

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE :
TERRE CRUE

AUTOMNE 2024

Normalisation de la maçonnerie d'argile non cuite (bloc, mortier, enduit)

Adaptation des normes DIN allemandes au contexte belge, perspectives de normalisation belge

Benoit MICHAUX



- ▶ Pourquoi une normalisation ?
- ▶ Aperçu de la normalisation pour une maçonnerie « traditionnelle »
- ▶ Position de la terre crue dans la normalisation actuelle
- ▶ Aperçu des principales propriétés
 - Briques de maçonnerie
 - Mortier de maçonnerie
 - Plâtrage





► **Pourquoi une normalisation ?**

► Article Ziegert et al. (2020) :

« *The success story of earth building standards in Germany* »

Earth building materials have become a normal and modern choice in German building practice and their use has risen steadily in recent years. A key reason for both these developments is that they are regulated by rules and standards, enabling architects, engineers and artisans to use and specify earth building materials without undue risk. These standardised building materials are now used widely in both new construction and in conservation work.

⇒ **La normalisation est essentielle à la confiance, à la transparence du marché et à la qualité.**



CADRE NORMATIF ET DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

- ▶ Cadre normatif de la maçonnerie
- ▶ Documents de référence pour les produits d'argile crus

BLOCS DE MAÇONNERIE

MORTIERS DE MAÇONNERIE

ENDUITS INTERIEURS

EXÉCUTION



Conception/exécution



source: Buildwise

CEN/TC 250 « Eurocode 6 »

STS 22 ; NIT 208 et NIT 271

NBN EN 13914-1/-2

NIT 284 (2023) et NIT 209 (en cours de révision)



Produit



Source: Wienerberger.be

CEN/TC 125 « Masonry » :

NBN EN 771-1 à -6

NBN EN 998-1/2 (minéral)

NBN EN 15824 (organique)

prNBN B 14-003 (argile)

CEN/TC 241 « gypsum and
gypsum based products »

NBN EN 12859 (blocs)

NBN EN 13279-1 (enduit)



Composant



source: Indiamart.com

CEN/TC 51 « Cement and building limes »:

NBN EN 197-1 et NBN EN 413-1 (ciment)

NBN EN 459-1 (chaux)



Au niveau du « produit »



Source: warmgreen.nl



Source: wienerberger.be



Source: Argibat

	Briques crues	Mortier de terre crue	Enduit de terre crue / Enduit d'argile
Allemagne	DIN 18945	DIN 18946	DIN 18947
France	XP P13-901(2022)	/	/
Belgique	/	/	prNBN B14-003



CADRE NORMATIF ET DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

BLOCS DE MAÇONNERIE

MORTIERS DE MAÇONNERIE
ENDUITS INTÉRIEURS
EXÉCUTION



Tabel 2 Referentiedocumenten met betrekking tot genormaliseerde metselstenen.

Referentie-document	Binnen het toepassingsgebied van de Eurocode 6+ANB						Gipsblokken
	Baksteen	Kalkzandsteen	Beton	Geauto-claveerd cellenbeton	Kunststeen	Natuursteen	
Productnorm	NBN EN 771-1 [B22]	NBN EN 771-2 [B23]	NBN EN 771-3 [B24]	NBN EN 771-4 [B25]	NBN EN 771-5 [B26]	NBN EN 771-6 [B27]	NBN EN 12859 [B81]
Vrijwillige certificering of attestering (BENOR- of ATG-merk)	PTV 23-002 [B5] PTV 23-003 [B6] BENOR	PTV 21-003 [P3] BENOR	PTV 21-001 [P1] BENOR	PTV 21-002 [P2] BENOR	PTV 21-001 [P1] BENOR	BUTgb-leidraden (*) ATG	BUTgb-leidraden ATG
(*) Voor natuursteen kan er een technische goedkeuring ATG afgeleverd worden voor het materiaal, maar niet voor het afgewerkte product.							

BENOR



Aperçu des performances générales

- ▶ **Classification**
 - Classes d'application
 - Composants et production
- ▶ **Dimensions, forme et aspect**
 - Dimensions et tolérances
 - Planéité et parallélisme
 - Caractéristiques esthétiques
 - Perforations
- ▶ **Propriétés physiques**
 - Masse volumique
 - Absorption d'eau
 - Dilatation hygrométrique
 - Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau
- ▶ **Propriétés mécaniques**
 - Résistance à la compression
 - Résistance à la flexion
 - Distorsion sous contrainte
- ▶ **Résistance au gel**
- ▶ **Autres caractéristiques**
 - Conductivité thermique
 - Réaction au feu
 - Sels solubles/nocifs



Classification

► DIN 18945

- Brique crue - portante/non portante - DIN - procédé de fabrication, perforation, résistance à la compression, classe d'application - classe de densité - abréviation du format

► XP P13-901 (2022)

Method of production	Class	Mech. strength category	Density category	Dimensions (cm)	Stabilisation (% of dry mass)	Normative reference
BTC	CL1	RC 0	Mv 1.4	h × b × l	S x %	XP P13-901
BTE	CL2	RC 1	Mv 1.5			
BTM	CL3	RC 2	Mv 1.6			
	CL4	RC 3	Mv 1.7			
		RC 4	Mv 1.8			
		RC 5	Mv 1.9			
		RC 6	Mv 2.0			
			Mv 2.1			

BTE – CL2 – RC 4 – Mv 2,0 – 5 × 11 × 22 – S 0 % – XP P 13-901

05 Designation scheme for the labelling of unfired earth blocks



Domaine d'application

► Classes d'application



Exposition	DIN 18945	XP 13-901 (2022)
Maçonnerie extérieure, sans enduit, apparente	Classe I a	CL1
Maçonnerie extérieure, enduite, apparente	Classe I b	CL2
Maçonnerie extérieure et intérieure, protégée	Classe II	CL3
Maçonnerie intérieure, sèche (pas de mortier)	Classe III	CL4



Composants

- Terre : gravier, sable, limon, argile
- Liant : chaux...
- Additifs : granulés, fibres, pigments...



Source: Buildwise

Granulométrie

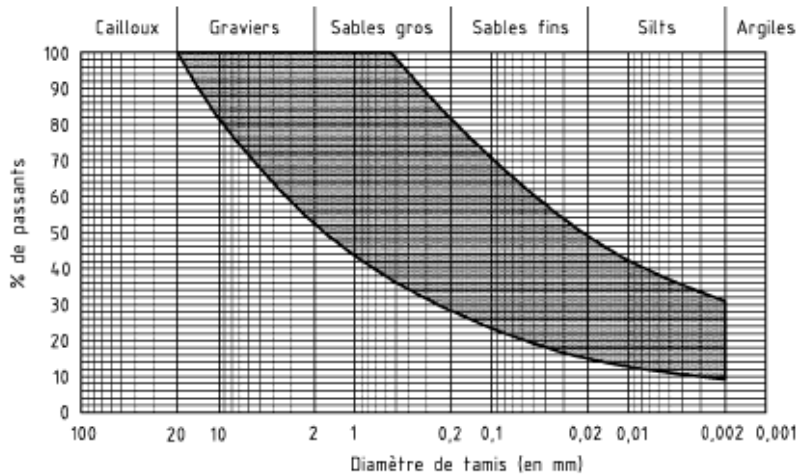


Figure A.1 — Fuseau du diagramme de texture des terres

Source: CRATerre (ISBN 2-9069901-27-X)

Plasticité

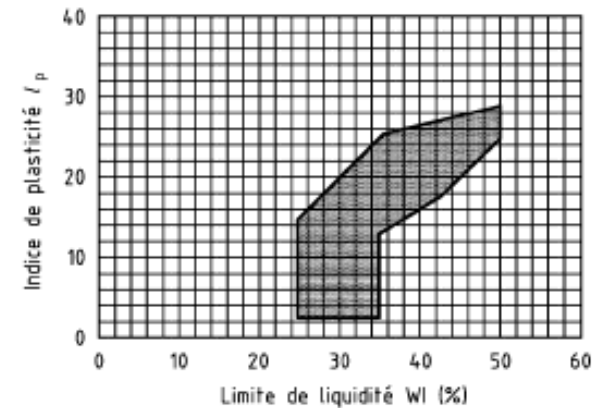


Figure A.2 — Fuseau du diagramme de plasticité des terres

Source: CRATerre (ISBN 2-9069901-27-X)



Dimensions, forme et aspect

► Dimensions (L, l, h)

- NBN EN 772-16

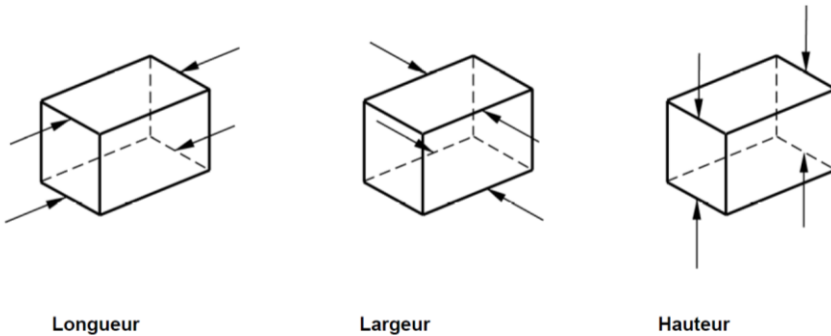


Figure 1 a) — Positions de mesurage

Dimensions [mm] (DIN 18945)

Longueur (L)

Largeur (l)

Hauteur (h)

240

115– 365

52 - 238

► Tolérances / dispersion

Tolérances sur les dimensions (XP P13-901)

Blocs stabilisés

+/- 3 mm

Blocs extrudés

+/- 3 mm

Blocs non stabilisés

+/- 6 mm



Dimensions, forme et aspect

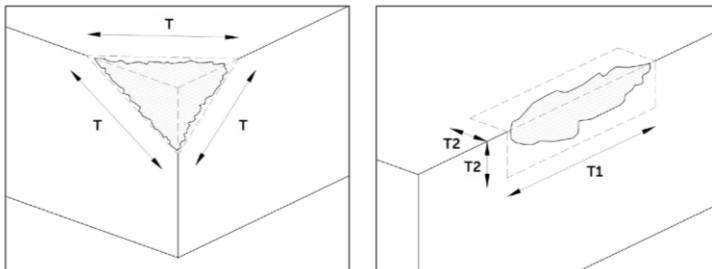
► Imperfections

- Acceptation en concertation entre les parties
- Briques endommagées : max. 5-10% ?
- Briques avec défauts : max. 5-10% ?



Source: Buildwise

► Dégradation des bords et des coins



Source: Lehm 2020

Table 2: Defect dimensions tolerance

Default location	T	T1	T2
Maximum length allowed (mm)	20	30	5



Propriétés physiques

- ▶ **Masse volumique**
 - Classe définie sur base des dimensions et du poids
 - DIN : blocs portants au moins classe 1.4
- ▶ **Absorption d'eau par capillarité**
- ▶ **Stabilité dimensionnelle (rétrécissement - gonflement)**
- ▶ **Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau**



Résistance à l'humidité et au gel

⇒ **Svt non résistant à l'humidité et au gel**

- ▶ Immersion dans l'eau (perte de masse)
- ▶ Contact avec un tissu humide (fissures, gonflement)
- ▶ Cycles de gel-dégel

Table 4: Durability tests and application classes

Class	Immersion Test (Mass loss in %)	Contact test	Freeze/thaw cycles (# of cycles)
CL1	≤ 5	No cracks, or defect due to swelling observed	≥ 15
CL2	≤ 5	No cracks, or defect due to swelling observed	≥ 5
CL3	≤ 20	No cracks, or defect due to swelling observed	Not required
CL4	Not required	Not required	Not required

Source: Lehm 2020



Propriétés mécaniques

- ▶ Résistance à la compression
 - **Catégorie I ou II**
 - **Résistance à la compression moyenne f_{mean} (EN 772-1)**
 - **Résistance à la compression caractéristique f_c**
 - **Résistance à la compression normalisée f_b**

$$f_b = \delta \cdot \delta_c \cdot f_{mean}$$

δ : facteur de forme
 δ_c : facteur de conditionnement

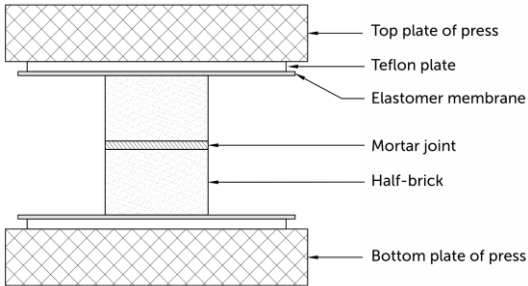
DIN 18945 Tabelle 7 — Druckfestigkeitsklassen von Lehmsteinen

	1	2	3
	Druckfestigkeitsklasse	Druckfestigkeit f_{st} N/mm ²	
		Mittelwert	Kleinster Einzelwert
1	2	2,5	2,0
2	3	3,8	3,0
3	4	5,0	4,0
4	5	6,3	5,0
5	6	7,5	6,0

XP P13-901 (2022)

Table 3: Categories of compressive strength

Compressive strength category	RC 0	RC 1	RC 2	RC 3	RC 4	RC 5	RC 6
Minimal compressive strength (N/mm ²)	<1	1	2	3	4	5	≥ 6

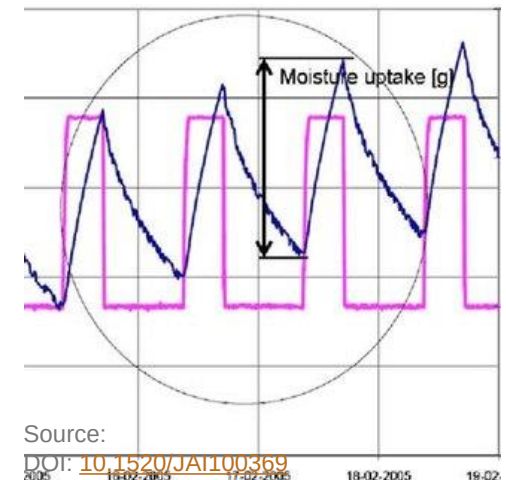
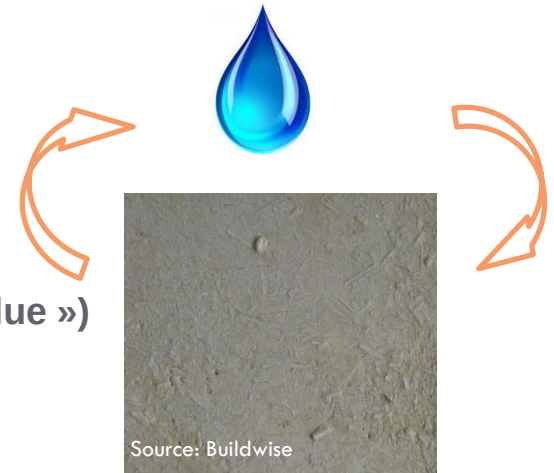


Source: Lehm 2020



Capacité à réguler l'humidité

- ▶ Adsorption de la vapeur d'eau (à une HR de 80%)
- ▶ Courbe de sorption-désorption (EN ISO 12571)
- ▶ Valeur du tampon hydrique ou MBV (« Moisture Buffer Value »)
 - Mesure de l'inertie hydrique
 - Fonction de la courbe de sorption/désorption et μ



CADRE NORMATIF ET DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

BLOCS DE MAÇONNERIE

MORTIERS DE MAÇONNERIE

ENDUITS INTÉRIEURS

EXÉCUTION



Source: wienerberger.be



Source: buildwise.be



Composition

- ▶ Argile, limon, sable, éventuellement liant (par ex. chaux)
- ▶ Additifs (ex. fibres)

Poudre / terre humide

Mortier frais

- ▶ Procédé de fabrication (eau, temps de repos)

	Consistance [mm]	Masse volumique mortier frais [kg/m³]
NBN EN 1015-2 (minéral)	175 ± 10	> 1200
	160 ± 10	> 600 et ≤ 1200
DIN 18946 (argile)	175 ± 5	



Principales performances

Propriété	NBN EN 998-2 Mortier de maçonnerie minéral (ciment-chaux)	DIN 18946 Mortier de maçonnerie à base d'argile
Masse volumique	Valeur déclarée	Classes de densité : 0,9 à 2,2 (= 900 à 2200 kg/m³) Maçonnerie portante : classe min. 1.6
Classe de résistance Résistance à la compression	M 1 : 1 N/mm² M 2,5 : 2,5 N/mm² M 5 : 5 N/mm² M 10 : 10 N/mm² Etc.	M 0 : - M 2 : 2,0 N/mm² M 3 : 3,0 N/mm² M 4 : N/mm² Maçonnerie portante : min. M2
Résistance à la flexion	Valeur déclarée	/
Force d'adhérence au cisaillement (bloc-mortier) (EN 1052-3) ~ maçonnerie portante	≥ 0.15 N/mm² ou valeur déclarée	≥ 0.04 N/mm²
Test croisé (B14-221)	 Source: Buildwise	 Source: Buildwise



Durabilité - si application extérieure

- ▶ Absorption d'eau par capillarité
- ▶ Résistance au gel
 - Se baser sur l'expérience pratique
 - Pas de méthode d'essai normalisée, manque de directives
- ▶ Classification de l'exposition de la maçonnerie :
 - Forte : saturation par l'eau en combinaison avec des cycles de gel-dégel
 - Modérée : exposition à l'humidité et cycles de gel-dégel
 - Passive : pas d'exposition à l'humidité ni au gel



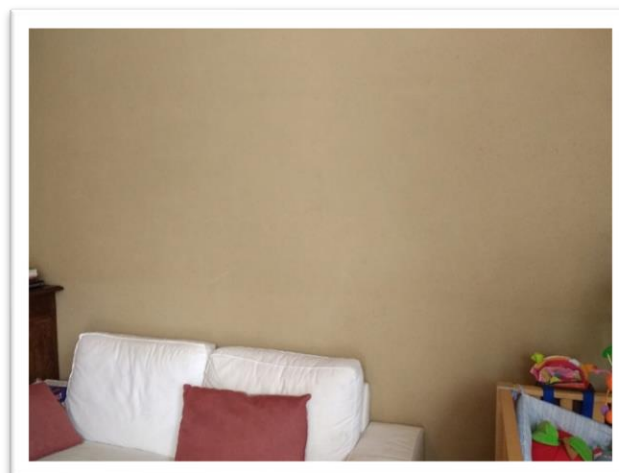
CADRE NORMATIF ET DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

BLOCS DE MAÇONNERIE

MORTIERS DE MAÇONNERIE

ENDUITS INTÉRIEURS

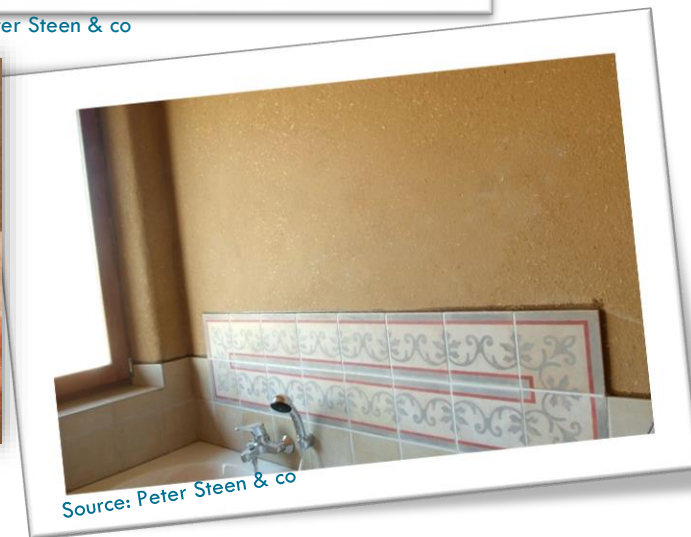
EXÉCUTION



Source: Peter Steen & co



Source: Argibat



Source: Peter Steen & co



24 **ENDUITS INTÉRIEURS**

Composition

- ▶ Argile, limon, sable, éventuellement liant (par ex. chaux)
- ▶ Additifs (ex. fibres)

Poudre / terre humide

Mortier frais

- ▶ Procédé de fabrication (eau, temps de repos)

	Consistance [mm]	Masse volumique mortier frais [kg/m³]
NBN EN 1015-2 (minéral)	175 ± 10	> 1200
	160 ± 10	> 600 et ≤ 1200
NBN EN 13279-2 (plâtre)	Manuel 160 ± 5 Machine 165 ± 5	/
DIN 18947 (argile)	175 ± 5	(1900-2100)
prNBN B14-003	non précisé	



Source: Buildwise



Source: Buildwise



Source: Buildwise



Source: Buildwise



Aperçu des performances essentielles

Essentiële eigenschappen voor binnenpleisters op basis van gips, minerale of organische bindmiddelen ^(*).

Pleistertype	Gipspleisters	Minerale pleisters	Organische pleisters
Referentienorm	NBN EN 13279-1 [2]	NBN EN 998-1 [1] ^(*)	NBN EN 15824 [5] ^(*)
Afkorting	• B1-B2-B3: gipspleisters, gipskalkpleisters • B4-B5-B6: lichtgewicht pleisters • B7: pleisters met verbeterde oppervlaktehardheid • C1: vezelversterkte pleisters • C2: pleistermortels • C3: akoestisch verbeterde pleisters • C4: thermisch isolerende pleisters • C5: brandbeschermende pleisters • C6: dunlagige pleisters (3 - 6 mm) • C7: afwerkingspleisters (0,1 - 3 mm)	• GP: mortels voor algemene toepassingen • LW: lichtgewicht mortels • CR: gekleurde mortels • OC: eenlagige mortels voor buitentoepassingen • R: renovatiemortels • T: thermisch isolerende mortels	–
Initiële bindingstijd	• Manueel aangebrachte pleister: > 20 minuten • Spuitpleisters: > 50 minuten	–	–
Buigsterkte	≥ 1,0 N/mm²	–	–
Druksterkte	≥ 2,0 N/mm²	CS I tot CS IV	–
Hechtsterkte	De breuk dient op te treden in het pleister of in de ondergrond. Indien de breuk optreedt aan het grensvlak, dient de hechtsterkte groter te zijn dan of gelijk te zijn aan 0,1 N/mm².	De hechtsterkte dient groter te zijn dan of gelijk te zijn aan de gedeclareerde waarde. Het breukvlak dient vermeld te worden.	≥ 0,3 N/mm²
Brandreactie	A1, tenzij het gehalte aan organisch materiaal ≥ 1 % (beproeving en classificatie volgens de norm NBN EN 13501-1 [3])		
^(*) Er kunnen bijkomende prestaties vereist worden indien dit relevant is voor de toepassing (bv. thermische geleidbaarheid, oppervlaktehardheid, akoestische prestaties).			
^(*) Enkel de prestaties voor binnentoepassingen werden in rekening gebracht.			



Mortier durci

► Rétrécissement

- DIN: max 2% (renforcé par des fibres 3-4%)

► Masse volumique

- Valeur déclarée
- Classes DIN : 0,9 à 2,2 (900 à 2200 kg/m³)
- Mortier léger : < 1200-1300 kg/m³



Résistance mécanique

		Résistance à la compression	Résistance à la flexion	Force d'adhérence	Abrasion
Enduit minéral NBN EN 998-1 (ciment-chaux)		Classification CS I : 0,4 à 2,5 N/mm ² CS II : 1,5 à 5,0 N/mm ² CS III : 3,5 à 7,5 N/mm ² CS IV : ≥ 6 N/mm ²	/	≥ valeur déclarée + cassure	/
Plâtre NBN EN 13279-1		≥ 2,0 N/mm ²	≥ 1,0 N/mm ²	Cohésif ou ≥ 1,0 N/mm ²	/
Enduit d'argile DIN 18947	Classe S1	≥ 1,0 N/mm ²	≥ 0,3 N/mm ²	≥ 0,05 N/mm ²	≥ 1,5 g
	Classe S2	≥ 1,5 N/mm ²	≥ 0,7 N/mm ²	≥ 0,10 N/mm ²	≥ 0,7 g
Enduit d'argile prNBN B14-003		≥ 1.0 N/mm ²	≥ 0.3 N/mm ²	≥ 0.05 N/mm ²	Selon l'application



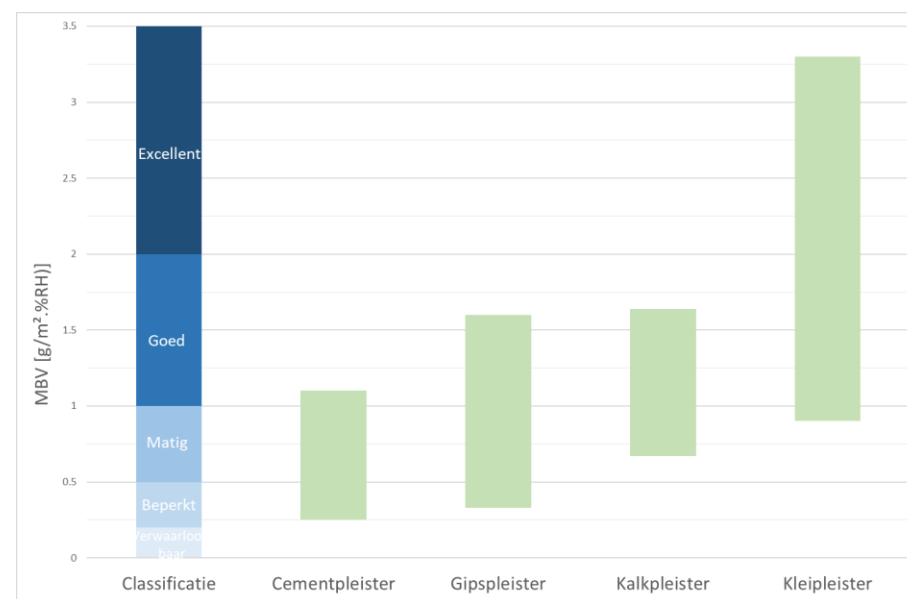
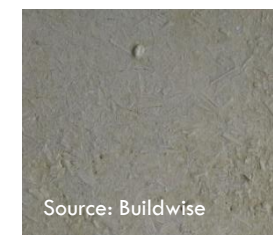
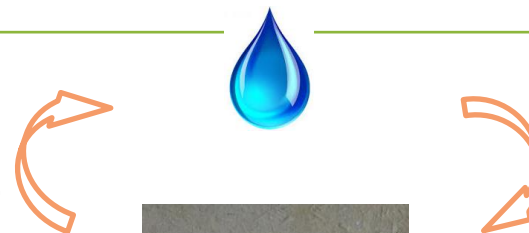
Autres performances

- ▶ Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau
- ▶ Durabilité : sensibilité à l'humidité
- ▶ Résistance à l'usure
- ▶ Comportement au feu
 - A1 si max. 1,0 matériau organique



Effet de régulation de l'humidité

- ▶ Adsorption de la vapeur d'eau à 80% d'HR (DIN)
- ▶ Courbe de sorption-désorption (EN ISO 12571)
- ▶ Valeur du tampon hydrique

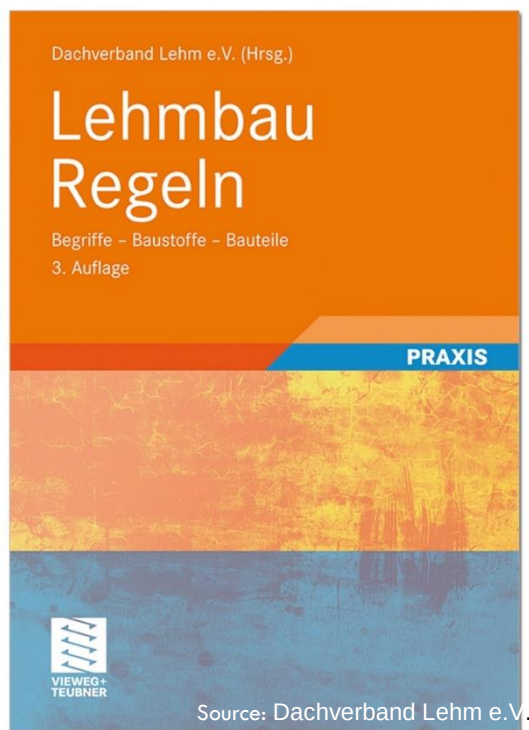


CADRE NORMATIF ET DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE
BLOCS DE MAÇONNERIE
MORTIERS DE MAÇONNERIE
ENDUITS INTÉRIEURS
EXÉCUTION



Maçonnerie

- ▶ Eurocode 6 (NBN EN 1996-2 ANB) – maçonnerie portante
- ▶ STS 22 « Maçonnerie pour construction basse » (4 parties)
- ▶ CSTC NIT 271 « Exécution des maçonneries »
- ▶ Dachverband lehm « Lehmbau Regeln »



Source: Argibat



Maçonnerie : les principales performances mécaniques

- ▶ Maçonnerie portante
- ▶ **Résistance à la compression**

⇒ **Résistance à la compression maçonnerie < résistance à la compression briques de maçonnerie**

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$$

avec

K, α, β : paramètres nationaux

f_b : résistance à la compression normalisée de la brique

f_m : résistance à la compression moyenne du mortier



(pré-norme DIN 18940)

- ▶ **Résistance à la flexion**
 - Résistances à la flexion caractéristiques f_{xk1} et f_{xk2}
 - Valeurs de tableau Eurocode 6 ANB
En fonction du type de brique de maçonnerie et de mortier
- ▶ **Résistance au cisaillement**
 - Résistance au cisaillement caractéristique f_{vk}
 - Valeurs de tableau NBN EN 998-2 ou Eurocode 6



Source: Buildwise





Plâtrage

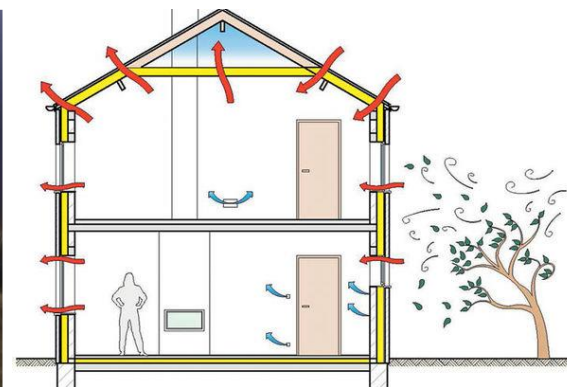
- ▶ NBN EN 13914-2 : norme d'exécution des enduits intérieurs
 - www.nbn.be
 - Traduit en NL
- ▶ CSTC NIT *Enduits intérieurs* (2022)

⇒ **Aussi pour les enduits d'argile**

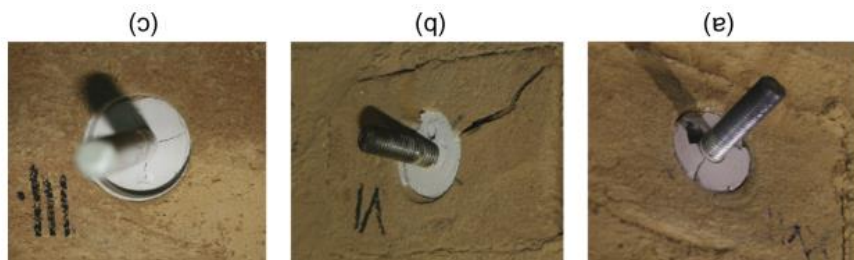
- ▶ Dossiers CSTC n° 2021/4.5
« *L'utilisation d'enduits en finition intérieure* »



Performances au niveau du bâtiment



Source: Buildwise TV255



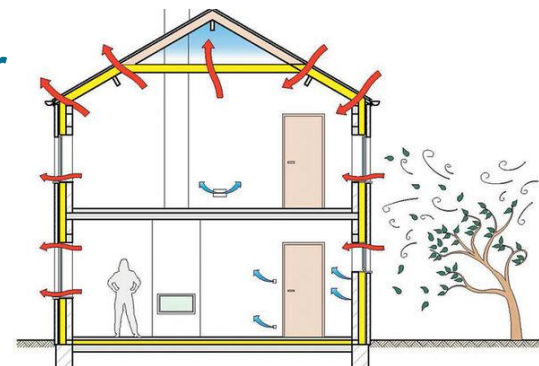
Source: <https://doi.org/10.1002/dama.201500669>



Source: Buildwise



Performances au niveau du bâtiment : étanchéité à l'air



Source: Buildwise TV255

CSTC - NIT 255

**Bonne étanchéité à l'air =
max $0,1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ pour une différence de
pression de 50 Pa**

Extrapolation aux murs

- Maçonnerie avec briques cuites ou briques crues $0,2$ à $50 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$

⇒ **Maçonnerie pas suffisamment étanche à l'air**

- Enduit d'argile sur maçonnerie

- Critère $0,1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$: épaisseur de 20-25 mm
- Critère $0,3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$: épaisseur de 10-12 mm

⇒ **Suffisamment étanche à l'air**

⇒ **Conditions : pas de fissures $> 0.2 \text{ mm}$ et attention portée aux raccords**





- ▶ La normalisation est essentielle à la confiance, à la transparence du marché et à la qualité.

- ▶ Normalisation

- des briques crues
- du mortier de terre crue
- de l'enduit de terre crue/d'argile



- ▶ Conception/exécution : essais nécessaires pour l'établissement de valeurs de tableaux pour les produits d'argile non cuits



- ▶ Attention à porter à la sensibilité à l'humidité et à la résistance à l'usure

⇒ **Domaine d'application, méthode d'exécution**





Neem dan vandaag nog contact op met “C-Tech”, uw WTCB-partner met:

- een groot multidisciplinair team van experts
- jarenlange ervaring op de werf en in onderzoek
- een uitgebreid regionaal én internationaal netwerk

om uw innovatief idee of nieuwe praktijk in alle vertrouwelijkheid te concretiseren!



Wenst u gebruik te maken van deze gratis ondersteuning? Bel of mail ons dan vandaag nog!



C-TECH c/o WTCB
Technologische Dienstverlening
«Duurzaam Bouwen» Brussel
Dieudonné Lefèvrestraat 17
1020 Brussel



Telefoonnummer: 02 655 77 11
E-mail: c-tech.brussels@bbri.be
www.c-tech.brussels



Benoit MICHAUX

Manager - Unit Building Envelope & Finishing
Buildwise

☎ + 32 02 655 77 11

✉ benoit.michaux@buildwise.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Les syllabi distribués lors des présentations données par le CSTC ne font pas partie de la série de publications officielles du CSTC et ne peuvent donc pas être utilisés comme référence. La diffusion, même partielle, ou la traduction de ces documents n'est permise qu'avec l'autorisation du CSTC.

