

## MATÉRIAU

# La terre crue rentre dans le moule

Matériau local nécessitant très peu de transformation, la terre crue revient au goût du jour. Pour développer son usage, il est nécessaire de mieux la caractériser et de formaliser les méthodes de mise en œuvre.

Disponible presque partout dans le monde et utilisée dans la construction depuis des siècles, la terre crue ne fait pourtant l'objet de recherches fondamentales que depuis peu. «C'est la prise en compte de l'énergie grise (1) dans le bâtiment qui lui redonne tout son intérêt», remarque Patrice Doat, architecte et professeur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble (CRAterre-Ensag). Le matériau peut, en effet, être extrait sur le site même du chantier ou à proximité et nécessite peu de transformation. Il est également reconnu pour son inertie thermique et sa capacité à réguler l'hygrométrie intérieure.

Pour que l'usage de la terre crue en construction se développe, le matériau doit être mieux caractérisé et les techniques de mise en œuvre décrites précisément. Patrice Doat est en train de finaliser une demande d'appréciation technique d'expérimentation (Atex) de type A auprès du CSTB. Procédure particulière, l'Atex de type A concerne une technique en général. Elle porte ici sur le pisé traditionnel et amélioré mécaniquement (grâce à l'utilisation de fouloir mécanique). Ce document, s'il est validé, permettra de réaliser des murs porteurs en pisé jusqu'à 6 m de hauteur dans les établissements recevant du public. Outre les caractéristiques de la terre, le document présente les principes constructifs et des exemples d'architecture. La pérennité des

ouvrages passe par une toiture qui protège les murs et un soubassement qui constitue une barrière étanche, afin d'éviter infiltrations d'eau et remontées capillaires. La réponse du CSTB sera connue mi-2013 et, d'ores et déjà, des études complémentaires sur la construction en zone à risque sismique modéré et moyen sont en discussion. «Ce texte fera référence au niveau international puisque nous formalisons cette technique pour la première fois», estime l'architecte.

## Règles professionnelles

En parallèle, l'association Asterre a initié, avec le soutien des ministères de l'Ecologie et du Logement (DHUP) une démarche visant à établir des règles professionnelles de la construction en terre crue. L'étape numéro un porte sur la capitalisation et le partage des connaissances, l'animation des réseaux de professionnels, la formation et la communication. «Nous avons organisé une première journée technique en 2012, qui a regroupé 150 acteurs du secteur», explique Christian Paillard, secrétaire général du Centre technique des matériaux naturels de construction. D'autres suivront.

■ Enquête réalisée par Julie Nicolas

(1) Energie nécessaire à l'extraction, à la production, au transport, à la mise en œuvre et au recyclage.



1



2

1. Les petits blocs de pisés préfabriqués (60 x 40 x 100 cm) peuvent être utilisés en intérieur comme en extérieur. La résistance mécanique en compression atteint 2 MPa, contre 40 MPa pour un béton classique.

2. Dans cette construction à ossature bois avec une isolation en paille, des murs en pisé préfabriqués ont été mis en œuvre sur la façade sud pour stocker l'énergie solaire. La terre doit toujours être protégée de l'eau par l'architecture. Ici, c'est le soubassement en béton qui constitue la barrière aux remontées capillaires du sol.

3. Les murs chauffants mettent en œuvre un serpentin en cuivre, en aluminium ou en polyéthylène recouvert d'un enduit en terre. Ils utilisent une surface plus grande et moins chaude qu'un radiateur à convection, ce qui améliore le confort thermique.

4. Les murs en pisé se caractérisent par les différentes couches de terre tassées. Les lignes plus claires sont souvent réalisées à dessein.



3 4

## L'EXPERT

## «Améliorer nos connaissances sur la terre crue et ses propriétés»



LAETITIA FONTAINE, enseignant-chercheur au laboratoire CRAterre-Ensag.


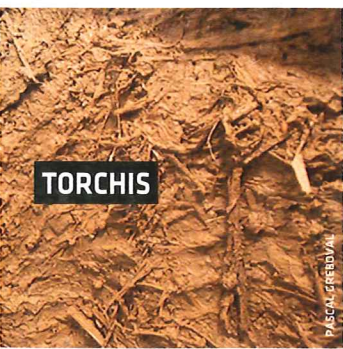
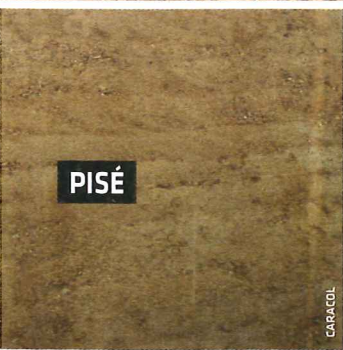


«Plusieurs projets sont en cours afin de caractériser le matériau terre et ses usages. Nous coordonnons la recherche sur le béton d'argile environnemental (BAE) financée par le ministère de l'Ecologie dans le cadre du programme Concevoir et construire pour le développement durable (C2D2). L'objectif est de couler la terre à la manière d'un béton classique, sans ajout de liant

minéral comme le ciment ou la chaux. Outre une synthèse de l'état de l'art, les études visent à obtenir un décoffrage rapide du mur avec de l'argile comme liant. Cela passe entre autres par l'optimisation du squelette granulaire et l'adjonction de dispersant. Un autre axe est la formulation de matériaux isolants thermiques grâce à l'utilisation de chanvre. Cette solution présente une énergie grise réduite

par rapport à la chaux. Nous cherchons aussi à valoriser les coproduits de carrières de granulats en les transformant en matériaux de construction innovants. Enfin, dans un autre programme, nous travaillons avec le laboratoire de recherche des monuments historiques sur la formulation d'enduits de protection en terre des bâtiments du patrimoine.»



comparaison des principales techniques de mise en œuvre de la terre crue

	TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE	CARACTÉRISTIQUES DE LA TERRE • TENEUR EN EAU	ZONES GÉOGRAPHIQUES	AVANTAGES		INCONVÉNIENTS
 BAUGE	Malaxage du mélange de terre et de fibres végétales à l'état plastique. Des boules sont alors façonnées et posées sur le mur. Elles y sont triturées afin de se fondre en une structure monolithique. Les surfaces verticales sont dressées par découpe après un court temps de séchage.	• Terre sans cailloux ni graviers. Suivant les régions, elle peut être sableuse ou plus fine et argileuse. Souvent amendée de fibres végétales pour éviter la fissuration.  • Entre 15 et 30 %.	Nord, Vendée (bourrines), Pays de la Loire, Ille-et-Vilaine, Cotentin...	Obtention de structures massives, droites et monolithiques.		Hauteur réalisable en une journée limitée : nécessité d'attendre que le mur sèche entre les levées.  Terre mise en œuvre à la main le plus souvent. Peu d'évolutions contemporaines.
 TORCHIS	Structure porteuse en bois garnie de terre, souvent mélangée à de la paille : la terre est malaxée avec de l'eau pour obtenir une consistance plastique qui est ensuite plaquée sur le lattis de façon à le recouvrir complètement. Après séchage, il est généralement enduit avec de la terre, parfois stabilisé à la chaux ou avec un mélange chaux-sable.	• Terres fines, argileuses et collantes contenant peu de sable. Elles peuvent fissurer au séchage, d'où l'adjonction de paille.  • Entre 15 et 35 %.	Nord de la France. Exemples d'architectures à pans de bois dans les centres historiques de Troyes, Tours, Colmar, Rennes, Le Mans...	Structure en bois généralement légère et facile à monter. La terre comme matériau de remplissage est simple à mettre en œuvre. Développements récents de parois préfabriquées en torchis.		Préparation du mélange assez longue et pénible sauf en cas d'utilisation de mélange prêt à l'emploi ou de recours à un malaxeur ou une bétonnière. Utilisation problématique du bois dans les zones arides ou en cours de déforestation. Les murs sont plus fins qu'avec les autres techniques en terre, d'où une moindre inertie thermique.
 PISÉ	La terre est versée dans un coffrage sur une épaisseur de 10 à 20 cm, avant d'être compactée et damée. Le mur est décoffré immédiatement après le damage de la terre.	• Seule technique qui permet de mettre en œuvre des terres contenant des cailloux et des graviers.  • Entre 5 et 20 %.	En Rhône-Alpes, le pisé représente 40 % du patrimoine rural. Un chiffre qui atteint les 90 % en nord Isère.	Technique adaptée à la réalisation de murs massifs et rectilignes. Les fines couches de terre compactées sont visibles, ce qui donne aux réalisations un aspect unique.		Technique longue à mettre en œuvre et qui nécessite de nombreux outils (banches de coffrage, fouloir pneumatique, psoir...) inspirés du béton.
 ADOBE OU BRIQUE DE TERRE CRUE	Brique de terre crue façonnée à la main ou moulée à l'état plastique et séchée à l'air libre. Le mélange terre-eau est malaxé avec les pieds ou de simples outils pour atteindre l'état plastique. Le moule est ensuite rempli, puis la brique démoulée. Elle sèche pendant quelques jours à plat sur le sol. Puis elle est retournée sur la tranche pour sécher de manière homogène.	• Terre relativement fine sans cailloux, ni graviers. Une terre trop argileuse ne convient pas : elle se fissure au séchage.  • Entre 15 et 30 %.	Côte méditerranéenne, région Midi-Pyrénées (Garonne, Gers et Gard).	Rapidité d'exécution comparable à celle des matériaux industriels. Possibilité de réaliser arcs, voûtes et coupoles avec ce seul matériau. Matériau considéré comme très économique dans les pays en développement.		Nécessité de disposer de grandes zones de séchage.
 BLOC DE TERRE OMPRIMEE (BTC)	La terre tamisée légèrement humide est comprimée dans des presses. Les blocs sont immédiatement démoulés et stockés.	• Terre contenant une proportion équilibrée de sable, limon et argile, exempte de cailloux et de gros graviers.  • Entre 5 et 20 %.	Technique récente qui s'est répandue à la fois dans les pays développés et en développement. 15000 logements et bâtiments publics à Mayotte réalisés dans les années 1980.	Les blocs obtenus sont stockables immédiatement.		Recul de l'industrialisation de la technique (50 000 blocs/jours) du fait de la lourde logistique de production.

MISE EN ŒUVRE

La terre coulée, un béton comme les autres ?

■ « Dans le cadre du programme de recherche Concevoir et construire pour le développement durable (C2D2), notre objectif est de couler le matériau terre comme un béton conventionnel, avec une mise en œuvre sous forme liquide, l'usage d'une aiguille vibrante, etc. », explique Romain Angers, enseignant-chercheur du laboratoire CRATERRE-Ensag et coordinateur du programme C2D2. Les principes de travail sont identiques à ceux du béton à haute performance et autonivelant, à la différence près que les chercheurs utilisent l'argile comme liant de la terre. Sans ciment ni chaux, on parle de matériau non stabilisé. La première phase du projet a consisté à liquéfier la terre. Tout d'abord, grâce à la reformulation granulométrique. « Il s'agit d'ajouter du sable et des graviers dans des quantités très précises afin d'obtenir un matériau plus fluide tout en utilisant moins d'eau », indique l'enseignant-chercheur. Pour ce faire, les scientifiques utilisent les modèles théoriques des industries du béton et des céramiques. Ainsi, pour disperser les argiles, ce sont l'équivalent des superplastifiants du ciment qui sont mis en œuvre. « Les premiers résultats sont très encourageants puisque,

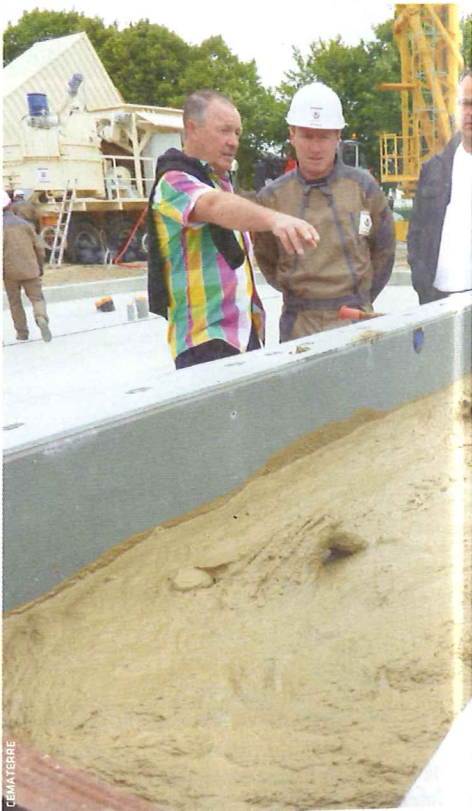
avec la reformulation granulométrique et seulement 0,2 % de dispersants chimiques, nous avons réussi à augmenter la résistance mécanique en compression, pour atteindre 5,6 MPa contre 40 MPa pour un béton conventionnel », note Romain Angers. Jusqu'à présent, les réalisations en terre coulée utilisaient environ 3 % de ciment. Comme pour les bétons à haute performance, la reformulation granulaire rend la terre plus homogène et moins poreuse.

Un liant à base de polymères naturels

La deuxième phase consiste à chercher comment resolidifier rapidement la terre pour pouvoir décoffrer dans un délai de 24 heures après le coulage. Il s'agit bien de rendre la terre aussi compétitive que le béton. Pour l'instant, un mur en béton de 40 cm d'épaisseur coûte entre 120 et 150 euros/m<sup>2</sup>, alors que l'équivalent en pisé représente entre 400 et 600 euros/m<sup>2</sup>. En parallèle, les chercheurs regardent comment remplacer les dispersants chimiques par des polymères naturels, tels que tanins, caséine, albumine, entre autres.



Actuellement, la terre coulée utilise les superplastifiants du ciment comme additifs. L'objectif des recherches en cours est de remplacer ces adjuvants chimiques par des produits naturels.





PRÉFABRICATION

# Gain d'inertie grâce aux murs en pisé

■ «Habités aux constructions bois, nous cherchions à ajouter de l'inertie aux structures légères, d'où l'idée des murs en pisé dans la maison de santé de Badonviller (Meurthe-et-Moselle)», explique Matthieu Fucks, chef de projet à l'agence Mil Lieux. Pour ce bâtiment de 650 m<sup>2</sup> de surface utile, les murs intérieurs sont en pisé. Ils ont 45 cm d'épaisseur, 3 m de hauteur et une longueur maximale de 3 m. Protégés des intempéries, ils apportent confort thermique et régulation hydrique aux occupants. Pour des raisons de calendrier, les murs qui devaient être construits sur site à l'été 2011 ont finalement été réalisés dans un hangar trois mois plus tard. «Il s'agit ainsi de nos premiers murs en pisé préfabriqués dans ces dimensions»,

indique Martin Pointet, salarié associé de Caracol, l'entreprise qui a encadré le chantier et formé l'entreprise locale.

## Résistance mécanique de 2 MPa

C'est une terre de carrière proche de Grenoble (Isère) qui a été mise en œuvre. Elle contient 15% d'argile et l'ensemble du spectre granulaire nécessaire au pisé, des particules fines aux graviers de 5 cm de diamètre. Le compactage de la terre dans les 19 coffrages, puis le séchage ont duré deux mois et demi, au terme desquels les murs atteignent une résistance mécanique de 2 MPa. Pendant ce temps, la dalle en béton a été coulée, intégrant des talons de 10 cm de haut pour recevoir les modules préfabriqués. «Ces talons

protègent les murs lors du nettoyage des sols afin d'éviter la pénétration d'eau», précise le chef de projet. Autre précaution : un mélange à base d'eau et de cellulose a été projeté pour fixer la terre tout en conservant ses propriétés. La pose des modules, dont le poids dépasse parfois les 8 t, a duré quatre jours. La compression a été maintenue grâce à des U métalliques perdus en fond de coffrage pour le passage des sangles et à un palonnier en partie haute. Fixés en partie basse par un mortier à la chaux, ils tiennent par leur propre poids. Une arase en béton permet de recevoir la charpente bois. Le budget total s'élève à 1,8 million d'euros HT, dont 66000 euros pour le lot pisé et 15000 euros pour la manutention.



Une fois la terre compactée, les modules sont décoffrés immédiatement. Pour le transport, la compression a été maintenue grâce au palonnier et à des sangles passés dans des U perdus dans le pisé.

Installés de façon à profiter des apports solaires en hiver, les murs en pisé se chargent aussi avec les calories des occupants. Selon les simulations thermiques, la température intérieure reste toute l'année aux alentours de 22 °C.



**FICHE TECHNIQUE** Maître d'ouvrage : commune de Badonviller. Maître d'œuvre : agence Mil Lieux. Fourniture de la terre : Akterre. Préfabrication des murs en pisé : Caracol (formation et encadrement de l'entreprise Joseph Gargano).