



HAL
open science

Nouveaux matériaux pour la construction de demain

Céline Perlot-Bascoules, Plop Et Kankr, Fabien Nappey

► **To cite this version:**

Céline Perlot-Bascoules, Plop Et Kankr, Fabien Nappey. Nouveaux matériaux pour la construction de demain. Ebullition(s) : le cahier illustré de la recherche - Ébullitions - Ébullition, 2023. hal-04264858

HAL Id: hal-04264858

<https://univ-pau.hal.science/hal-04264858v1>

Submitted on 30 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Nouveaux matériaux pour la construction de demain

Texte : Céline Perlot (Équipe Géomatériaux et Structures, Laboratoire SIAME, UPPA)
Illustrations : Plop & KanKr

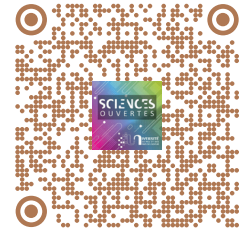
mots-clés : matériaux, construction, laine, terre
keywords : materials, construction, wool, raw clay

Le secteur de la construction pèse lourd dans les impacts environnementaux. Grand consommateur de matières premières, il produit beaucoup de déchets, mais surtout les émissions de gaz à effet de serre qu'il génère s'avèrent parmi les plus importantes des secteurs industriels.

Dans le contexte actuel de la lutte contre le changement climatique, tous les acteurs de la filière du BTP doivent modifier leurs pratiques afin de se conformer aux exigences de la

transition écologique et énergétique. Suivant l'évolution des techniques constructives, **l'équipe de recherche Géomatériaux et Structures (GS) du laboratoire SIAME**, historiquement spécialisée dans la description du comportement des matériaux cimentaires (bétons, mortiers...), s'est tournée depuis une dizaine d'années vers la construction à faibles impacts environnementaux. Le cœur de leur nouvelle thématique de recherche est centré sur les matériaux géosourcés, autrement dit **la terre crue!**

« MAIS QUELS PRODUITS ALTERNATIFS ISSUS DE SOUS-PRODUITS AGRICOLES RENFORCERAIENT LA TERRE CRUE SANS POUR AUTANT ALTÉRER SES CAPACITÉS ? »



**Les matériaux de
construction de demain**
Sciences Ouvertes,
le podcast de la Recherche
à l'Université de Pau et des
pays de l'Adour (UPPA)

CONSTRUIRE EN TERRE CRUE, UNE VÉRITABLE AVANCÉE ?

Parfois plus connue sous les noms d'adobe, de pisé, de torchis, ou encore de briques compressées, la terre crue est utilisée comme matériau de construction depuis des siècles dans le monde entier! Bien qu'elle ait été délaissée au profit du béton et de l'acier, on estime aujourd'hui que plus de la moitié de la population mondiale vit dans une habitation en terre crue.

Disponible localement et en grande quantité, elle nécessite très peu d'énergie pour être transformée. En plus de sa faible énergie grise (énergie nécessaire à l'extraction des matières premières, à la fabrication et au transport des produits), la terre crue offre plusieurs avantages : elle a la capacité de réguler le taux d'humidité dans l'air intérieur grâce à son aptitude à retenir ou non l'eau à sa surface selon les conditions climatiques et présente une forte inertie thermique qui permet de préserver la température interne lors par exemple d'épisodes de canicule. Ces propriétés, qui sont dites hygrothermiques, permettent aux bâtiments en terre crue d'être plus confortables et sobres énergétiquement.

Malgré ces points positifs, le matériau présente tout de même des limites : manque de résistance et sensibilité au contact d'eau liquide. Il est donc nécessaire de le renforcer par l'ajout de ciment ou de chaux, au détriment de son empreinte carbone.

Mais quels produits alternatifs issus de sous-produits agricoles renforceraient la

terre crue sans pour autant altérer ses capacités? C'est la question que Céline Perlot, la responsable de l'équipe de recherche GS, s'est posée et qui lui a valu d'être lauréate en octobre 2021 de l'Institut Universitaire de France, au titre de l'innovation scientifique.

REPARTIR DES BASES AVEC UNE NOUVELLE MÉTHODOLOGIE

Lorsque l'on fabrique des biens, on produit de manière inévitable des résidus, que l'on appelle des sous-produits. Réutiliser ces sous-produits est une forme de revalorisation des déchets : au lieu de jeter des éléments dont on ne se sert pas, on leur offre une seconde vie en les réemployant dans de nouvelles conceptions, permettant ainsi des économies de matières premières, et par extension, une diminution des impacts environnementaux. L'équipe GS travaille sur ces approches.

Recréer du béton neuf, à base de granulats de béton issus de structures démolies, ou encore à base de coquilles d'huîtres à la demande du syndicat de conchyliculture du Bassin d'Arcaçhon en partenariat avec le laboratoire LFC-R de l'UPPA, voici des exemples de méthodes qui sont développées dans ces recherches. Partant d'objectifs simples, comme réduire les quantités de déchets, palier les carences de matières premières, ou encore économiser des ressources ; ces travaux restent néanmoins complexes et exigent à collaborer avec d'autres équipes. Remploier des sous-produits nécessite de la minutie, car comme en cuisine, une variation de dosage peut mener à un produit final différent.

« REMPLoyer DES SOUS-PRODUITS NÉCESSITE DE LA MINUTIE, CAR COMME EN Cuisine, UNE VARIATION DE DOSAGE PEUT MENER À UN PRODUIT FINAL DIFFÉRENT »

Les matériaux n'étant pas les mêmes, les propriétés physiques et chimiques non plus, cela implique de comprendre les différences de comportements pour adapter les formulations et garantir leurs performances.

UTILISER UN SOUS-PRODUIT LAINEUX, UN PROJET AMBITIEUX !

En partenariat avec le centre de ressource technologique Nobatek/INEF4, l'équipe de Céline Perlot a voulu développer un nouveau matériau de construction pour le bâtiment à faible taux carbone à base de terre crue. Afin d'en tirer profit au maximum, ils ont eu l'idée de créer des plaques qui pourraient substituer celles de plâtre traditionnel dans les bâtiments. Dans l'objectif de renforcer le produit et d'assurer la solidité des plaques sans en augmenter l'épaisseur, une solution a été trouvée : le Manech. En effet, la laine

CECI N'EST PAS
UNE PLAQUE DE BA 13.

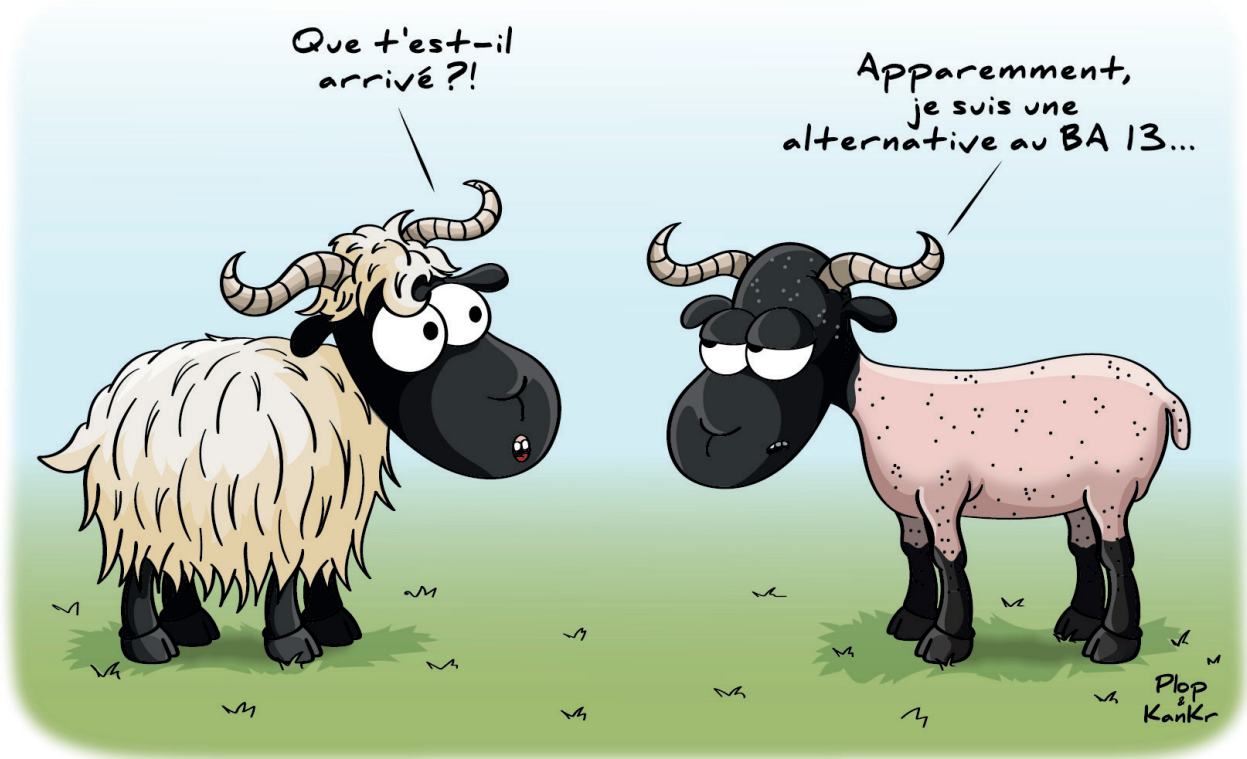


Plop
&
Kankr

de ce charmant ovin qui produit le lait pour le fromage basque n'étant pas utilisable pour le filage textile, des montagnes de laine s'entassaient chez les producteurs en attendant qu'il leur soit trouvé une utilité ! Après de multiples expérimentations sur les quantités et les volumes de fibre à intégrer à la terre afin de trouver la meilleure combinaison entre solidité, régulation de la température et de l'humidité ; Céline Perlot et son équipe ont pu établir que le suint, c'est-à-dire la graisse présente sur la laine non traitée et non lavée, permettait de stabiliser les feuillets d'argile de la terre crue, et ainsi d'obtenir le matériau le plus performant. Un poids de moins dans la balance environnementale avec une économie d'eau de lavage de la laine et la suppression d'étapes dans le processus de préparation des plaques !

Après la conception est venue la phase de prototypage afin de valider leur concept. Pour passer des échantillons de 20 cm créés en laboratoire à de grandes plaques, l'équipe a fait appel à une industrie possédant une presse hydraulique adaptée à leurs besoins. Grâce à cette machine haute de deux étages, ils ont pu fabriquer plusieurs plaques de 60 cm² et de 2,5 cm d'épaisseur, dont les performances seront validées par comparaison avec les échantillons de laboratoire, selon les propriétés physiques, chimiques, les besoins en manutention et la mise en œuvre dans le système constructif complet.

Les recherches pour la meilleure combinaison possible ne s'arrêtent pas là ! Une fois la structure des plaques renforcées par la laine de manech, les chercheurs se sont penchés sur le moyen de réduire la sensibilité à l'eau du matériau, tout en préservant ses capacités hygrothermiques. Pour cela, ils ont étudié les moyens de renforcer les feuillets d'argile de la terre et ont réussi à mettre au point deux méthodes efficaces : la première à l'aide de biopolymères, de grandes molécules



organiques provenant de plantes comme la gomme de Guar ou de Xanthane, traditionnellement utilisés dans l'agroalimentaire comme gélifiants ; et la seconde à partir d'une enzyme extraite de simples graines de soja qui possède la capacité de transformer l'urée et le calcium présents dans la terre en calcite.

QUELLE RÉGLEMENTATION POUR CES NOUVELLES TECHNIQUES ?

Pour la plupart des produits innovants bio ou géosourcés, il n'existe pas de réglementation spécifique en France, ce qui a pour effet de freiner la diffusion des techniques de construction. Pour faire évoluer les choses, l'équipe GS prend part à des comités techniques internationaux et à des réseaux de recherche, comme le Projet National Terre (PNT), qui vise à rédiger des textes et recommandations pour aller vers la normalisation de la construction en terre crue. Pour cela, il faut savoir bien identifier et décrire les mécanismes internes à différentes échelles : celles du matériau, des produits et de leur assemblage, et finalement des structures afin de savoir modéliser, simuler et prédire leurs

comportements. Ceci nécessite l'acquisition de nombreuses données et connaissances scientifiques. Ainsi, dans l'axe de la sécurité incendie du PNT animé par Céline Perlot, différents échantillons de matériaux en terre crue sont soumis à de hautes températures, équivalentes à des situations d'incendie, pour évaluer la sensibilité des mélanges en fonction de leur teneur en eau, de la nature des argiles ou de la nature des fibres. Une fois les phénomènes identifiés, les chercheurs développeront des modèles pour la simulation qui seront validés par des essais à grande échelle. Cerner le domaine de stabilité des matériaux et proposer des outils de simulation permet d'aider les bureaux d'études à établir les dimensions les plus optimales à l'usage des nouveaux matériaux dans le bâtiment afin d'obtenir la validation des bureaux de contrôle.

LA RECHERCHE NE S'ARRÊTE PAS LÀ !

Maintenant que des connaissances scientifiques ont été établies sur les différents moyens de stabiliser la terre crue, le but est désormais d'adapter la composition des

matériaux selon leurs usages : régulation thermique à l'intérieur des bâtiments, résistance d'un mur porteur soumis à des intempéries, etc. Finalement, le bon matériau, c'est celui qui est adapté à une fonction et un usage, et qui utilise les ressources locales. La recette universelle n'existe pas, c'est pourquoi les travaux sont orientés sur une méthodologie d'optimisation des formules, en développant une approche mêlant technique et environnement.

À partir des résultats de ces recherches, il a été possible d'imaginer que, puisque les matériaux à base de terre crue présentent un fort potentiel d'adsorption d'humidité, ils pourraient contribuer à réguler la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments, en retenant les polluants gazeux comme le CO₂, ou les composés organiques volatils. C'est dans le but d'évaluer ce potentiel que l'équipe GS s'est rapprochée d'une équipe de chercheurs en chimie analytique de l'UPPA spécialisée dans la mesure des polluants. En listant les

mécanismes physico-chimiques pouvant se dérouler dans la terre crue par similitude avec d'autres matériaux, ils élaborent des dispositifs expérimentaux qui permettront de valider leurs hypothèses.

**DÉVELOPPER DE NOUVEAUX MATÉRIAUX
C'EST UNE CHOSE, DÉMOCRATISER
LEUR UTILISATION EN EST UNE AUTRE.**

Si les futurs usagers ne sont pas convaincus par la construction de bâtiments en terre crue, il y a peu de chances que les techniques développées soient largement utilisées. Pour faire pencher la balance du bon côté, il est important de démontrer la durabilité des produits développés : l'absence d'érosion ou de production de poussière, ou encore le maintien de l'apparence et de la teinte sont des points permettant l'adhésion du public. Mais si ces points sont démontrés, il faut aller plus loin pour rassurer les usagers. Pour cela, des projets de recherche sont menés, visant à

**LA LAINE DE MANECH,
UNE SOLUTION ÉCOLO POUR FABRIQUER
DES PLAQUES D'ISOLATION !**



« FINALEMENT, LE BON MATÉRIAU, C'EST CELUI QUI EST ADAPTÉ À UNE FONCTION ET UN USAGE, ET QUI UTILISE LES RESSOURCES LOCALES »

quantifier le confort hygrothermique, mais aussi les aspects psycho-sensoriels par l'apparence visuelle des solutions proposées. Finalement, c'est par une enquête géo-sociale permettant de mesurer la satisfaction et le ressenti des occupants de bâtiments déjà existants en terre crue, que l'étude visant à convaincre de futurs usagers sera complétée.

Dans leur volonté de relever les défis imposés par le changement climatique, c'est grâce à leur approche transdisciplinaire, via la collaboration avec d'autres équipes de chercheurs et la mise en commun des savoirs et des expertises, que Céline Perlot et son équipe envisagent leurs recherches aujourd'hui.

DOI- 6533356sdfd23

BIBLIOGRAPHIE

United Nations Environment Programme, 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi, 2020.

Unesco, Programme du patrimoine mondial pour l'architecture de terre (WHEAP), 2012.

Antonin Fabbri, Jean-Claude Morel, Jean-Emmanuel Aubert, Quoc-Bao Bui et al., Testing and characterisation of earth-based building materials and elements. State of the Art Report of the RILEM Technical Committee 274-TCE, Springer Cham, 2022.

Venkatarama Reddy B.V., Prasanna Kumar P., « Embodied energy in cement stabilized rammed earth wall », *Energy and Buildings*, n° 42, p. 380-385, 2010.

S. Muguda, G. Lucas, P.N. Hughes et al., « Durability and hygroscopic behaviour of biopolymer stabilised earthen construction materials », *Construction and Building Materials*, n° 259, 2020. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119725

A. Saif, A. Cuccurullo, D. Gallipoli, C. Perlot, A.W. Bruno, « Advances in Enzyme Induced Carbonate Precipitation and Application to Soil Improvement: A Review. », *Materials*, n° 3, 2022. doi.org/10.3390/ma15030950

Projet PACo - <https://blog.nobatek.inef4.com/systemes-constructifs-bas-carbone-paco/>

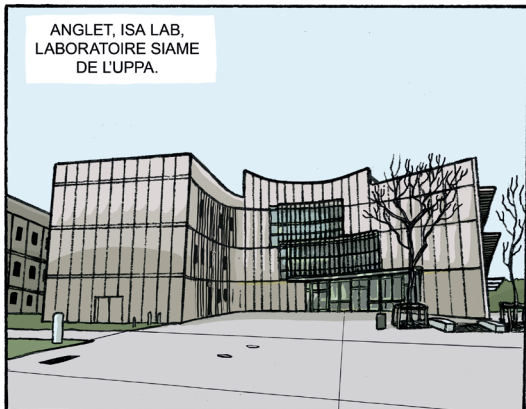
J. Fernandes, M. Peixoto, R. Mateus, H. Gervásio, Life cycle analysis of environmental impacts of earthen materials in the Portuguese context: Rammed earth and compressed earth blocks, *Journal of Cleaner Production*, 241, 2019. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118286.

Bruno Fernandes, Fire behaviour and residual durability of concrete with recycled concrete aggregates, thèse de doctorat de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2022

Ana Cláudia Pinto Dabés Guimarães, Use of oyster shell (*Crassostrea gigas*) as aggregate replacement for producing environmentally-friendly concrete, thèse de doctorat de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2022.

S. Muguda, G. Lucas, P.N. Hughes, C.E. Augarde, C. Perlot, A.W. Bruno, D. Gallipoli, Durability and hygroscopic behaviour of biopolymer stabilised earthen construction materials, *Construction and Building Materials*, 259, 2020. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119725

A. Fabbri, J-C Morel, 14 - Earthen materials and constructions, Editor(s): Kent A. Harries, Bhavna Sharma, In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Nonconventional and Vernacular Construction Materials (Second Edition), 2020. doi.org/10.1016/B978-0-08-102704-2.00014-7.



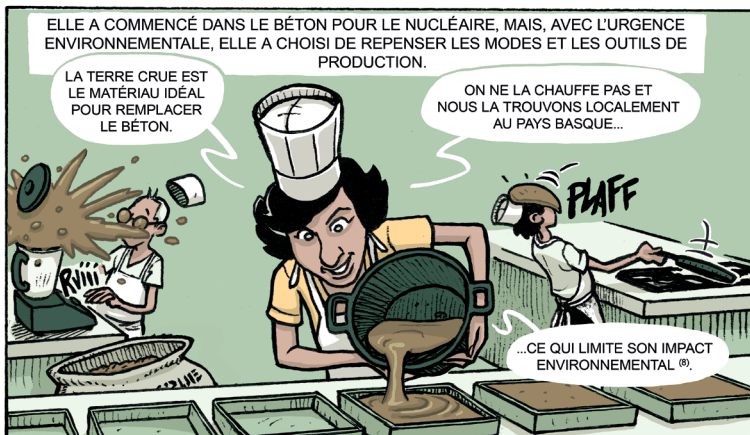
ANGLET, ISA LAB, LABORATOIRE SIAME DE L'UPPA.



CÉLINE PERLOT-BASCOULÈS, RESPONSABLE DE L'ÉQUIPE GÉOMATÉRIAUX ET STRUCTURES DU GÉNIE CIVIL, TRAVAILLE SUR LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION DE DEMAIN.

EN COLLABORATION AVEC NOBATEK, NOUS TRAVAILLONS SUR DES PLAQUES DE REVÊTEMENT INTÉRIEUR POUR LE BÂTIMENT À PARTIR DE TERRE CRUE (7).

C'EST ICI QUE NOUS FAISONS NOTRE CUISINE.

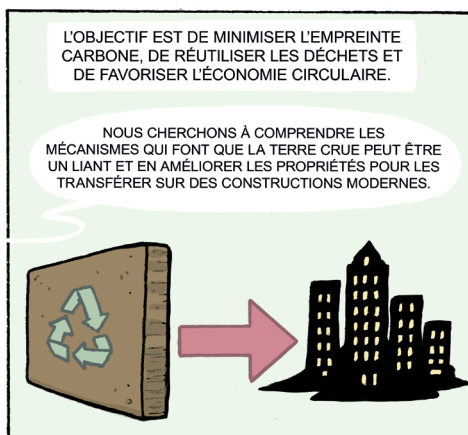


ELLE A COMMENCÉ DANS LE BÉTON POUR LE NUCLÉAIRE, MAIS, AVEC L'URGENCE ENVIRONNEMENTALE, ELLE A CHOISI DE REPENSER LES MODES ET LES OUTILS DE PRODUCTION.

LA TERRE CRUE EST LE MATÉRIAU IDÉAL POUR REMPLACER LE BÉTON.

ON NE LA CHAUFFE PAS ET NOUS LA TROUVONS LOCALEMENT AU PAYS BASQUE...

...CE QUI LIMITE SON IMPACT ENVIRONNEMENTAL (8).



L'OBJECTIF EST DE MINIMISER L'EMPREINTE CARBONE, DE RÉUTILISER LES DÉCHETS ET DE FAVORISER L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE.

NOUS CHERCHONS À COMPRENDRE LES MÉCANISMES QUI FONT QUE LA TERRE CRUE PEUT ÊTRE UN LIANT ET EN AMÉLIORER LES PROPRIÉTÉS POUR LES TRANSFÉRER SUR DES CONSTRUCTIONS MODERNES.



C'EST UN MATÉRIAU ANCESTRAL DÉJÀ TRÈS UTILISÉ DANS LA CONSTRUCTION. SEULEMENT, LES BRIQUES SONT HABITUELLEMENT BIEN PLUS GROSSES ET PLUS RÉSISTANTES QUE LES PLAQUES QUE NOUS VOULONS FABRIQUER. IL NOUS FAUT MÉLANGER LA TERRE CRUE À UN AUTRE COMPOSANT POUR AMÉLIORER SA FLEXION.

BURP.

CLAC.



TROUVER LA RECETTE PARFAITE NÉCESSITE D'EXPÉRIMENTER DIVERS INGRÉDIENTS ET DE FAIRE ÉVOLUER LA FORMULE.

UNE NOIX DE GRANULATS DE BÉTON RECYCLÉ (9), UNE PINCÉE DE COQUILLES D'HUITRES (10)...



AVANT D'ARRIVER À L'ASSAISONNEMENT IDÉAL, IL PEUT SE PASSER DU TEMPS.

1... 2... 3...



LA LAINE DE MANECH !!!

Nouveaux matériaux pour la construction de demain

