

Matériau

Crue, la terre promise à un bel avenir

Doté de nombreux atouts, ce matériau traditionnel pourrait revenir en force. Il lui reste juste à satisfaire aux normes modernes.

A bondante, renouvelable et recyclable : la terre crue possède des qualités reconnues depuis des siècles. Elle participe à la régulation hygrothermique, ce qui la rend particulièrement efficace en façade sud. En témoigne son utilisation dans l'ensemble en R+2 qui comprend une école et une médiathèque, installé à Brangues, en Isère (voir ci-contre). Le matériau se marie là avec des murs à ossature bois remplis de botte de paille. Disponible localement et ne réclamant aucune transformation pour sa mise en œuvre, la terre crue affiche surtout un excellent bilan carbone. Un argument qui pourrait peser en sa faveur dans le futur cadre réglementaire qu'instaurera la RE 2020. Mais pour se faire une place au soleil, ce matériau doit désormais prouver son adéquation avec la construction moderne. Pour l'heure, sa mise en œuvre n'est encadrée par aucune norme ou règle professionnelle, et l'absence de fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) ralentit encore son développement.

Absence de référentiel. Or, satisfaire aux exigences actuelles n'est pas chose aisée. « La diversité des pratiques de construction en terre complexifie l'analyse du cycle de vie, ce qui se traduit par un investissement souvent trop lourd pour les petites entreprises de cette filière », constate Arthur Hellouin de Ménibus, docteur en sciences des matériaux et membre de la Confédération de la construction en terre crue (CCTC). Une absence de référentiel qui entraîne les bureaux de contrôle à prendre une marge de sécurité excessive, comme lorsque le pisé se retrouve employé en remplissage de mur. Récemment livré par l'agence Toa, le groupe scolaire Miriam-Makeba à Nanterre (Hauts-de-Seine) avec ses façades, ses murs de clôture et ses refends en pisé en est une illustration (lire « Le Moniteur » du 23 août 2019, p. 14). « Ici, les 800 m² de pisé sont doublés par une structure poteaux/poutres en béton, ce qui a entraîné des surcoûts inutiles », reconnaît Pascal Thomas, architecte du projet pour l'agence Toa. « Un usage de double structure regrettable, puisque par nature, le pisé est porteur », confirme Andreas Krewet, du bureau d'études BE Terre,

spécialisé dans la construction en terre crue, et partenaire de cette réalisation. Autre aberration, pour répondre aux exigences fixées pour la construction en béton, la « terre coulée », aussi appelée « béton d'argile environnemental (BAE) », utilise du ciment pour se stabiliser et plombe ainsi son bilan carbone.

« Pour être utilisée à bon escient en l'absence de référentiel, la terre crue doit faire la preuve de sa fiabilité auprès des bureaux de contrôle et des assureurs », souligne Patrick Bossa, directeur technique du bureau de contrôle Socotec. Pour y parvenir, la filière a publié en avril 2019 ses premiers guides de bonnes pratiques, mis au point par la CCTC. « Au nombre de six, ils présentent les différentes techniques (bauge, pisé, briques de terre crue, torchis et enduits) dans une optique de garantie assurantielle », détaille Alain Marcom, maçon chez RAH Inventerre Scop, qui a participé à leur rédaction. Une initiative qui s'inscrit dans le Projet national terre dont le lancement est attendu début 2020. Soutenu par le ministère de la Transition écologique et solidaire, avec la collaboration de l'Ifsttar, ce dernier doit réunir l'ensemble des acteurs du secteur afin d'identifier puis de lever les freins techniques, réglementaires et assurantiels.

Loin de baisser les bras, les professionnels s'organisent pour conquérir des marchés et multiplient les projets emblématiques, notamment dans les centres urbains denses. Ainsi, la ZAC 2 Lyon Confluence (Rhône) accueillera prochainement l'Orange-rie, un bâtiment tertiaire (lire p. 46) avec ses arches en pisé préfabriqués, porteurs et dépourvus d'adjuvant chimique. Autre axe de développement essentiel pour la filière : la qualité thermique. Une problématique traitée dans le cadre du projet de recherche CobBauge (lire p. 49) qui cherche à réduire le coefficient de conductivité thermique de la terre crue pour répondre aux exigences réglementaires.

Impression 3D. Le Grand Paris Express pourrait, lui, jouer un rôle de catalyseur et créer un engouement inédit pour le matériau grâce au projet Cycle Terre qui propose notamment de réutiliser les terres excavées pour réaliser des briques de terre crue (lire p. 48). Du côté des industriels, le potentiel du matériau a aussi

Disponible localement et dépourvue de transformation, la terre crue affiche un excellent bilan carbone.

bien été identifié. « Les cimentiers, dont les déchets de carrière sont composés de terres à hauteur de 30 %, considèrent cette ressource d'un nouvel œil », assure Michel Rizza, consultant pour la filière. Saint-Gobain Distribution Bâtiment s'approprie même à déposer un brevet sur une paroi à base de terre crue qui pourra être mise en œuvre jusqu'en R+6. Pas en reste, la recherche aussi s'empare du sujet. L'université Bretagne Sud (UBS), l'Insa de Rennes et le laboratoire carrières, béton, travaux publics (CBTP) du groupe Pigeon planchent sur la terre imprimée en 3D. « Un biopolymère d'alginate, obtenu à partir d'algues brunes, a été ajouté afin d'accélérer la prise, explique Arnaud Perrot, chercheur à l'UBS. Nous parvenons à imprimer un mur de 1 m de hauteur en une heure, avec 2 MPa de résistance à la compression, équivalente à la terre crue traditionnelle. » Un premier prototype de coffret électrique a été imprimé. Un petit pas pour la fabrication additive, mais qui sait, peut-être un grand pas pour la terre crue. ● Amélie Luquain



1 et 2 - A Brangues (Isère), le pisé est utilisé dans cet équipement (école et médiathèque) pour ses propriétés hygrothermiques. Employé en façade sud, non isolé, ce matériau possède une capacité thermique volumique de l'ordre de 500 Wh/m³K. Sa perspiration, capacité à réguler la vapeur d'eau, est aussi excellente (μ de 10).

↳ **Maîtrise d'ouvrage :** Ville de Brangues. **Maîtrise d'œuvre :** Landfabrik (architecte). **BET :** I+A, Batiserf, Switch. **Entreprise :** Le Pisé. **Livraison :** septembre 2019. **Coût :** 990 000 euros HT.

Préfabrication Un havre de terre au cœur du béton

En cours de construction, un bâtiment en terre crue se dresse au milieu de ses congénères en béton dans le nouveau quartier Confluence de Lyon (Rhône). L'édifice, baptisé l'Orangerie, est le symbole du renouveau de ce matériau tombé en désuétude, alors qu'il représentait 80 % de la construction avant 1947, selon l'association des professionnels de la construction en terre crue en Auvergne-Rhône-Alpes (Tera). En R + 2, sur un plan de 13 x 37 m, le futur immeuble de bureaux comporte en façades des arches en pisé hautes de 10 m. Pas moins



de 380 tonnes de matériau provenant d'un chantier d'excavation situé à 30 km auront été nécessaires à leur réalisation. Ici, la terre crue se déploie sous la forme de blocs de pisé préfabriqués de façon à former 14 arches avec une ouverture en pied de 4,70 m. L'ouvrage non armé travaille en compression et porte les planchers bois pour concentrer les charges sur les piles.

Pour préfabriquer les blocs, Nicolas Meunier, dirigeant de l'entreprise Le Pisé, a mis au point un atelier forain. La terre y est d'abord tamisée au travers d'une grille, avant d'être malaxée, puis compactée dans un moule. Quatre masses de 20 kg, actionnées par de l'air comprimé, dament la terre. Quelque 286 éléments ont ainsi été formés à pied d'œuvre, à raison de trois ou quatre par jour, avant d'être mis en place grâce à un chariot télescopique.

Variation des épaisseurs. Les blocs de pisé, longs de 100 à 220 cm pour 110 cm de haut, voient leur épaisseur varier, passant de 80 cm au rez-de-chaussée à 50 cm au dernier étage. Pour porter les planchers bois, des ferrures aux extrémités des poutres sont logées directement dans les réservations pratiquées au cœur des blocs. Ces dalles, couplées au noyau en bois, assurent le contreventement.

Pour lui redonner sa place en ville sous sa forme la plus pertinente, « il a fallu caractériser ce matériau et justifier de ses capacités hygrothermiques et mécaniques auprès du bureau de contrôle comme des assurances », déplore Thibault Vialleton, chargé de projet pour le bureau d'études structure Batiserf. Une tâche ardue en l'absence de référentiel technique. « Elle a impliqué la rédaction de ce qui pourrait s'apparenter à un document technique unifié (DTU) », insiste Nicolas Meunier. L'édifice, qui interpelle déjà les passants, sera livré en juin 2020. Le budget des façades en pisé s'élève à 570 000 € pour une enveloppe globale de près de 3 M€ HT.



1



2



3



4

↳ **Maîtrise d'ouvrage:** Oglc. **Maîtrise d'œuvre:** Clément Vergély, architecte mandataire et Diener & Diener, associé. **BET:** Batiserf (structure). **Entreprises principales:** Le Pisé (terre crue), Nugues (ossature bois). **Bureau de contrôle:** Socotec. **Surface:** 1 000 m².

- 1 - Un atelier forain équipé d'un compacteur a permis de préfabriquer les blocs de terre à pied d'œuvre.
- 2 - Les blocs sont levés grâce à un chariot télescopique, avant d'être posés au millimètre près sur un lit de mortier.
- 3 - Pour porter les planchers bois, des ferrures en âme encastées en bout de poutre reposent sur les blocs de pisé pourvus de réservations.
- 4 - Cet îlot de la ZAC 2 Lyon Confluence met en rapport quatre immeubles hauts en béton ceinturant ce bâtiment bas en pisé.



Revalorisation Transsubstantiation du déchet

Quatre cents millions de tonnes : c'est le volume global de déblais généré par l'ensemble des constructions du Grand Paris Express d'ici à 2030, selon les estimations du Plan régional de prévention et de gestion des déchets issus des chantiers du bâtiment et des travaux publics (Predec). Mises au rebut, ces terres d'excavation sont considérées comme des déchets. Dans un contexte de raréfaction des ressources, le projet Cycle Terre (1) propose de les valoriser pour construire de nouveaux quartiers en Ile-de-France.

Production de 8 000 t/an. A Sevran (Seine-Saint-Denis), une usine de fabrication de produits en terre crue de 2 600 m², construite... en terre, sera mise en service dès novembre 2020. Elle vise 8 000 t/an de briques, de panneaux extrudés - dont l'usage est proche des cloisons en plâtre - mais aussi de terre à enduire. « Tous utiliseront une terre de limon de plateau qui provient de la surface du sol, de 1 à 3 m de profondeur, aux caractéristiques homogènes, explique Lætitia Fontaine, directrice d'Amaco, centre de ressources pédagogiques dédié aux sciences de la matière pour la construction durable et partenaire du projet. Seules les briques de terre compressée développées pour

La mise en service de l'usine s'accompagnera de formations sur les connaissances et les savoir-faire techniques de la mise en œuvre des briques de terre crue.

les façades extérieures non protégées, porteuses ou en parement, seront stabilisées. Des premiers essais ont été menés avec 5% de ciment. D'autres à la chaux sont à venir. Ce sujet est amené à évoluer. »

La préproduction a démarré pour répondre aux premières commandes. In'li, filiale d'Action Logement spécialisée dans le logement intermédiaire, veut lancer un bâtiment pilote dès le printemps 2020. Au-delà d'un premier essai d'industrialisation, « notre objectif est de produire des références techniques. Nous avons lancé les tests d'appréciation technique d'expérimentation pour les briques, les panneaux d'argile et le mortier », indique Lætitia Fontaine. Ces certifications doivent mener la filière vers la mise en place de documents techniques unifiés (DTU) et de règles professionnelles.

(1) Développé entre autres par la Ville de Sevran, l'agence Joly & Loiret et Grand Paris Aménagement, Cycle Terre a été lauréat en octobre 2017 de l'appel à projets européens « Actions innovatrices urbaines ». Le budget de 6,1 millions d'euros est financé à hauteur de 4,9 millions par l'Europe.

Réglementation La bauge doit bouger

Les constructions en bauge, mélange de terre crue, de fibres végétales et d'eau, impriment leur marque dans les paysages de la Manche. Mais sous cette forme ancienne, le matériau présente une trop grande conductivité thermique (lambda), à 0,7 W/mK pour 70 cm d'épaisseur (plus la valeur est grande, plus le matériau peut capter de la chaleur, NDLR).

Le projet franco-britannique CobBauge, copiloté par l'ESITC Caen et l'université de Plymouth (Angleterre), vise à augmenter ses capacités thermiques tout en préservant ses performances structurelles. Il s'inscrit dans le cadre des démarches lancées par l'Union européenne pour réduire de 20% nos émissions de CO₂ en 2020. Initiée en 2017, la première phase vient de s'achever. Elle a abouti à deux mélanges de bauge. « L'un, plus dense, dosé à 2,5% de fibres de lin, présente des propriétés structurelles renforcées, avec un lambda de

0,16 W/mK, explique Nassim Sebaibi, responsable scientifique de l'ESITC Caen. L'autre, allégé grâce à 5% de fibres de roseau, améliore son isolation avec un lambda de 0,10 W/mK. » Combinés, ces mélanges forment un mur composite de 50 cm d'épaisseur pour une résistance thermique (R) de 3,6 m².K/W, conforme aux exigences de la RT 2012 (R de 3,2 à 5,5) [plus la valeur est grande, plus le matériau est isolant, NDLR].

Deux bâtiments pilotes. Lors d'une seconde phase de recherche qui s'achèvera en 2023, ce double mur de bauge sera revu au regard de la RE 2020 et testé à échelle 1. Un bâtiment pilote sera construit de chaque côté de la Manche. Pour celui situé en France, dont la construction a commencé en octobre 2019, la bauge sera structurelle en extérieur, thermique en intérieur. Des capteurs seront implantés dans et sur les murs afin de surveiller les températures, les teneurs en eau, les degrés de séchage et les tassements. L'objectif est d'établir des modèles pour prédire le comportement des maisons en bauge.



1 et 2 - Les chercheurs testent en laboratoire les performances thermique et mécanique de la bauge.

3 - Pour le bâtiment pilote construit en France, de 13 m² SP et 24 m² d'emprise au sol, 90 tonnes de terres seront coffrées sur place. Deux mélanges de bauge différents seront mis en œuvre. L'un avec 2,5% de fibres de lin, l'autre avec 5% de fibres de roseaux.