

# Matériaux de terre cuite

## Propriétés et produits

par **Michel KORNMANN**

*Ingénieur civil des Mines, Docteur Ingénieur*

*Consultant technique (Lancy Genève)*

*Ancien Directeur technique du Centre technique des tuiles et briques (Paris)*

<b>1. Caractéristiques du tesson</b>	C 906 – 2
1.1 Masse volumique	— 2
1.2 Couleur	— 2
1.3 Propriétés mécaniques	— 2
1.3.1 Modules élastiques	— 2
1.3.2 Ténacité	— 2
1.3.3 Résistance mécanique	— 2
1.3.4 Adhérence au mortier	— 3
1.4 Propriétés thermiques	— 3
1.4.1 Expansion thermique	— 3
1.4.2 Chaleur spécifique	— 3
1.4.3 Conductivité thermique	— 3
1.5 Propriétés hydriques	— 3
1.5.1 Absorption d'eau à saturation par trempage	— 3
1.5.2 Absorption d'eau dans l'air humide	— 3
1.5.3 Dilatation à l'humidité	— 4
1.5.4 Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau	— 4
1.5.5 Capillarité, diffusivité hydrique et taux initial d'absorption...	— 4
1.5.6 Perméabilité à l'eau liquide	— 4
1.6 Durabilité	— 4
1.6.1 Tenue au gel	— 5
1.6.2 Efflorescence et vieillissement dus aux sels	— 5
1.6.3 Attaque des mortiers par les sulfates	— 5
<b>2. Briques</b>	— 5
2.1 Briques apparentes pleines et perforées	— 5
2.2 Briques LD	— 6
<b>3. Éléments pour couverture</b>	— 8
3.1 Tuiles plates	— 8
3.2 Tuiles canal	— 8
3.3 Tuiles à emboîtements ou à glissement	— 8
3.4 Qualité des tuiles	— 9
<b>4. Divers</b>	— 9
4.1 Bardages	— 9
4.2 Boisseaux pour conduits de fumée	— 10
4.3 Pavés	— 10
<b>5. Conclusion</b>	— 10
<b>Pour en savoir plus</b>	Doc. C 907v3

**L'**intérêt des matériaux de terre cuite dans le bâtiment est une évidence. Employés dans toutes les parties de la construction (murs, sols, toit, etc.), on les retrouve sous différentes formes : briques, tuiles, bardages, carreaux, etc.

Dans l'article [C 905v2], leur procédé de fabrication, de la terre d'origine au produit fini, a été décrit. Ici, seront précisées les différentes propriétés du tesson de terre cuite, puis seront décrits les différents produits de terre cuite sur le marché français, la mise en œuvre de ces produits faisant l'objet d'autres articles dans le traité « Construction ».

# 1. Caractéristiques du tesson

Avant de parler des produits, il convient de parler des propriétés du tesson céramique. On rappelle qu'il s'agit d'un agglomérat de grains de différentes origines :

- cristaux résiduels de quartz, de feldspaths potassiques ou sodocalciques (plagioclase) et de mica des roches initiales ;
- nouveaux petits cristaux formés à la cuisson : quartz, mullite, hématis, silicates de calco-aluminium (comme pyroxène, géhlénite).

Ces cristaux sont liés par la matrice vitreuse des éléments fondants. La masse volumique théorique de ce matériau est de l'ordre de 2 600-2 750 kg/m<sup>3</sup> (la densité du quartz est 2 650 kg/m<sup>3</sup>, mais celle de l'hématis est 5 250 kg/m<sup>3</sup>).

Cependant, en pratique, ce matériau est poreux dans une large gamme : la porosité varie entre 15 et 48 %, bien que la porosité la plus fréquente soit de l'ordre de 35 %. Le diamètre des pores s'étend de 0,1 à 3 µm, le plus souvent entre 0,4 et 1,1 µm. Les surfaces spécifiques des pores sont généralement comprises entre 1,5 et 3 m<sup>2</sup>/g.

**Cette porosité est le facteur majeur qui influe sur les propriétés de la terre cuite.** Cette dernière dépend du mélange argileux initial (granulométrie et concentration en argile, calcaire ou non, porosé ou non, concentration de flux grésant), et du cycle de cuisson (température maximale, temps de maintien).

Par ailleurs, les propriétés du tesson ne sont pas isotropes. Il se rappelle de son origine et, en particulier, de sa mise en forme. La structure est donc orientée selon les déformations de l'argile dans l'extrudeuse ou à la presse...

## 1.1 Masse volumique

La masse volumique brute est directement liée à la porosité. Elle varie en pratique de 2 200 kg/m<sup>3</sup> (tuile) à 1 300 kg/m<sup>3</sup> (brique très porosée). La relation entre la densité et la porosité est :

$$\varepsilon = 1 - \rho_a / \rho_s$$

avec  $\varepsilon$  porosité totale,  
 $\rho_a$  masse volumique brute,  
 $\rho_s$  masse volumique théorique.

## 1.2 Couleur

La couleur des terres cuites est liée principalement aux concentrations relatives en fer et en calcium [14]. Des couleurs du brun rouge au beige, en passant par le rouge, l'orange, le rose, sont produites naturellement. Quand la concentration en fer est supérieure à 5 %, la couleur après cuisson en atmosphère oxydante est rouge, couleur de l'hématis. Si, par contre, la concentration en calcium est supérieure à 7 %, la couleur tourne au jaune car le fer est maintenant sous la forme de ferrite de calcium. Un autre facteur important est le rapport entre oxydes de fer et alumine.

Il est possible de modifier la couleur d'une terre cuite en modifiant sa composition, d'abord en jouant sur le rapport fer/calcium par ajout de calcaire. Par ajout de dioxyde de manganèse (1 à 4 %), on peut obtenir des couleurs brunes. L'ajout d'oxyde de titane sur des argiles calcaires permet de parvenir à des couleurs jaunes.

L'ajout d'additifs dans la masse peut rapidement devenir coûteux et, souvent, on réalise souvent une coloration superficielle avec une couche d'engobe.

L'absorption de la radiation solaire de la terre cuite est comprise entre 0,4 et 0,8 selon la couleur, alors que l'émissivité à température ambiante est proche de 0,9.

## 1.3 Propriétés mécaniques

### 1.3.1 Modules élastiques

Le module élastique dépend de la porosité selon la figure 1 [15].

Le module de Poisson a été peu mesuré. Il semble être de l'ordre de 0,2-0,3.

### 1.3.2 Ténacité

La terre cuite est un matériau fragile. Elle casse quand le facteur d'intensité des contraintes à la pointe de la fissure du défaut le plus critique dépasse la valeur de la ténacité. Cette ténacité s'exprime en MPa.m<sup>0,5</sup>.

**Exemple.** On connaît peu de mesures. Pour une terre cuite de densité 1 500 kg/m<sup>3</sup>, on indique 0,3 à 0,5 MPa.m<sup>0,5</sup>. Pour une autre, on donne 0,8 MPa.m<sup>0,5</sup>.

À titre de comparaison, la ténacité des céramiques traditionnelles et des verres est de l'ordre de 1 MPa.m<sup>0,5</sup>. La dimension des défauts critiques est donc très faible (quelques dizaines de µm). Ces défauts peuvent être les porosités du matériau. Cela peut être aussi des gros grains de dégraissant mal liés au mélange initial.

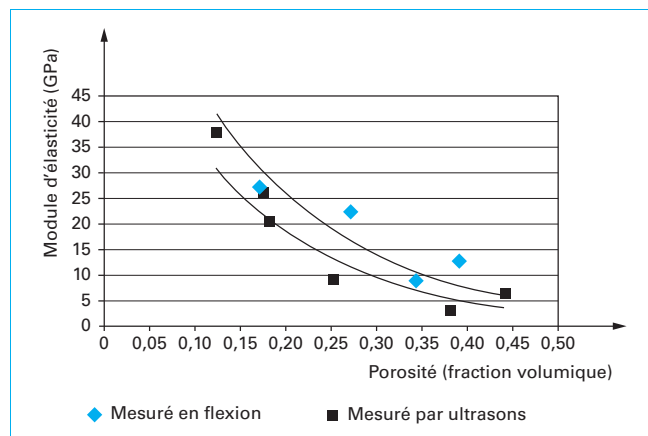
### 1.3.3 Résistance mécanique

La résistance mécanique de la terre cuite peut varier de façon importante. En flexion, l'étendue de la variation peut être de 5 à 25 MPa pour des productions courantes.

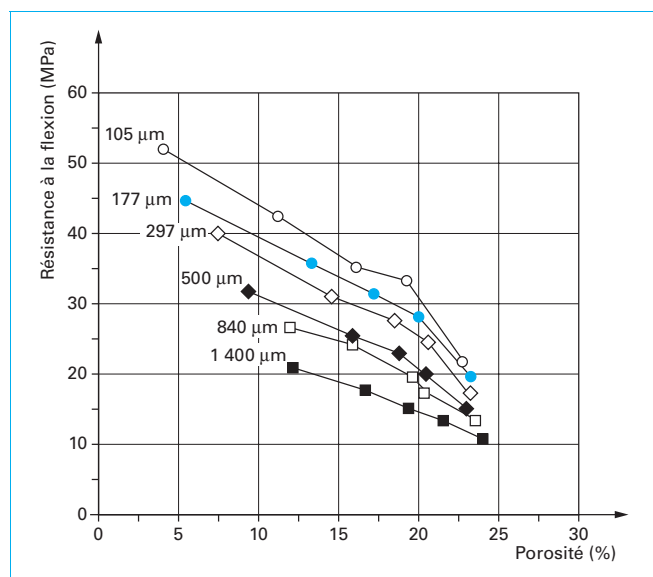
Des facteurs importants sont la porosité et la dimension des grains du mélange initial.

Un autre facteur significatif concerne la composition du mélange (quantité d'argile dans le mélange et quantité de carbonate). Enfin, la température de cuisson est importante, en liaison avec la porosité.

Sur la figure 2, on voit l'influence de la taille du grain du mélange initial sur la résistance à la flexion de tuiles japonaises [16]. À une porosité de 20 %, une tuile issue d'un mélange broyé à 0,8 mm aura une résistance à la flexion de l'ordre de 18 MPa. Avec une préparation sèche à 0,3 mm, la résistance sera de l'ordre de 27 MPa.



**Figure 1 – Module d'élasticité d'une terre cuite en fonction de la porosité** (source CTMNC)



**Figure 2 – Résistance à la flexion de tuiles japonaises en fonction de la porosité et de la taille des grains du mélange initial** (source CTMNC)

La résistance à la compression varie de façon similaire, mais est nettement plus élevée (de 20 à 200 MPa).

### 1.3.4 Adhérence au mortier

L'adhérence au mortier est une propriété technologique importante dans une maçonnerie, qui dépend de façon complexe de la brique, du mortier et de la pose. Elle peut être mesurée en cisaillement. Pour un mortier normal, la norme EN-998-2 annexe C permet d'employer 0,15 MPa comme valeur minimale sans test.

## 1.4 Propriétés thermiques

### 1.4.1 Expansion thermique

À la température ambiante, la terre cuite présente des coefficients de dilatation relativement faibles, compris entre  $3,5$  et  $8 \cdot 10^{-6}/K$ . Ils sont liés à la composition chimique (l'alumine et les alcalins et alcalinoterreux augmentent l'expansion). La cristallisation, la porosité et la granulométrie semblent avoir aussi leur influence.

### 1.4.2 Chaleur spécifique

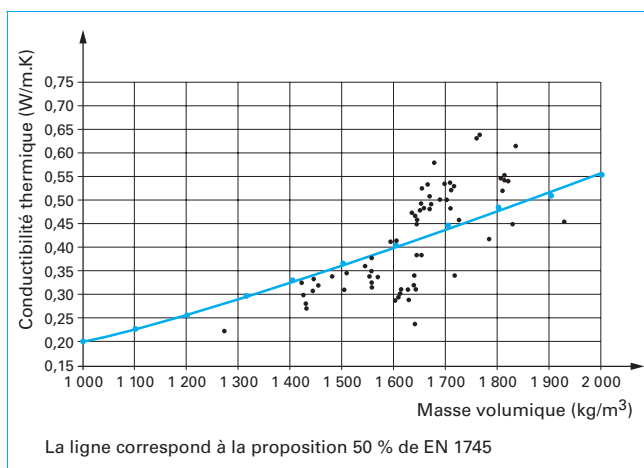
La chaleur spécifique de la terre cuite sèche est de l'ordre de  $800$  à  $1\,100 \text{ J/kg}\cdot K$ . Si la terre cuite est humide, il faut alors rajouter la chaleur spécifique de l'eau.

### 1.4.3 Conductivité thermique

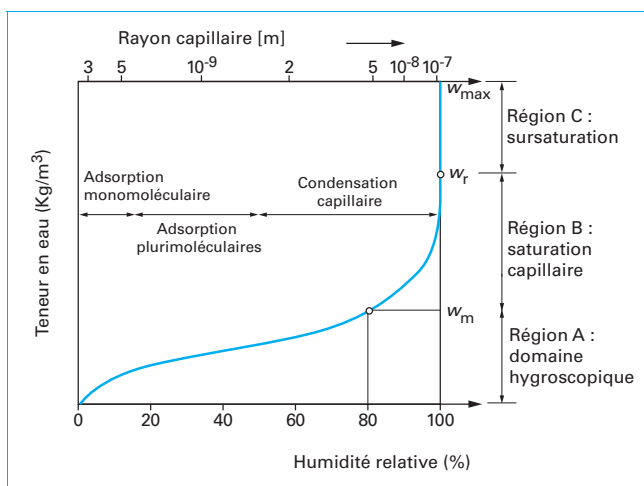
La conductivité thermique de la terre cuite sèche montre de fortes variations. Sur la figure 3, on montre les données de conductivité thermiques de briques italiennes [17], ainsi que la variation proposée (50 %) par la norme EN 1745.

Le premier facteur de variation est la densité (ou la porosité), mais d'autres facteurs moins connus, liés à la composition et la structure, sont aussi très importants : pour une densité de  $1\,700 \text{ kg/m}^3$ , la conductivité varie de  $0,35$  à  $0,55 \text{ W/m}\cdot K$ , selon les tessons.

**La conductivité thermique augmente quand la terre cuite est humide.**



**Figure 3 – Conductivité thermiques des briques italiennes en fonction de la densité** (source ANDIL d'après[17])



**Figure 4 – Absorption d'eau dans un matériau poreux**

## 1.5 Propriétés hydriques

### 1.5.1 Absorption d'eau à saturation par trempage

Quand on trempe dans l'eau une terre cuite, elle absorbe rapidement une certaine quantité d'eau par capillarité. Cette quantité d'eau est importante, mais reste inférieure à la porosité car l'air piégé dans les pores empêche un plein remplissage. Le rapport entre le volume d'eau absorbé par trempage et la porosité est le taux de saturation. Avec le temps, l'air se dissout dans l'eau et le taux de saturation se rapproche de 1.

### 1.5.2 Absorption d'eau dans l'air humide

Exposée à un air contenant de la vapeur d'eau, la terre cuite, matériau poreux, va absorber un peu d'humidité (figure 4). Comme les pores sont assez gros, leur surface spécifique est faible et la terre cuite absorbe peu quand l'humidité de l'air est faible. Elle est peu hygroscopique.

Par contre, quand on se rapproche de la condensation (humidité de l'air  $> 80\%$ ), la quantité d'eau augmente fortement par condensation d'eau liquide dans les pores, en saturant d'abord les plus petits. En se rapprochant de  $100\%$ , on arrive au taux de saturation

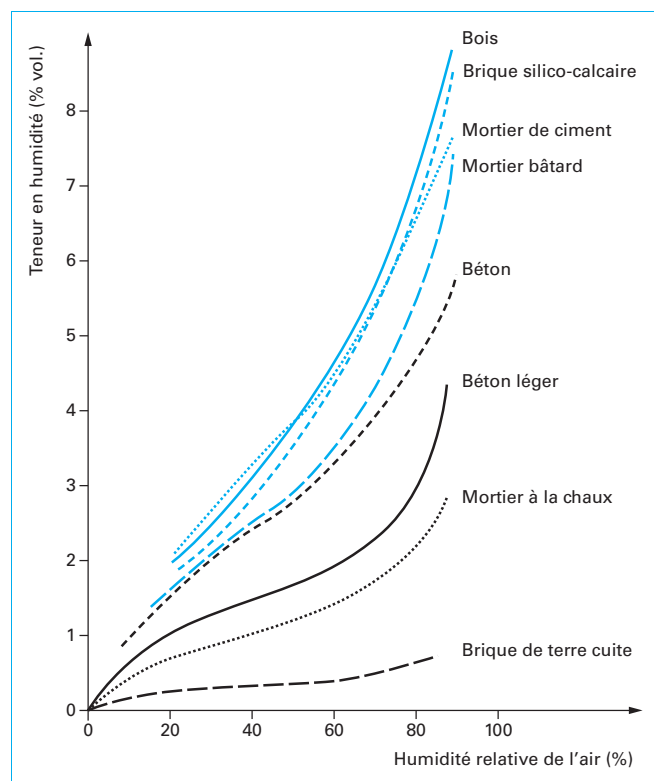


Figure 5 – Absorption d'eau dans un matériau poreux (source CTMNC)

précédent ( $w_f$  sur la figure 4). Comme les pores sont assez gros, la pénétration de l'eau liquide est assez rapide. On dit que la terre cuite est « capillaire ».

Quand il commence à pleuvoir, une tuile va d'abord absorber la pluie. Quand elle sera saturée, la pluie commencera à s'écouler sur le toit.

Sur la figure 5, on compare les isothermes d'absorption de différents matériaux de construction exposés à l'air humide. La brique est beaucoup moins hygroscopique que le bois ou le béton car les pores sont beaucoup plus gros.

### 1.5.3 Dilatation à l'humidité

Les produits de terre cuite à la sortie du four peuvent présenter une dilatation faible et lente à l'humidité [18]. C'est un phénomène irréversible qui s'atténue avec le temps. Il s'annule pratiquement après quelques semaines. Une température élevée de cuisson favorise la cristallisation et réduit considérablement cette dilatation à l'humidité. La norme EN771-1 impose que la dilatation reste inférieure à 0,6 mm/m.

### 1.5.4 Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau

L'eau est transportée de deux manières dans la brique, sous forme vapeur ou sous forme liquide en cas de forte humidité. Grâce à sa porosité souvent élevée et à ses gros pores, la terre cuite laisse passer assez facilement l'air et la vapeur d'eau. La diffusion de la vapeur est liée à un paramètre appelé le « facteur de résistance » à la diffusion de la vapeur d'eau  $\mu$ .

Ce facteur de résistance varie d'environ 100 pour une terre cuite de haute densité (1 950 kg/m<sup>3</sup>) à 10 pour une densité de 1 400 kg/m<sup>3</sup>. Ce facteur varie légèrement avec l'humidité.

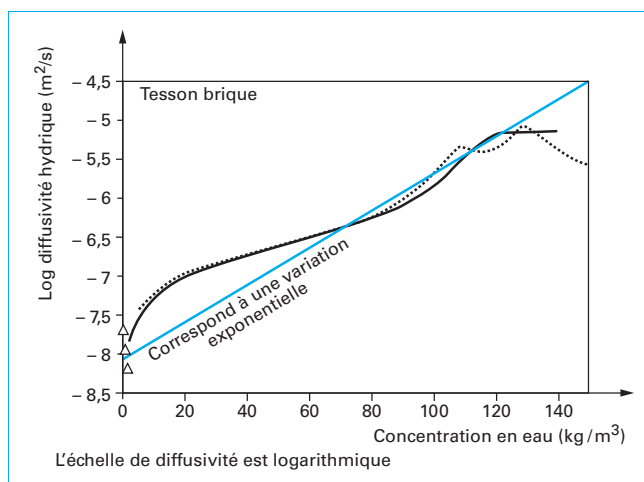


Figure 6 – Diffusivité capillaire d'une brique (mesurée par deux laboratoires) (d'après [19])

### 1.5.5 Capillarité, diffusivité hydrique et taux initial d'absorption

Le transport de l'eau liquide dans la terre cuite se réalise de deux façons différentes, suivant que la terre cuite est saturée d'eau ou non.

Quand elle n'est pas saturée d'eau, ce qui est la majorité des cas dans le bâtiment, les forces de capillarité interviennent fortement ; dans les pores, se forment des ménisques entre l'eau et l'air. Le transfert suit la loi de Richard. Le paramètre important est la diffusivité hydrique capillaire (m<sup>2</sup>/s), qui varie avec la concentration en eau. Sur la figure 6 [19], on montre la variation de la diffusivité capillaire avec la concentration en eau dans la brique, mesurée par deux laboratoires différents.

Un autre paramètre technologique important est le taux initial d'absorption (kg/m<sup>2</sup>s<sup>0,5</sup>), vitesse d'absorption initiale quand on trempe la terre cuite sèche dans l'eau. On a montré que ce taux est relié à la diffusivité hydrique capillaire de la terre cuite proche de la saturation [20].

Ce paramètre n'est donc pas qu'une donnée technologique, mais il décrit partiellement tous les transports capillaires de la terre cuite.

### 1.5.6 Perméabilité à l'eau liquide

Quand la terre cuite est saturée d'eau, ce qui se produit pour une tuile après une forte pluie, il n'y a plus de force de capillarité, mais simplement les forces de pression et de gravité. Le transfert dans la tuile est régit par la loi de Darcy et le paramètre important est la perméabilité. Les tuiles ont souvent des perméabilités qui varient entre 10<sup>-15</sup> et 10<sup>-17</sup> m/s.

## 1.6 Durabilité

La durabilité de la terre cuite est très grande comme le montrent de nombreux monuments dans de nombreux climats, des bains romains de Caracalla à Rome, à Sainte Sophie à Istanbul, en incluant la grande muraille de Chine, la ville de Venise, le Kremlin à Moscou, le grand dôme de Florence...

Il existe cependant des phénomènes qui, dans certains cas, peuvent réduire la durée de vie des constructions en brique.

### 1.6.1 Tenue au gel

Comme tous les matériaux poreux, les terres cuites peuvent être sensibles au gel. Sur les produits dégradés, on observe une desquamation progressive qui se développe progressivement avec exfoliation, écaillage, feuillement, ... Ce phénomène est provoqué par le changement de volume spécifique de l'eau liquide qui se transforme en glace (volume + 9 %). Pour que le phénomène entraîne une dégradation, il faut que la terre cuite soit saturée d'humidité et que l'eau chassée par le front de solidification ne trouve pas de place ou ne puisse pas migrer.

Ceci n'est pas le cas quand le taux de saturation est inférieur à 75 %, ou quand la dimension des pores est élevée (> 1 µm). Les normes imposent des résistances correspondant à un certain nombre de cycles gel-dégel (de 50 à 150, selon les applications).

### 1.6.2 Efflorescence et vieillissement dus aux sels

Les briques peuvent contenir des sels solubles. Ces sels peuvent provenir de l'atmosphère de cuisson, de la composition de la brique, ou de celle du mortier. Ils peuvent être apportés dans la maçonnerie de l'extérieur. Les sels les plus fréquents sont :

- la **chaux**, qui est légèrement soluble et se transforme en calcaire insoluble et adhère en présence de CO<sub>2</sub> ;
- les **sulfates**, principalement de potassium, sodium et magnésium. Ils sont très solubles, mais se décomposent à haute température. Le sulfate de calcium est moins soluble, mais très stable thermiquement. Parmi les sulfates, seul le sulfate de baryum est insoluble. Quand un mélange argileux contient des sulfates, on lui ajoute souvent du carbonate de baryum à des concentrations faibles (< 0,5 %). Du sulfate de baryum est alors produit en phase humide par échange, sel qui est stable et ne produit pas d'efflorescence ;
- les **chlorures et les nitrates** sont des autres sources d'efflorescence, mais sont généralement signe de pollution extérieure.

Quand la brique est très humide, ces sels peuvent être transportés par capillarité. La concentration de sels est un équilibre entre l'apport par capillarité et le départ par diffusion vers les zones à plus faibles concentrations. Si la solution saline s'évapore à la surface, on peut observer des dépôts blanchâtres peu esthétiques, qui peuvent apparaître au séchoir, au four, sur le parc de stockage, ou en œuvre.

Des précipitations peuvent aussi se faire à l'intérieur de la brique quand le front d'évaporation n'est plus à la surface (crypto-efflorescence). Ces crypto-efflorescences peuvent générer des pressions de cristallisation considérables dans les pores, capables de dégrader la brique et provoquer une pulvérisation fine.

### 1.6.3 Attaque des mortiers par les sulfates

La combinaison de briques avec leur mortier peut entraîner une fissuration des joints de mortier. Si les briques humides ont une forte concentration de sulfate, ce sel peut migrer dans le mortier et attaquer un des composants du mortier (tri calcium aluminat C3A) pour former un sulfo-aluminat de calcium (ettringite) qui fissure le mortier.

Le risque est réduit quand la brique est peu humide, la concentration en sels actifs sulfates est faible et par l'emploi de ciments résistants aux sulfates, faibles en C3A.

## 2. Briques

On décrit maintenant brièvement les différents produits de terre cuite. Leur mise en œuvre est décrite dans différents articles des Techniques de l'Ingénieur (consulter la [Doc. C 907v3]) et ne sera pas reprise. On distingue en France trois types principaux de produits de terre cuite : les briques apparentes, les briques de murs et les tuiles.

## 2.1 Briques apparentes pleines et perforées

Les briques apparentes, pleines et perforées, se présentent sous forme d'un parallélépipède rectangle facilement préhensible d'une main, de dimensions approximatives 6 x 10,5 x 22 cm. La masse varie généralement de 1,8 à 2,5 kg (figure 7). Il existe aussi des blocs de 22 x 22 cm. Les perforations permettent de limiter le poids et le prix et facilitent le séchage.

Ces briques sont utilisées en façade, exposées au climat, sans recouvrement par un enduit.

On réalise par **exemple** des murs extérieurs porteurs monolithiques en montant un mur épais de deux briques (épaisseur 22 cm). On peut aussi réaliser la paroi extérieure d'un mur double. On peut aussi les utiliser en cloisonnement intérieur.

■ Ces briques sont **fournies avec des couleurs très variées**, du jaune, au rouge et au noir, avec de nombreux aspects de surface (lisse, rugueux, sablé, texturé, émaillé...). Elles peuvent être montées avec différents appareils (arrangement des briques les unes sur les autres), avec des joints de mortier de différentes épaisseurs (épaisseur conventionnelle, joint mince), et de différentes couleurs. Ces ressources variées permettent la réalisation de nombreuses combinaisons esthétiques, par l'emploi de différentes couleurs, différents appareillages, différents joints, la combinaison des saillies et retraits, le mélange de matériaux...

■ Un point important de ces briques est leur **bonne tenue aux salissures**. En effet, la plus grande partie de la pluie qui tombe sur un mur de briques apparentes est absorbée immédiatement et évaporée plus tard. Les coulures sont donc très réduites et les salissures éventuelles bien réparties et peu apparentes.

■ La **norme brique EN NF 771-1** couvre toutes les briques et distingue les « briques HD » :

- densité supérieure à 1 000 kg/m<sup>3</sup> ou ;
- utilisées sans enduit extérieur.

et les « briques LD », utilisées protégées par un enduit, de densité inférieure à 1 000 kg/m<sup>3</sup>. Les briques apparentes sont donc de la classe HD.

Rappelons que les nouvelles normes européennes sont déclaratives et que le producteur peut donner n'importe quelle valeur des différentes caractéristiques, pourvu qu'elle soit mesurée et reproductible. Seules les caractéristiques de l'annexe ZA, limitées en nombre, sont obligatoires.

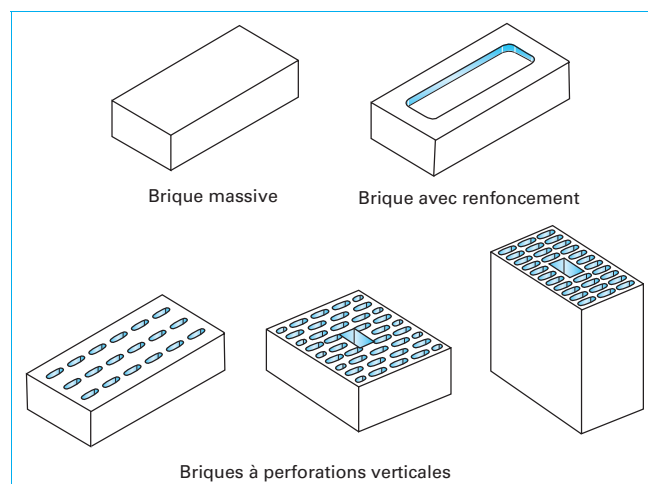


Figure 7 – Exemples de briques apparentes HD (source CTMNC AFNOR)



■ Pour pouvoir **appliquer les DTU 20.1** « Travaux du bâtiment-ouvrage en maçonnerie », ces briques doivent aussi être conformes à la norme NF P 12-021-2.

Les caractéristiques qu'elle contrôle sont les suivantes :

- les **dimensions géométriques** et les **tolérances des valeurs moyennes** (T1, T2, Tm) et des plages de variation (R1, R1+, R2, R2+) ;
- la **masse volumique apparente sèche** et la **masse volumique absolue sèche** et leurs tolérances (D1, D2 et Dm). Selon la norme, la densité apparente des briques HD est toujours supérieure à 1 000 kg/m<sup>3</sup> par définition ;
- la **résistance à la compression moyenne** avec le choix des catégories (1 ou 2) et le choix du groupe (1 ou 2). Les catégories sont définies selon la forme dans les Eurocodes et les groupes correspondent au niveau de contrôle qualité appliqué. Les classes introduites par la norme NF vont de 12,5 à 40 MPa (RC120 à RC400) ;
- les **propriétés thermiques**. La norme EN demande que la norme EN 1745 soit suivie dans le calcul des résistances thermiques. Par suite d'une dérogation, ce sont les règles ThU de la RT2005 qui sont utilisées en France. De façon étonnante, les briquetiers français ne mettent pas en valeur les propriétés thermiques des briques apparentes ;
- la **durabilité**, caractérisée par la résistance au gel. Ici, les briques sont cataloguées en trois catégories selon l'emploi prévu :
  - F0 : exposition passive, sans test exigé,
  - F1 : exposition modérée,
  - F2 : exposition sévère.

Quand la norme EN 772-22 « Résistance au gel des maçonneries de terre cuite » sera complètement acceptée, le test de gel européen se fera sur un muret qui formera le 6<sup>e</sup> côté d'un bloc de test de gel. On fera alterner des cycles de gel et de dégel. Les conditions expérimentales ne sont pas encore tout à fait finalisées, de même que le nombre de cycles correspondant à F1 et F2 ;

- la **teneur en sels solubles actifs**, classée en 3 catégories S0, S1 et S2. S'il y a une bonne protection contre l'humidité, aucune exigence n'est exigée par la EN ;
- **absorption d'eau**. Elle doit être déclarée pour les éléments utilisés en extérieur et pour les briques servant de coupure de capillarité. Le taux initial d'absorption d'eau doit aussi être déclaré ;
- la **dilatation à l'humidité**, quand c'est exigé par le pays. Dans ce cas, cette mesure est demandée, quelle que soit la longueur du produit ;
- la **réaction au feu**, c'est la catégorie A1, sans nécessité de test, si la concentration en carbone de la brique est < 1 %, ce qui est généralement le cas des briques cuites en milieu oxydant ;
- la **perméabilité à la vapeur d'eau**. Cette caractéristique peut être mesurée ou peut être donnée par référence à la table de EN 1745 ;
- **adhérence**. L'adhérence brique/mortier doit être déclarée sous forme de résistance au cisaillement pour les briques à utilisation structurelle ;
- **l'aspect des briques HD n'est pas défini dans la norme européenne**. Il n'est pas non plus défini dans la norme complémentaire française qui ne contient que quelques limitations applicables aux briques LD. Cependant, dans son annexe B6, la norme européenne conseille que « l'aspect des briques de parement et son évaluation fassent l'objet d'une clause du contrat d'achat. La prescription variera en fonction de l'utilisation à laquelle les briques sont destinées... ». Il conviendra de porter une attention toute particulière aux fissures profondes ou étendues, aux détériorations sur les arêtes et les coins, aux cailloux et aux grains de chaux.

■ Ces briques sont donc **mises en œuvre en suivant le DTU 20.1** « Travaux du bâtiment – ouvrage en maçonnerie » en attendant la mise en application de l'Eurocode 6 Maçonnerie, pour le dimensionnement des ouvrages.

En cas de construction en zone sismique, il faudra aussi tenir compte de la réglementation parasismique (PS 92, PS-MI et bientôt Eurocode 8).

Ces briques doivent présenter un marquage CE, et il existe différentes marques de qualité pour ces produits.

À côté de ces briques apparentes, il existe aussi des blocs de plus grande largeur et qui font l'épaisseur complète du mur. Il faut enfin noter les plaquettes qui donnent l'aspect de briques apparentes, mais ne sont qu'un revêtement.

## 2.2 Briques LD

À côté des briques apparentes, il y a les briques de mur. Elles sont utilisées pour faire des murs extérieurs enduits, des murs porteurs, des cloisons et partitions. Elles rentrent habituellement dans la catégorie LD de la norme européenne EN NF 771-1 (utilisation enduite et densité apparente < 1 000 kg/m<sup>3</sup>). De la même façon, le suivi du DTU implique pour la brique de satisfaire aussi à la norme complémentaire NF P 12-021-2. Des exemples de modèles de briques sont montrés à la figure 8.

■ On distingue les briques à perforations horizontales et celles à perforations verticales (voir tableau 1).

On a intérêt à réaliser les briques les plus grandes possibles et la limitation est habituellement celle du poids qui doit rester inférieur à 15-20 kg pour une manipulation aisée.

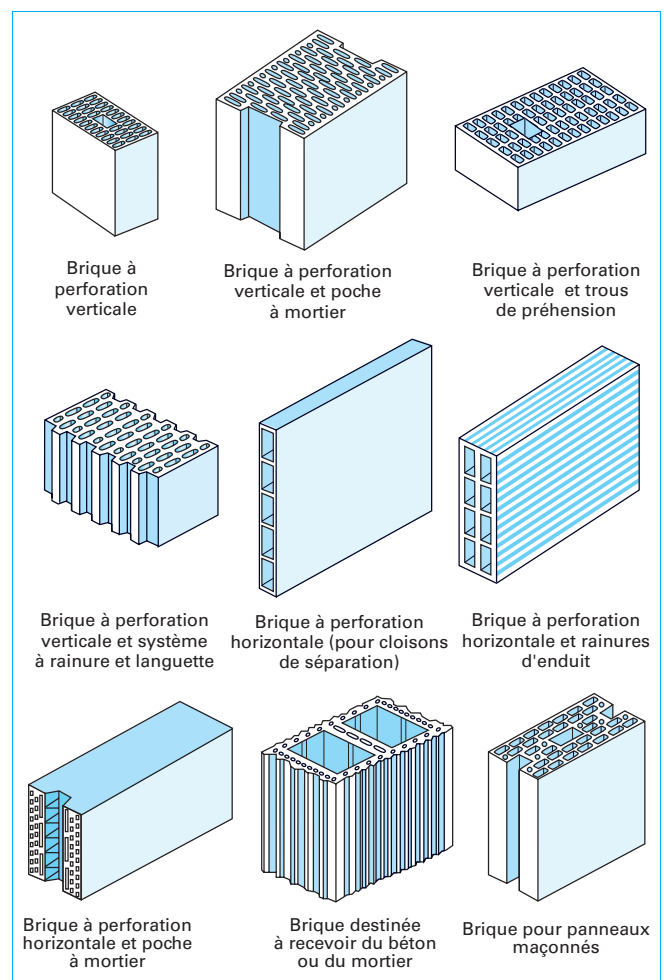


Figure 8 – Différentes briques LD (source CTMNC AFNOR)

**Tableau 1 – Comparaison des briques à perforations horizontales et verticales**

	Perforations horizontales	Perforations verticales
Résistance à la compression verticale	Plus faible	Plus élevée
Résistance thermique brique		Habituellement meilleure, car la meilleure résistance mécanique permet de poser le produit
Emploi de mortier	Sans problème	Peut tomber dans les alvéoles si le mortier est trop liquide
Possibilité de faire des ruptures de joint	Peut être inclus dans le dessin	Nécessite un gabarit
Possibilité de joint mince avec rectification	Rectification plus étendue des surfaces planes	Rectification facile dans les alvéoles
Transfert de charge dans le mur, coefficient de réduction	Bonnes surfaces de contact	Surface de contact entre briques plus limitée si le joint est mince
Poche à mortier et emboîtement	Réalisable	Facile à réaliser

■ De façon conventionnelle, les briques sont maçonnées avec un joint de mortier épais (1 à 2 cm). Récemment, **on a vu se développer le montage avec un mortier colle mince, plus rapide, plus propre et plus efficace sous l'aspect thermique**. Pour cela, les briques doivent présenter des faces très parallèles et des hauteurs très reproductibles, obtenues généralement, ainsi qu'il a été indiqué, par rectification.

Certaines de ces briques, appelées en France « Monomur », en Suisse « Monobrique », en Allemagne « Poroherm », « Unipor », ..., permettent de faire, à la fois, la structure, le remplissage du mur et son isolation thermique. Ceci est obtenu en diminuant la densité apparente de la brique, avec l'emploi d'un grand nombre de couches céramiques parallèles, qui limite les échanges par radiation, de petites perforations, un dessin adapté des parois transversales et un tessou porosé qui réduit les pertes par conduction.

**Exemple.** Avec une densité de brique apparente de  $770 \text{ kg/m}^3$ , un mur maçonné roulé de 37 cm d'épaisseur présente une résistance thermique d'environ  $3 \text{ m}^2/\text{K.w}$ , avec une résistance normalisée à la compression de 8 MPa.

Ces valeurs très intéressantes pourraient être améliorées pour les futures réglementations thermiques.

À titre d'exemple, Unipor en Allemagne produit une brique de 49 cm avec une résistance thermique supérieure à 5. Cependant la résistance mécanique tombe à 0,8 MPa.

L'utilisation de ces briques thermiques implique l'emploi d'accessoires de terre cuite pour limiter conjointement les ponts thermiques : linteau, planelle de rive, appui de baie, angle, pilier, coffre de volet roulant...

■ On distingue aussi les **briques de cloisons**. Dans ce cas, l'épaisseur est assez réduite, et il est possible de réaliser de grands formats (5 briques au  $\text{m}^2$ ). Elles sont souvent montées au plâtre

(d'où le nom donné parfois de « briques plâtrières »). Elles peuvent être montées aussi au mortier ou de façon sèche. Elles assurent de bonnes tenue mécanique, tenue à l'humidité, isolation acoustique et tenue au feu.

■ Les **spécifications essentielles** auxquelles sont soumises les briques LD couvrent les points ci-après :

- les **dimensions géométriques, les tolérances de leurs valeurs moyennes** (T1, T1+, T2, T2+, Tm) et les plages de variation (R1, R1+, R2, R2+). T1 et T2 correspondent à des tolérances fixées par la norme, Tm correspond à une tolérance complètement libre et déclarée par le producteur. Les tolérances + correspondent à des tolérances plus sévères sur la hauteur de la brique ;

- les **épaisseurs des parois extérieures et des cloisons internes** ;
- le **pourcentage de vide** ;

- la **masse volumique apparente sèche et la masse volumique absolue sèche** et leurs tolérances (D1, D2 et Dm).

- la **résistance à la compression moyenne** avec la catégorie (1 ou 2) et le groupe (de 1 à 4). La norme française introduit des classes de résistance de 4 à 40 MPa (RC 40 à 400), pour les briques à perforations verticales, et de 2,8 à 8 MPa (RC 28 à 80) pour les briques à perforations horizontales ;

- les **propriétés thermiques**. La norme demande que la norme EN 1 745 soit suivie dans le calcul des résistances thermiques. En France, on utilise les règles Th-U de la réglementation RT2005, comme discuté précédemment ;

- la **durabilité**, caractérisée par la résistance au gel. Si l'utilisation prévue inclut une protection entière contre la pénétration de l'eau, on ne fait pas référence à la tenue au gel (F0). Dans les pays qui le demandent, la résistance au gel doit être évaluée si la protection est limitée ;

- la **teneur en sels solubles actifs en 3 catégories S0, S1 et S2**. S'il y a une bonne protection contre l'humidité, aucune exigence n'est exigée par la norme ;

- **absorption d'eau**. Aucune exigence européenne, alors que la norme française prend en compte l'application du mortier de hourdage ou de l'enduit et demande une mesure du taux initial d'absorption d'eau par capillarité ;

- la **dilatation à l'humidité**, quand la brique est plus longue que 400 mm et que c'est demandé par le pays ;

- la **réaction au feu**, *a priori* catégorie A1, sans nécessité de test ;

- la **perméabilité à la vapeur d'eau**. Cette caractéristique peut être mesurée. Elle peut aussi être donnée par référence à la table de l'EN 1 745 ;

- **adhérence**. L'adhérence brique/mortier doit être déclarée sous forme de résistance au cisaillement pour les briques à utilisation structurelle. On peut utiliser aussi la table de la norme mortier EN 998-2, dont on a déjà parlé au § 2.1 ;

- **substances dangereuses**. La norme fait référence aux substances dangereuses éventuellement contenues dans les briques. Elle indique cependant que « ... ces informations ne seront fournies que quand elles sont requises et sous la forme appropriée... ». Il n'y a donc rien à déclarer pour des briques conventionnelles ;

- **isolation acoustique aérienne directe**. La norme ne demande pas la fourniture de vraies valeurs d'affaiblissement d'un mur maçonné, mais seulement celle de la masse volumique avec la configuration ;

- en addition à ces différentes caractéristiques à déclarer, la norme décrit le **marquage et l'évaluation de la conformité** qui ont été discutés précédemment.

La norme française additionnelle introduit des limitations sur la rectitude des arêtes, la planéité des faces, et précise certains aspects des tolérances dimensionnelles de certaines briques. Enfin, elle introduit des demandes sur l'aspect de surface, les fissures et les éclatements.

■ Ces briques sont également **caractérisées comme support d'enduit** suivant un essai de résistance à l'arrachement défini par cette norme française et se traduit par un classement Rt1, Rt2 ou Rt3 permettant de prescrire l'enduits adapté suivant le DTU 26.2 enduits.

Tableau 2 – Indicateurs sanitaires du Monomur terre cuite	
Émission de COV et formaldéhyde	Très faibles émissions chimiques, classification C+
Croissance fongique	Produit inerte, classification F
Émissions radioactives	Très faibles émissions radioactives, classe R+
Fibres et particules	Néant

Ces produits doivent posséder un marquage CE, et il existe aussi différentes marques de qualité.

Les Fiches de déclaration environnementale et sanitaire, élaborées conformément à la norme NF P 01-010, comprennent un volet sur les aspects sanitaires des produits de construction. Les indicateurs sanitaires ont pour objectif de mesurer, dans l'état actuel des connaissances et selon des protocoles d'essais normalisés, les impacts des produits de construction sur la qualité des ambiances intérieures. Les **indicateurs du Monomur terre cuite** sont donnés sur le tableau 2.

■ Le **Monomur** ne présente donc aucun risque sanitaire pour l'habitant.

Comme les briques apparentes, ces briques sont donc mises en œuvre en suivant le DTU 20.1 «Travaux du bâtiment – ouvrage en maçonnerie » en attendant la mise en application de l'Eurocode 6 Maçonnerie, pour le dimensionnement des ouvrages. En cas de construction en zone sismique, il faudra aussi tenir compte de la réglementation parasismique (PS 92, PS-MI et bientôt Eurocode 8).

Plusieurs articles de TI couvrent aussi la conception des ouvrages de maçonnerie, la mise en œuvre des ouvrages, la pathologie des ouvrages et des généralités sur les différents matériaux de maçonnerie. Consulter la [Doc. C 907v3].

### 3. Éléments pour couverture

Les toitures en plan incliné sont souvent protégées par des petits éléments de couverture comme les tuiles. Les tuiles en terre cuite sont choisies pour leur facilité d'emploi, leur fiabilité, leur prix, leur durabilité et leur aspect esthétique. Elles sont capables de réaliser des toitures qui résistent au vent, sont étanches à la pluie et à la neige, et sont durables dans le temps.

Trois types de tuiles se distinguent par leur forme générale : tuiles plates, tuiles canal et tuiles à emboîtement. Elles répondent toutes à la norme EN NF 1 304.

À côté de ces tuiles de plain courant, il est nécessaire de prévoir des accessoires associés pour traiter les points singuliers de la toiture (faites, rives, égouts, arêtières, noues,...).

Les dimensionnements, les conditions d'emploi et de réalisations des toitures en tuiles terre cuite font l'objet des articles [21], [22], [23] et [24]. Par ailleurs, les conditions de pose sont détaillées dans quatre DTU, un par produit.

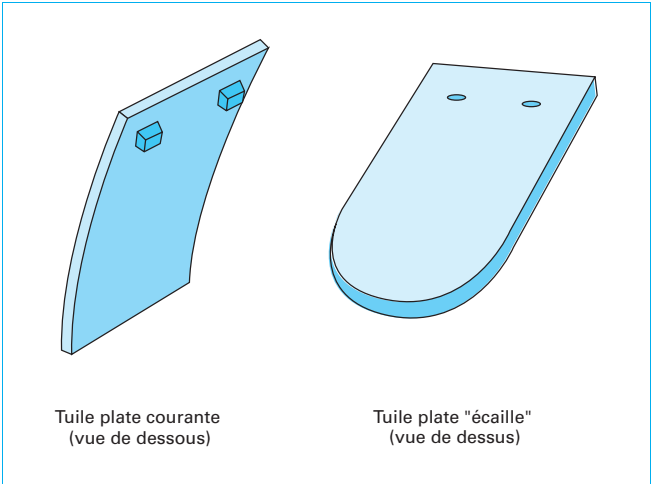


Figure 9 – Tuiles plates (d'après [21])

#### 3.1 Tuiles plates

La tuile plate (figure 9) est un élément constitué par une plaque de terre cuite présentant en sous-face un ou deux tenons d'accrochage et, en tête de la tuile, un ou deux trous de clouage.

La forme est généralement rectangulaire, mais il existe des modèles dont la partie basse affecte des formes arrondies (tuiles plates écailles) ou en chevron. Pour des ouvrages spéciaux, l'on se sert de tuiles ayant une forme ou un galbe particulier : tuiles gironnées, pendantes, gauches, gambardières, coffines.

Les tuiles se posent par chevauchement d'amont en aval avec un recouvrement des 2/3 et des joints décalés d'une demi-tuile d'une rangée à l'autre.

Les dimensions les plus courantes sont 17 x 27 cm, soit environ 60 tuiles au m<sup>2</sup>. Les conditions de pose imposent un toit à forte pente (> 39°) et sont décrites dans le DTU 40.23.

#### 3.2 Tuiles canal

Les tuiles canal (figure 10), utilisées depuis fort longtemps en Europe, sont des éléments de couverture en terre cuite de forme légèrement tronçonnée. Cette forme a été adoptée pour permettre l'utilisation du même produit pour la rigole d'écoulement des eaux (tuiles de courant) et le couvre-joint entre deux rigoles consécutives (tuiles de couvert).

Certains modèles comportent sur la sous-face de la tuile de courant, un ou deux tenons permettant la pose sur liteaux. Les recouvrements minimaux varient de 12 à 17 cm. Ces tuiles sont utilisées sur des toits à faible pente (DTU 40.22).

#### 3.3 Tuiles à emboîtements ou à glissement

Les tuiles à emboîtement ou à glissement ont été techniquement conçues pour assurer l'étanchéité par le jeu de cannelures et nervures s'emboîtant les unes dans les autres. Ce principe permet de minimiser l'importance du recouvrement d'un élément d'amont sur un élément d'aval et d'alléger, de ce fait, le poids de la couverture (figure 11).



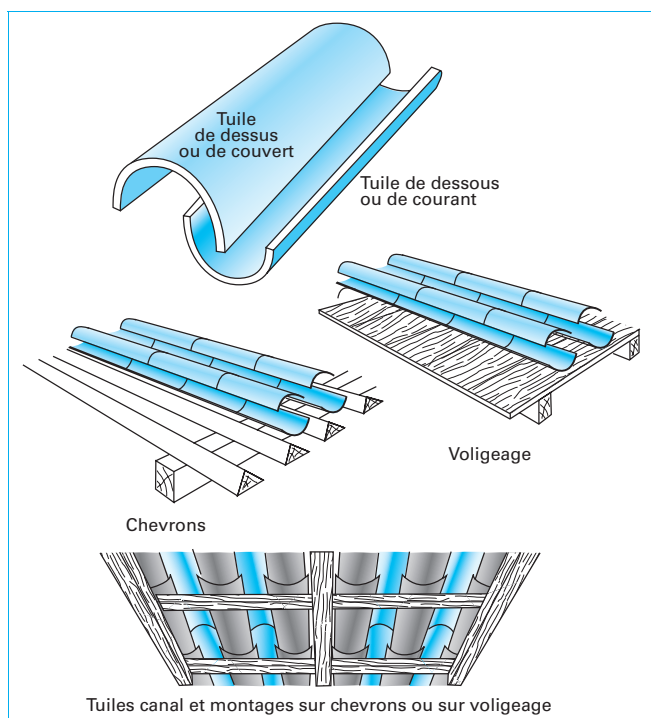


Figure 10 – Tuiles canal et montage (source CTMNC)

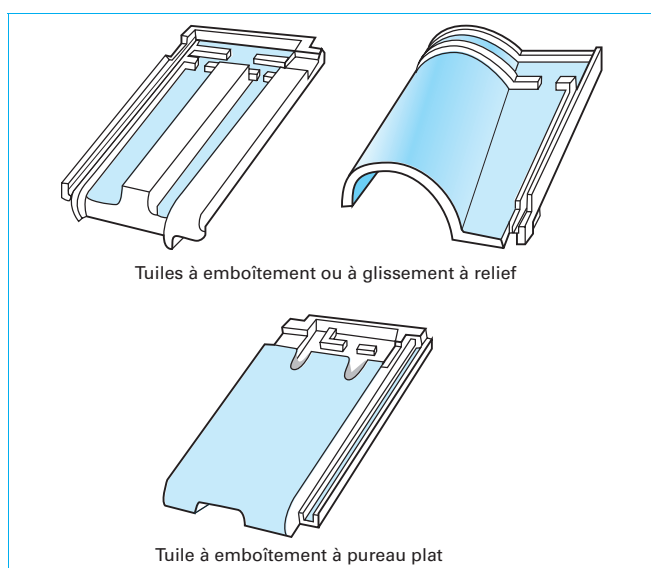


Figure 11 – Tuiles à emboîtements (d'après [21])

Les tuiles dites à « glissement » ne comportent pas d'emboîtement transversal et sont flexibles sous l'aspect dimension. Elles se posent facilement, mais nécessitent un recouvrement plus important.

Il existe de très nombreux types de tuiles. De façon conventionnelle, elles sont groupées en tuiles « petit moule » (plus de 15 tuiles/m<sup>2</sup>) et tuiles « grand moule » (< 15 tuiles/m<sup>2</sup>). La taille maximale des tuiles grand moule est de l'ordre de 7/m<sup>2</sup>. En principe, la pose de grande tuile est moins coûteuse. Par contre, si la toiture est complexe, les tuiles petit moule limitent le travail de découpe.

### 3.4 Qualité des tuiles

Les caractéristiques importantes reprises par la norme sont :

- la précision géométrique ;
- la résistance mécanique ;
- l'imperméabilité de l'élément tuile ;
- la tenue au gel.

Les tuiles doivent posséder un marquage CE et il existe plusieurs marques de qualité.

## 4. Divers

À côté des briques et des tuiles, il existe encore de nombreux produits de terre cuite avec un marché plus réduit. On parlera en particulier des bardages, des boisseaux et des pavés.

### 4.1 Bardages

Le développement de l'isolation thermique extérieure des bâtiments, et des maisons à ossature, a conduit les fabricants de produits de terre cuite à mettre au point des produits de bardage extérieur pouvant assurer la protection de l'isolant spécifique (figure 12).

Le bardage est réalisé à l'aide d'éléments de terre cuite apparents, d'environ 5 cm d'épaisseur, et comportant souvent une rangée d'alvéoles verticales. Latéralement, ces éléments comportent un dispositif d'assemblage tenon-mortaise qui permet la pose à sec sans joint de mortier vertical. Différents systèmes de fixation permettent de solidariser le bardage et l'ossature du bâtiment.

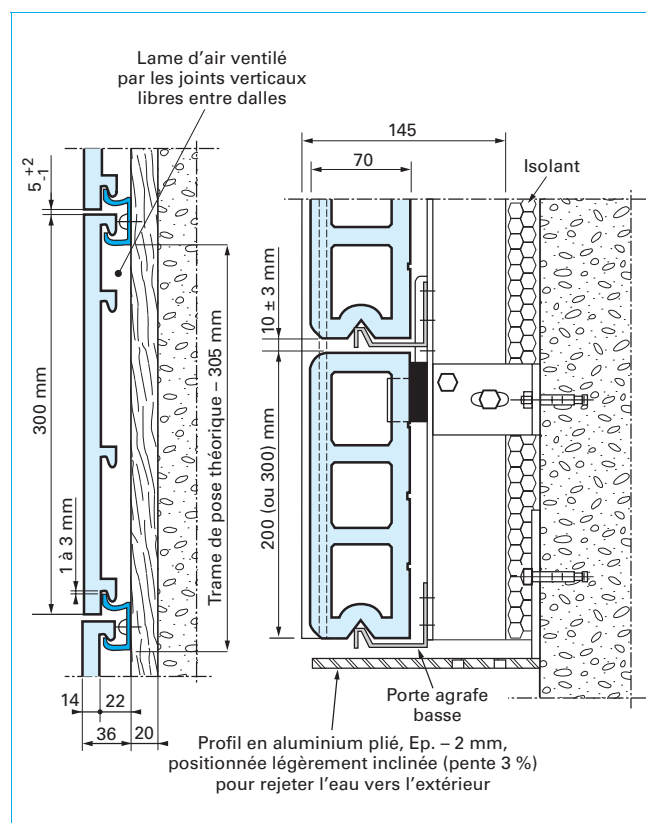
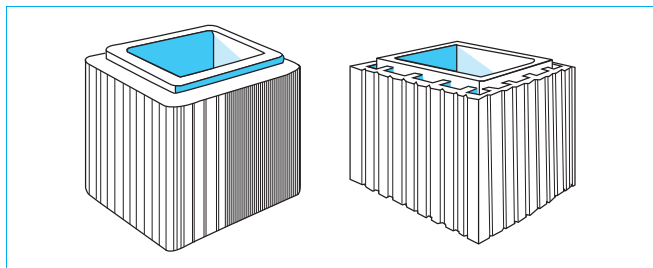


Figure 12 – Exemples de bardage en terre cuite (source CTMNC)



**Figure 13 – Boisseaux pour conduits de fumée (paroi pleine ou alvéolée)** (source AFNOR)

Les fabricants ont mis au point des procédés originaux en jouant sur différents paramètres (géométrie de l'élément, esthétique, procédés de fixation, association avec un isolant spécifique) qui permettent de proposer aux utilisateurs une gamme importante de possibilités.

## 4.2 Boisseaux pour conduits de fumée

Les conduits de fumée peuvent être réalisés par empilement de boisseaux de terre cuite qui se présentent en section carrée, rectangulaire ou circulaire. Ils sont à parois pleines ou à parois alvéolées (figure 13). Ils répondent à la norme EN NF 1 806.

L'épaisseur des parois est de 3 à 5 cm, et davantage pour les boisseaux alvéolés. Les extrémités sont présentées, soit à feuillure, soit à biseau, soit à coupe franche. La longueur des éléments est généralement de 33 cm (3 au mètre), ou de 50 cm (2 au mètre).

Ils doivent satisfaire aux prescriptions de la norme NF EN 1806 qui définit des classes selon la température d'utilisation (de 200 à 600 °C), la résistance au feu de cheminée, les conditions d'emploi, sèches ou humides, et le niveau de pression.

Cette norme prévoit des essais de géométrie, de résistance mécanique, de résistance thermique, de tenue au ramonage, de résistance au choc thermique (en conditions de fonctionnement et en cas de feu de cheminée), de perméabilité à l'eau et à la vapeur d'eau, et un test de résistance aux agents corrosifs (acide sulfurique provenant du soufre contenu dans les combustibles).

Il existe des éléments spéciaux pour les dévoiements (boisseaux dévoyés), pour les prises de fumées (manchettes), ainsi que pour la mise en place de trappes de ramonage.

Les boisseaux doivent être marqués CE et il existe une marque de qualité NF. Les boisseaux sont mis en œuvre selon le DTU 24.1 (NF P51-201).

## 4.3 Pavés

Il existe des pavés de terre cuite. Ils répondent à la norme EN NF 1344. Par rapport à des briques pleines conventionnelles, on exige des résistances au gel/dégel et des résistances à la flexion encore accrues. De plus, il y a des exigences concernant la résistance à l'abrasion et à la glissance. Selon l'application, on peut demander une résistance aux acides.

Les pavés sont marqués CE et ils sont mis en œuvre selon la norme NF P98-335.

## 5. Conclusion

Depuis plusieurs millénaires, les produits de terre cuite ont accompagné l'humanité dans l'amélioration continue de ses conditions d'habitation qui apprécie, à la fois, ses qualités intrinsèques et ses qualités esthétiques.

Récemment, des défis environnementaux sont apparus qui pourraient compromettre l'utilisation à long terme des produits de terre cuite. Il faut beaucoup d'énergie pour produire de la terre cuite et cela génère des gaz à effet de serre. Par contre, une grande durabilité est obtenue en même temps, et l'énergie grise annuelle reste donc limitée.

De façon générale, les économies d'énergie et l'emploi d'énergies renouvelables seront favorisés dans tous les nouveaux investissements. Pour satisfaire aux nouvelles demandes dans leur utilisation, les différents produits pourront répondre de façon différenciée.

Pour les briques apparentes, il faudra adapter les modes de construction actuels pour limiter l'emploi d'isolation intérieure, source de ponts thermiques. Elles se tourneront vers le double mur, le bardage, ou devront utiliser des rupteurs thermiques.

Les briques isolantes thermiques doivent encore améliorer leur capacité d'isolation de façon à assurer seules l'isolation du bâtiment. D'où une augmentation de la porosité globale (perforation et porosité tesson), augmentation du nombre de parois et/ou remplissage des alvéoles ou traitement des émissivités.

Les briques de cloison devraient jouer sur l'inertie qu'elles peuvent amener aux constructions et sur la facilité du montage à sec.

Les tuiles terre cuite restent incontestées car elles assurent économiquement des durées de vie nettement supérieures à la plupart des produits concurrents, en particulier les produits biologiques moins consommateur d'énergie grise. Elles vont cependant être touchées par le développement de l'énergie solaire qui pourrait réduire les surfaces de toiture.