5	Analyses et contrôles	75
5.1	Procédures d'analyse et de contrôle	75
5.2	Types de mise en œuvre	76
5.3	Contrôles pour une mise en œuvre de type A	76
5.3.1	Caractérisation de la matière première	76
5.3.2	Conception du matériau	76
5.3.3	Mise en œuvre	76
5.3.4	Réception de l'ouvrage	77
5.4	Contrôles pour une mise en œuvre de type B	77
5.4.1	Caractérisation de la matière première	78
5.4.2	Conception du matériau	78
5.4.3	Mise en œuvre	78
5.4.4	Réception de l'ouvrage	78
5.5	Fiches techniques	80
5.5.1	Analyse de la matière première	81
Fiche F1	Prélèvement des échantillons de terre	81
Fiche F2	Identification rapide des terres	85
Fiche F3	Analyse granulométrique des terres	86
Fiche F3.1	Analyse granulométrique des terres – Essai de tamisage par voie humide	89
Fiche F3.2	Analyse granulométrique des terres – Essai de tamisage par voie sèche après lavage	92
Fiche F3.3	Analyse granulométrique des terres – Essai de sédimentométrie	94
5.5.2	Mise au point et contrôle du matériau	97
Fiche F4	Correction granulaire	97
Fiche F5	Tests sur éprouvettes de pisé	101
Fiche F5.1	Tests sur éprouvettes de pisé – Mesure du retrait linéaire	103
Fiche F5.2	Tests sur éprouvettes de pisé – Mesure de la masse volumique	105
Fiche F5.3	Tests sur éprouvettes de pisé – Mesure de la résistance à la compression	107
Fiche F6	Murets d'essai	110

Fiche F7	Contrôle de la maniabilité et ajustement de la teneur en eau	111
5.5.3	Contrôle de la mise en œuvre.....	113
Fiche F8	Contrôle du compactage	113
Fiche F9	Contrôle du matériel et de l'ouvrage en cours d'exécution	115
5.5.4	Contrôle de conformité	117
Fiche F10	Observations sur un ouvrage dès son achèvement.....	117
CHAPITRE 6	Désordres et traitements	119
6.1	Origines des malfaçons et désordres	119
6.1.1	Erreurs de conception	119
6.1.2	Malfaçons lors de la mise en œuvre	120
6.1.3	Mauvaise exploitation du bâtiment.....	120
6.1.4	Réhabilitation inadaptée	120
6.2	Description et traitement des désordres	121
ANNEXE	Caractéristiques du pisé.....	125
	Bibliographie	127
	Références normatives.....	133
	Index.....	137

Construire en pisé

Le pisé est une technique de construction qui permet de réaliser des parois en compactant de la terre humide entre des banches formant un coffrage. Écologique, disponible localement, résistant aux épreuves du temps, matériau qui régule l'humidité, bon isolant phonique, résistant au feu, le pisé, issu de l'architecture vernaculaire, présente de nombreux avantages s'il est mis en œuvre correctement.

Cette technique n'étant pas encore normée, cet ouvrage fournit, en s'appuyant sur l'analyse des techniques traditionnelles et sur le développement plus récent de la connaissance scientifique, les prescriptions techniques permettant de mettre en œuvre la terre crue. Suivant la chronologie d'une opération de construction, cet ouvrage en couleurs :

- précise les différentes classes d'emploi du pisé en fonction des contraintes admissibles, du type d'ouvrage considéré (paroi porteuse ou non porteuse), de la catégorie d'importance du bâtiment (habitat individuel ou collectif, bâtiment tertiaire, ERP, etc.) et des contraintes géographiques du lieu d'implantation (sismicité, climat) ;
- expose les principes de conception d'un ouvrage en pisé et fournit les éléments pour le dimensionner (épaisseur, longueur, hauteur et élancement) ;
- détaille les dispositions constructives des éléments en pisé et leur liaison avec les autres éléments du bâtiment (soubassement, couverture et étanchéité, ouverture, isolation thermique, réseaux, etc.) ;
- décrit les étapes de mise en œuvre du pisé, depuis le choix des terres jusqu'à sa mise en place sur chantier ;
- propose une méthode de contrôle du matériau et de sa mise en œuvre afin d'assurer la qualité de production des éléments en pisé (prélèvement d'échantillon, analyse, essai et contrôle) ;
- énumère les désordres courants des ouvrages en pisé (variations chromatiques et de densité, fissure, humidité, etc.) et les solutions permettant de les éviter ;
- présente, en annexe, les principales caractéristiques du matériau (masse volumique, résistances mécaniques, conductivité thermique, perméabilité à la vapeur d'eau, etc.).

Ce livre permet ainsi de construire et rénover un ouvrage en pisé et acquérir une maîtrise parfaite des chantiers de construction, de la préparation du matériau à la réception des ouvrages.

Enrichi de nombreuses photographies et figures, il est destiné aux architectes, maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrage et artisans soucieux de mettre à profit des savoir-faire qui ont déjà fait leurs preuves.



ISBN 978-2-281-14380-5



EDITIONS

LE MONITEUR

Auteur

Créé en 1979, le CRAterre (Centre international de la construction en terre) a acquis une renommée mondiale dans le domaine de la construction en terre et des cultures constructives locales.

Sommaire

1. Domaines d'emploi
2. Conception, dimensionnement et tolérances dimensionnelles
3. Dispositions constructives
4. Mise en œuvre
5. Analyses et contrôles
6. Désordres et traitements

Annexe. Caractéristiques du pisé