

RAPPORT D'ACTIVITÉS [2022]




CTMNC

Terre et Pierre
Expertise et Innovation

Metrohm

On
Status

800 Dosino

Swiss made 

LOCK UNLOCK

PORT

2 mL
Ex 20°C

VENT

Pat-2



SOMMAIRE

Éditorial des présidents	5	Développement Durable	33
Le CTMNC en quelques mots	6	Filière Terre Cuite : l'Engagement pour la Croissance Verte mené comme projet	33
Plus de 60 ans de recherche et d'innovation dans le domaine de la construction	6	Valorisation des terres excavées : développement et validation d'une méthodologie	34
Actualités	7	Réemploi des matériaux naturels : retours d'expérience et accompagnement des maîtres d'ouvrage	36
De nouveaux locaux performants pour l'équipe R&D du CTMNC à Limoges	7	FDES collectives terre cuite : l'impact CO ₂ du transport de matériaux mieux pris en compte	37
Un nouveau Directeur Général adjoint en charge du Département ROC	8	Publication d'un guide dédié à la biodiversité en carrière d'argile	38
« MIXINOV » ou les quatre nouvelles plateformes technologiques de l'Institut Carnot MECD	9	L'évaluation environnementale des produits en pierre naturelle se précise	38
Investissement du CTMNC pour une sobriété énergétique de ses installations à Clamart	10	R&D	40
Aboutissement d'un projet collectif pour la mise en place du « LIMS »	11	Projet « HYDETOP » : premiers essais avec l'hydrogène combustible	40
Comptes 2022	12	Projet « RECYCARB » : captage du CO ₂ en sortie de cheminées et valorisation par méthanation	41
Principaux résultats	13	Trois voies de recherche pour adapter le concept « Direct Air Capture » aux produits de terre cuite	42
Tuiles	13	Contribution du CTMNC au Projet National « DOLMEN »	44
Enrichissement du corpus technique des bardages en tuiles de terre cuite	13	Thèse CSTB/CTMNC sur la résistance au feu des maçonneries en pierre naturelle : premiers résultats expérimentaux	45
Poursuite du projet européen LIFE « SUPERHERO » : adaptation au changement climatique par rafraîchissement passif des toitures en tuiles	14	Avancées du projet « POSTFIRE - Stabilité et préservation des bâtiments du patrimoine culturel en maçonnerie de pierre après incendie »	47
Mise en place d'un dispositif expérimental permettant de mesurer les gains thermiques et énergétiques générés par des produits de terre cuite traités avec des revêtements	15	Réalisation d'un essai de résistance au feu sur façade en pierre mince attachée	49
Étude de l'influence des traitements de surface conventionnels sur l'adhérence des tuiles liées par collage, et sur leurs propriétés	16	Étude de la glissance après usure sur pierres naturelles : essais de polissage	50
Un guide pour la mise en œuvre des tuiles en montagne	18	Aboutissement du projet « OEHM - Optimisation Énergétique de l'Habitat Méditerranéen »	50
Briques de structure	19	BIM	52
Thèse « Étude multi-échelles du comportement mécanique et au feu des murs en maçonnerie montés aux joints minces »	19	Développement d'outils génériques BIM pour la pierre naturelle	52
Méthode d'essai de flexion des parois externes des briques à bancher	22	Qualité	53
Nouvelle méthode de calcul numérique de la capacité thermique surfacique des parois hétérogènes	24	Solution logicielle « LIMS » au CTMNC : la rétrospective	53
Révision du DTA « Acrotères en briques à bancher »	25	Démarche Qualité du CTMNC : accréditations COFRAC, satisfaction clientèle, amélioration continue	53
Parement	26	Marquage CE des produits de terre cuite : révision et publication des documents réglementaires	54
Campagnes d'essais pour le dimensionnement des maçonneries décoratives du type moucharabieh	26	Veille - Communication	55
Ressourcer la mixité avec le projet « WoodStone » de MECD	27	Actions de communication du CTMNC dans le contexte de la RE2020	55
Pierres naturelles	28	Contribution du CTMNC au dossier « Réemploi » de Construction21	56
Groupe de travail « Marbrerie » : la rédaction du guide « Mise en œuvre » progresse	28	Retour sur la Journée Technique du CTMNC « La pierre naturelle et le feu »	57
Un guide sur les gravures de monuments funéraires et cinéraires en pierre naturelle	28	Normalisation	58
Le site Web de « Lithoscope® » continue de s'enrichir	29	La révision du RPC suivie attentivement par la filière Terre Cuite	58
« DIMAPIERRE-Sonic », l'outil qui permet d'estimer les propriétés physico-mécaniques de la pierre naturelle de manière non-destructive	30	Vers une normalisation européenne des plaquettes de terre cuite	59
Publication de la nouvelle version du NF DTU 52.2	30	Eurocode 6 : révision des méthodes de calcul simplifiées pour les ouvrages en maçonnerie non armée	60
Terre crue	31	Pierre naturelle : actualité de la normalisation	61
Publication de la norme révisée XP P13-901 et lancement du Projet National « Terre »	31	Formation	62
Lancement d'une thèse CIFRE sur la brique de terre crue extrudée	32	L'actualité des formations tuiles et briques en 2022	62
		Liste des membres	63



ÉDITORIAL DES PRÉSIDENTS



Frédéric DIDIER
Président



Emeric de KERVENOËL
Vice-Président

Nous sommes heureux de vous présenter ce Rapport d'activités 2022 du CTMNC. Vous y trouverez une synthèse des travaux scientifiques et techniques de notre Centre technique, ainsi que quelques articles d'actualité.

L'année 2022 a été marquée, en interne, par deux grands chantiers : le déménagement de l'équipe de Limoges pour de nouveaux locaux et le remplacement des installations de chauffage sur le site de Clamart. Deux projets rendus nécessaires, qui ont abouti cet été 2022 pour la chaudière, et en octobre pour les laboratoires de Limoges.

- Les travaux scientifiques du CTMNC sont très importants pour nos filières industrielles. Cette année a vu la soutenance d'une thèse majeure, visant à modéliser le comportement mécanique en température des maçonneries de briques à joints minces, et le démarrage d'une autre thèse, sur la stabilisation des briques de terre crue extrudées. On note également la poursuite des travaux de recherche sur le comportement au feu des maçonneries de pierre naturelle.
- Le sujet de la décarbonation demeure au cœur des préoccupations de R&D de la filière industrielle de la terre cuite. Deux projets structurants, débutés en 2021, ont été poursuivis cette année encore : « HYDETOP »⁽¹⁾ et « RECYCARB »⁽²⁾.
- Le Centre a beaucoup œuvré en 2022 à l'enrichissement du corpus technique de textes, de guides et de méthodologies pour tous les types de produits des filières Terre Cuite et Pierre Naturelle, afin de soutenir leur développement dans les activités du bâtiment, de la voirie et du funéraire.
- En matière de Développement durable, on compte de nombreuses actions, comme la publication du guide « Biodiversité » pour les carrières d'argile, la contribution du CTMNC à l'ECV⁽³⁾ signé entre l'Etat et la filière Terre Cuite, visant à étudier l'utilisation des sédiments argileux de dragage, ou la mise en place d'une méthodologie de caractérisation des terres excavées. Le CTMNC a aussi beaucoup développé son activité autour du réemploi des produits de construction.
- Nous saluons particulièrement les efforts importants de digitalisation des processus du CTMNC. Vous pourrez lire, dans ce rapport, un article sur l'histoire du projet collectif « LIMS »⁽⁴⁾, qui modernise les modes de fonctionnement des équipes.
- Enfin, le CTMNC a beaucoup communiqué, notamment dans le contexte de la mise en place de la RE2020, lors de conférences sur le réemploi ou sur l'innovation, ou en participant activement aux événements organisés par MECD⁽⁵⁾.

Nous tenons à souligner le professionnalisme qui anime les équipes du CTMNC dans le traitement de tous ces sujets, certains se poursuivant en 2023, en particulier ceux liés à la décarbonation.

1 - Projet « HYDETOP » : utilisation de l'hydrogène comme combustible dans les fours de l'industrie terre cuite.

2 - Projet « RECYCARB » : captation du CO₂ à la sortie des fumées des fours.

3 - ECV : Engagement pour la Croissance Verte.

4 - LIMS : système d'information pour les laboratoires d'analyses et d'essais.

5 - Institut MECD : Matériaux et Équipements pour la Construction Durable, dont le CTMNC est l'un des membres fondateurs.

LE CTMNC EN QUELQUES MOTS

60 ANS DE RECHERCHE ET D'INNOVATION DANS LE DOMAINE DE LA CONSTRUCTION

Le CTMNC est un Centre Technique Industriel (CTI) qui œuvre pour la promotion de techniques innovantes et le développement de la qualité des matériaux de construction de ses deux filières : la terre cuite et la pierre naturelle. Il fait partie du Réseau des Centres Techniques industriels (RCTI) et de l'Institut Carnot MECD (Matériaux & Équipements pour la Construction Durable).



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

Deux étapes historiques :

1957 : création du Centre Technique des Tuiles et Briques (CTTB), à l'initiative des industriels de la terre cuite.

En 50 ans, le CTTB a acquis une réputation européenne dans son domaine, grâce à une palette de services étendue et un partenariat de proximité avec son secteur.

2007 : le CTTB devient le CTMNC (Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction) suite à la création d'un département Pierre Naturelle ou ROC (Roches Ornementales et de Construction), qui partage avec le département Terre Cuite des moyens communs. C'est aussi l'année de la création de l'antenne de Limoges au sein de la technopole Ester.

Statut juridique :

Un statut juridique de CTI (Centre Technique Industriel) qui vient d'un arrêté ministériel du 31 décembre 1957, cadré par la loi n° 48-1228 du 23 juillet 1948 ; les dispositions de cette loi ont depuis été intégrées au Code de la recherche, selon les articles L 521-1 à L521-13 de l'ordonnance n° 2014-135 du 17 février 2014.

Un pôle d'expertise technique reconnu :

Le CTMNC œuvre pour et avec les professions **Terre Cuite et Pierre Naturelle**. C'est une véritable interaction continue qui s'exerce au sein :

- des Commissions terre cuite (organisées par la Fédération Française des Tuiles et Briques),
- des Groupes de travail dédiés,
- de grandes manifestations professionnelles (salons, congrès et conférences scientifiques).

Cette relation étroite avec les professionnels permet au CTMNC d'adapter sans cesse ses axes de recherche.

Gouvernance et budget :

Les activités du CTMNC sont pilotées par un **Conseil d'Administration** (CA) composé d'un collège de chefs d'entreprises, de personnalités qualifiées, et de représentants des salariés. Le Commissaire du Gouvernement et le Contrôleur général économique et financier ont droit de veto au CA. Le CTMNC est sous la tutelle du Ministère de l'Économie et des Finances.

Le Conseil d'Administration est conseillé par **deux Comités Techniques et Scientifiques** (CTS), responsables de l'évaluation de la qualité scientifique des travaux du CTMNC, du choix des grandes orientations techniques à moyen et long terme, et des arbitrages budgétaires en matière de Recherche & Développement.

Le CTMNC rend compte de ses résultats, pour son activité terre cuite, auprès de différentes Commissions techniques de la profession (Commissions Tuiles terre cuite, Briques de structure, Briques apparentes de terre cuite, Environnement...).

Son activité institutionnelle, importante, permet au CTMNC d'accomplir les différentes missions qui relèvent de son statut juridique de CTI.

Le **budget** du Centre provient pour 2/3 de Taxes Fiscales Affectées (TFA) et pour 1/3 de prestations commerciales (essais sur produits et ouvrages, expertises, formation, etc.).

ACTUALITÉS

DE NOUVEAUX LOCAUX PERFORMANTS POUR L'ÉQUIPE R&D DU CTMNC À LIMOGES

Le CTMNC était installé dans la Coupole d'Ester Technopole depuis 2006. Progressivement, du fait du développement des équipements et de l'accroissement des effectifs, l'espace est venu à manquer pour un fonctionnement optimal des activités. Par ailleurs, une rénovation lourde du bâtiment du pôle Ester était programmée et, à terme, il n'était pas envisageable de continuer d'accueillir des activités de laboratoire dans le bâtiment rénové ; il était donc temps de trouver un espace adapté et plus spacieux.



Collaborateurs du CTMNC sur
le nouveau site de Limoges

Après de nombreuses recherches, et profitant de la disponibilité des locaux du bâtiment CERINNOV situé à proximité, le CTMNC a décidé d'y transférer ses installations en début d'année 2022.

Avec l'aide des Services généraux du site de Clamart, l'équipe de Limoges s'est fortement impliquée (notamment la Responsable du laboratoire et le Responsable du site) pour mener à bien l'élaboration du Cahier des charges fonctionnel en janvier, et le suivi des travaux, réceptionnés fin septembre.

En octobre, le démontage, le déménagement et le remontage des équipements, opérations sensibles et complexes, se sont effectués sans encombre, grâce à la collaboration active et le professionnalisme de tous.

Ces nouveaux locaux permettent une amélioration des conditions de travail et des activités de R&D plus efficaces, au bénéfice des industriels :

- Une surface totale passant de 400 à 730 m²,
- Un espace de laboratoire beaucoup plus fonctionnel, avec une zone de stockage contiguë facilitant les approvisionnements,
- Une plus grande capacité d'accueil de nouveaux collaborateurs, stagiaires ou étudiants thésards.

L'inauguration des nouveaux locaux a eu lieu le 31 janvier 2023, en présence de nombreux invités, dont des représentants de la Région et de la Ville de Limoges, et des industriels.

ACTUALITÉS



Olivier Chèze
DG adjoint Pierre Naturelle
du CTMNC

UN NOUVEAU DIRECTEUR GÉNÉRAL ADJOINT EN CHARGE DU DÉPARTEMENT ROC

L'année 2022 a été marquée par le départ à la retraite de Didier Pallix, DG adjoint au Département Pierre Naturelle. Olivier Chèze, qui a déjà travaillé au service de la filière, est son successeur.

Après un parcours dédié à la pierre dans l'industrie des Roches Ornamentales et de Construction (ROC), chez ROCAMAT notamment, Didier Pallix est devenu Directeur du Département ROC du CTMNC, à sa création en 2007. En grande partie grâce à lui, le Centre technique est devenu un vecteur fort de développement de l'activité de la filière Pierre Naturelle.

Ses connaissances, ses initiatives et ses propositions ont permis de mener à bien un très grand nombre d'actions concrètes, entre autres :

- La veille normative aux niveaux national et européen,
- Le suivi des activités du laboratoire COFRAC et des essais normalisés sur pierres naturelles,
- La conception de la base de données « Lithoscope »,
- La mise en place de Journées Techniques ROC très appréciées chaque année,
- De nombreuses communications au service de la filière : articles, ouvrages, conférences, formations, et la lettre d'information « Blog de Pierre »,
- Des activités de Recherche & Développement autour de la thermique, de la sismique, de la résistance au feu, du recyclage et du réemploi,
- La création et le développement d'un réseau de relations pérennes avec plusieurs laboratoires universitaires, d'autres Centres techniques comme le CERIB et le FCBA, et des laboratoires institutionnels tels que le CSTB, le BRGM, le LRMH, etc.

Le CTMNC le remercie grandement pour tout ce qu'il a apporté au Centre et à la filière Pierre Naturelle.

Le 2 mai 2022, Olivier Chèze a rejoint le CTMNC pour lui succéder. Il connaît bien le Centre technique pour y avoir travaillé comme Chef de projets de 2010 à 2015. Il y revient conscient des enjeux environnementaux au cœur du secteur de la construction, et convaincu que la pierre naturelle a toute sa place dans cette évolution majeure.

La filière ROC poursuit ses efforts pour la reconnaissance des nombreuses qualités des produits en pierre naturelle, qui doivent rester visibles. Elle œuvre activement à prouver son aptitude à répondre aux nouvelles exigences de l'acte de construire, et agit concrètement sur les terrains du développement durable et de l'innovation. Le CTMNC est l'instance dédiée pour l'accompagner dans ses missions, comme trait d'union reconnu entre entreprises et institutions scientifiques.


ACTUALITÉS

« MIXINOV » OU LES QUATRE NOUVELLES PLATEFORMES TECHNOLOGIQUES DE L'INSTITUT CARNOT MECD

Fort des compétences reconnues, des moyens de recherche et des équipements d'expérimentation de ses organismes membres, l'institut MECD ⁽¹⁾ a développé 4 plateformes de recherche technologique. Conçues autour de thématiques transversales, elles sont opérationnelles, et désormais regroupées sous l'identité « MIXINOV ».

NOS OFFRES MIXINOV


Les offres Mixinov regroupent les principaux services que MECD peut apporter aux acteurs de la construction. Via un guichet unique, nous mobilisons les compétences de chacun de nos partenaires pour vous aider à tirer le meilleur parti de l'association des différents matériaux de construction.



Durabilité

Expertise de tout phénomène de dégradation et de vieillissement des ouvrages mono et multi-matériaux.


VOIR L'OFFRE



Structures et constructions

Expertise du comportement des structures et des constructions multi-matériaux innovantes, en utilisation normale et accidentelle.


VOIR L'OFFRE



Confort des usagers et enveloppe du bâtiment

Aide à la conception des enveloppes de bâtiments performantes pour des gains énergétiques et un confort de haut niveau.

VOIR L'OFFRE



Économie circulaire

Solutions efficaces aux problématiques environnementales du secteur de la construction.

VOIR L'OFFRE

Aperçu de l'offre « MIXINOV » sur le site Web mecd.fr

MIXINOV **Durabilité** :

- Caractérisation des agressions environnementales
- Diagnostic de la corrosion sur les structures
- Durabilité et résilience des assemblages

MIXINOV **Structures & Constructions** :

- Produit ou solution constructive innovant(e)
- Dimensionnement et diagnostic d'ouvrage
- Surélévation et réhabilitation.

MIXINOV **Confort des usagers & Enveloppe du bâtiment** :

- Analyse multicritère d'une opération de rénovation
- Évaluation des performances hygrothermiques
- Solutions pour minimiser les îlots de chaleur.

MIXINOV **Économie circulaire** :

- Déconstruction-Valorisation
- Eco-produits
- Eco-ouvrages.

Au sein de MECD, le travail en commun se poursuit sur d'autres thématiques : d'autres offres et cibles potentielles (Concept Lab ; BIM ; Industrie du futur) sont à l'étude. Les plateformes « MIXINOV » sont aussi, opportunément, le moyen de faire vivre une communauté de chercheurs, et deviennent le berceau d'échanges pour monter des projets collaboratifs.

1 – L'institut MECD (Matériaux et Equipements pour la Construction Durable) est une alliance de 6 expertises et compétences au service de la mixité des matériaux, usages, constructions, ouvrages – www.mecd.fr.

ACTUALITÉS

INVESTISSEMENT DU CTMNC POUR UNE SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE DE SES INSTALLATIONS À CLAMART

De juillet à septembre 2022, le remplacement des chaudières a été réalisé sur le site du CTMNC à Clamart. Un budget de 155 k€ avait été alloué à ce projet, destiné à réaliser des économies d'énergie et à améliorer le confort thermique des salariés. Le projet a été éligible à la valorisation des CEE.

Le chantier de remplacement des trois chaudières existantes par deux chaudières gaz à condensation et à haut rendement, pour une puissance cumulée de 500 kW, a été mené à terme cette année 2022. Les nouvelles chaudières, avec une régulation en cascade, pourront tenir compte de la future rénovation thermique de l'enveloppe du bâtiment, qui contribuera à diminuer les besoins en chauffage du Centre technique. La cascade permettra d'alterner le fonctionnement de ces nouveaux équipements et d'allonger leur durée de vie. À terme, après les travaux d'isolation prévus, il est vraisemblable qu'une seule des deux chaudières suffise à la production de chaleur nécessaire.

Par ailleurs, le remplacement progressif des plafonniers à tubes fluorescents par des pavés LED vise, lui, à réduire les consommations électriques d'éclairage. Il s'est poursuivi sur le site au cours de cette année 2022.

Enfin, une étude thermique, avec simulation thermique dynamique, sera réalisée en 2023.



Vues sur les deux chaudières gaz du CTMNC, à Clamart

ACTUALITÉS

ABOUTISSEMENT D'UN PROJET COLLECTIF POUR LA MISE EN PLACE DU « LIMS »

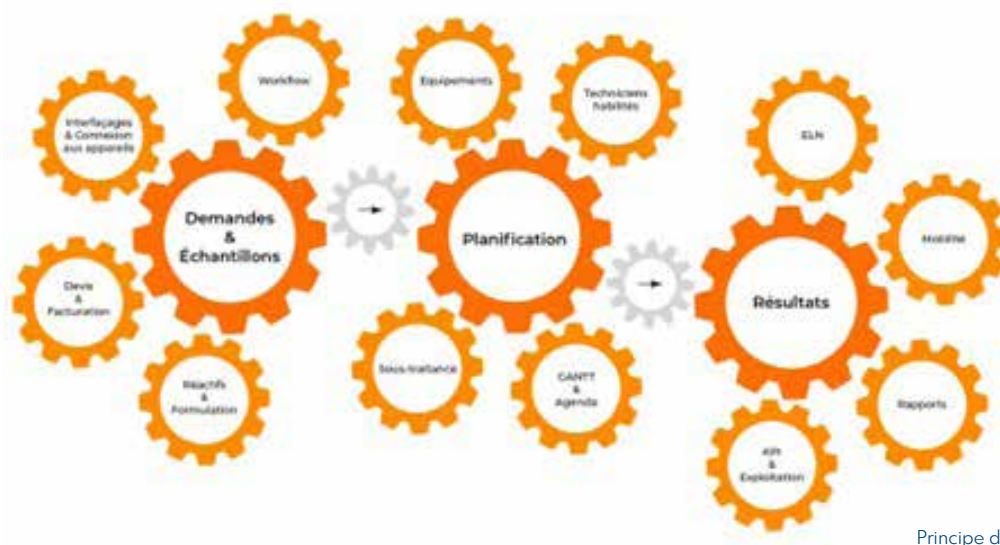
En 2022, les équipes du CTMNC ont mené à terme le projet de mise en place d'un système d'information efficace intégrant tous les processus d'informations liés aux analyses et aux essais commerciaux.

Le « LIMS » (*Laboratory Information Management System*) permet une gestion efficace des activités d'un laboratoire : il collecte, stocke, analyse et partage toutes les données relatives aux tests et aux analyses effectués sur les produits, depuis la réception des échantillons jusqu'à l'envoi du rapport au client. En temps réel, les Responsables d'essais peuvent ainsi accéder à ces données.

Le « LIMS » vise également à gérer plus efficacement les ressources humaines et matérielles du laboratoire. En effet, l'outil facilite la gestion des plannings, de la métrologie des instruments de mesure, des stocks de fournitures, et des équipements. La communication avec les clients est rendue plus aisée, puisque les équipes peuvent visualiser les délais automatiquement et à tout moment.

Enfin, le « LIMS » permet un suivi plus efficace des informations nécessaires au maintien des agréments et des accréditations du CTMNC, en stockant les données relatives aux procédures et aux normes en vigueur pour les essais et les analyses. Le CTMNC peut ainsi se conformer, plus facilement, aux exigences techniques des organismes extérieurs (AFNOR, CSTB, COFRAC, MTES...).

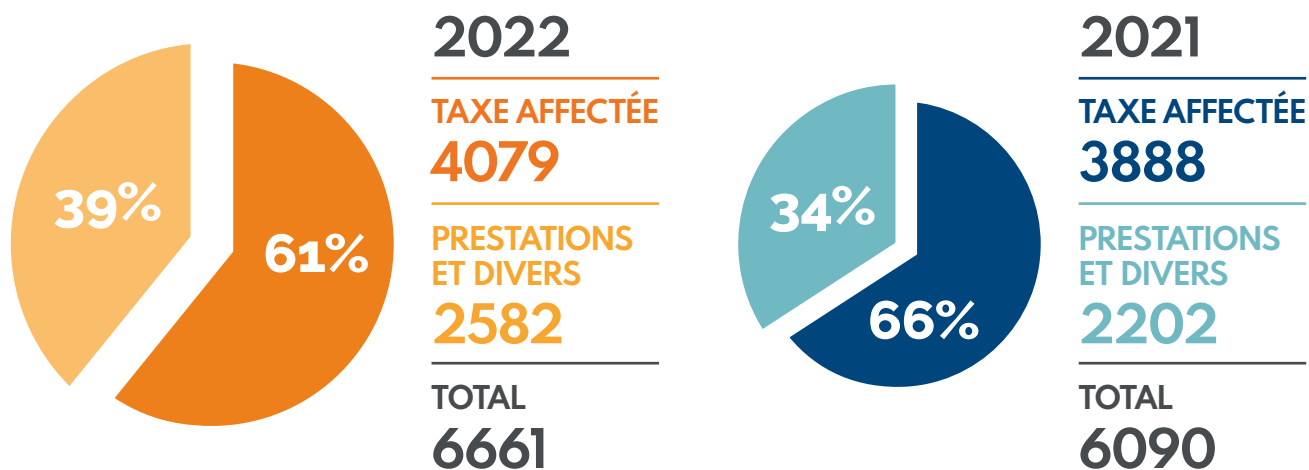
L'objectif de cette acquisition est, pour le CTMNC, de contribuer à offrir un service plus efficace à ses clients.



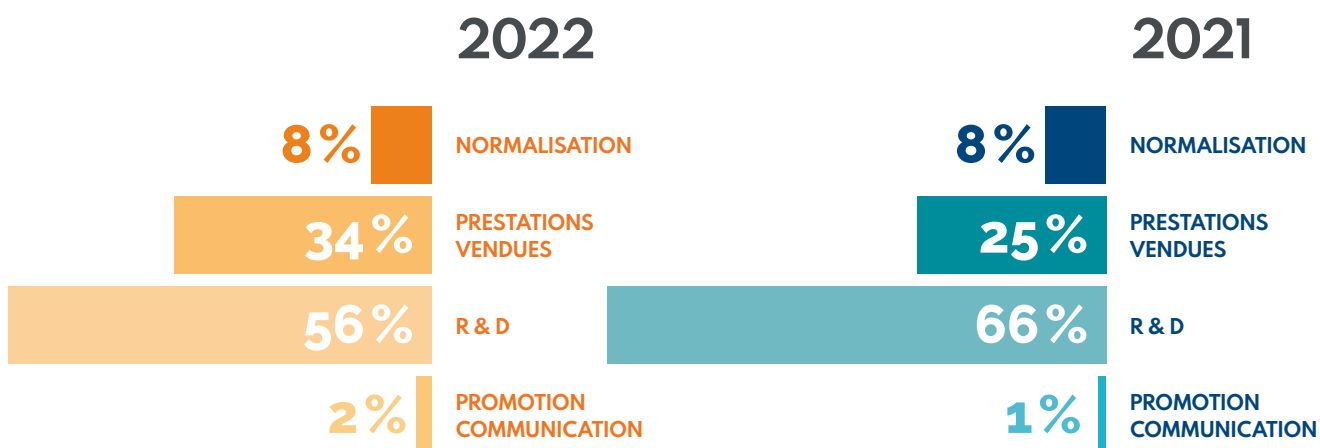
Principe du système de gestion des informations de laboratoire (Source : TEEXMA® - Bassetti)

COMPTES 2022

RÉPARTITION DES RECETTES D'EXPLOITATION (EN K€)



RÉPARTITION DES DÉPENSES EXTERNES D'EXPLOITATION SELON LA NATURE D'ACTIVITÉ



Les recettes de taxe affectée s'élèvent à 4 079 K€ en 2022, contre 3 888 K€ en 2021. Les prestations commerciales et les recettes diverses s'élèvent, quant à elles, à 2 582 K€ en 2022, contre 2 202 K€ en 2021.

Le CTMNC augmente son activité tant sur le plan institutionnel que commercial. La production vendue s'élève à 2 121 K€ en 2022, contre 1 993 K€ en 2021, soit une augmentation de 6,4 % par rapport à l'année précédente.

PRINCIPAUX RÉSULTATS : TUILES

ENRICHISSEMENT DU CORPUS TECHNIQUE DES BARDAGES EN TUILES DE TERRE CUITE

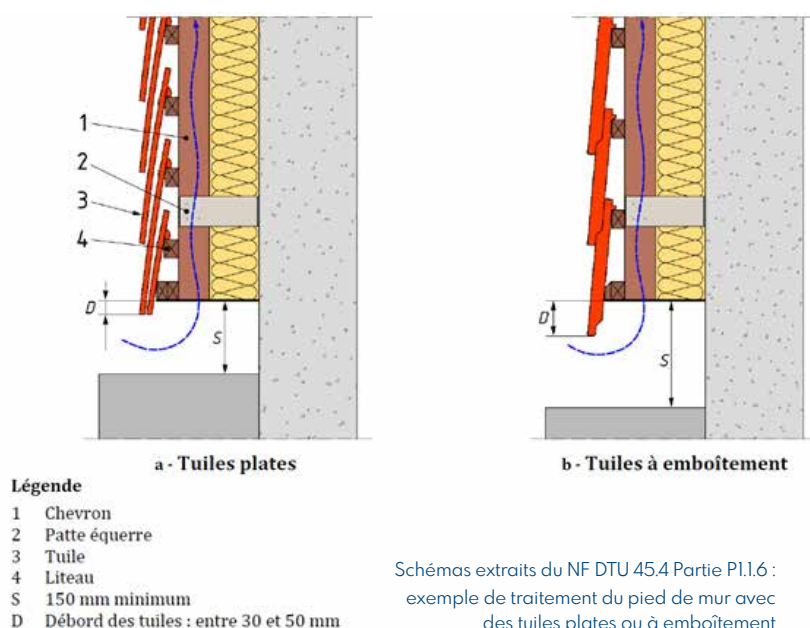
Le CTMNC et la filière Terre Cuite ont poursuivi leurs travaux visant à promouvoir et faciliter la mise en œuvre des bardages en tuiles de terre cuite sur différents supports structuraux.

En 2022, le CTMNC a participé à la rédaction du NF DTU 45.4 portant sur les systèmes d'Isolation Thermique par l'Extérieur (ITE) en bardage rapporté avec lame d'air ventilée. Cette contribution s'inscrit dans la continuité de ses travaux sur les Règles Professionnelles⁽¹⁾ pour la mise en œuvre des tuiles de terre cuite en bardage sur ossature bois et panneaux CLT, qui ont été validées par la C2P (Commission Prévention Produits mis en œuvre) en juillet 2021.

Le NF DTU 45.4 présente, sur plus de 300 pages, l'ensemble des parements disponibles sur le marché, mis en œuvre sur une structure en béton ou maçonnerie. Les experts de la filière et le CTMNC ont donc rédigé la Partie 1.1.6 du DTU, qui concerne la mise en œuvre des tuiles de terre cuite. Cette partie a été publiée par l'AFNOR en août 2022.

Le corpus technique et normatif du bardage en tuiles de terre cuite sur structure en béton ou maçonnerie s'étoffe donc, après celui du bardage en tuiles sur Construction à Ossature Bois (COB) et panneaux CLT.

Le CTMNC travaille actuellement avec le FCBA et le CODIFAB⁽²⁾ sur la faisabilité d'une étude du comportement du bardage en tuiles sur Façade à Ossature Bois. Une telle étude permettrait d'établir une deuxième version des Règles Professionnelles dédiées au bardage en tuiles de terre cuite sur constructions en bois.



1 - Voir aussi le Rapport d'activités 2021 du CTMNC, page 11.
Les Règles Professionnelles sont téléchargeables sur le site du CTMNC : www.ctmnc.fr.

2 - FCBA : Centre Technique et Industriel du bois.
CODIFAB : Comité professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois.

TUILES

POURSUITE DU PROJET EUROPÉEN LIFE « SUPERHERO » : ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE PAR RAFRAÎCHISSEMENT PASSIF DES TOITURES EN TUILES

En juillet 2020 est lancé le projet « SUPERHERO », cofinancé par le programme LIFE ⁽¹⁾ pour une durée de cinq ans. Dans ce cadre, un banc d'essai de caractérisation de la perméabilité à l'air d'une toiture en tuiles de terre cuite a été conçu en 2021. En 2022, le CTMNC a commencé des essais inter-laboratoires, afin de fiabiliser le test. Une méthodologie de l'essai a également été mise en place, pour constituer un document de référence.

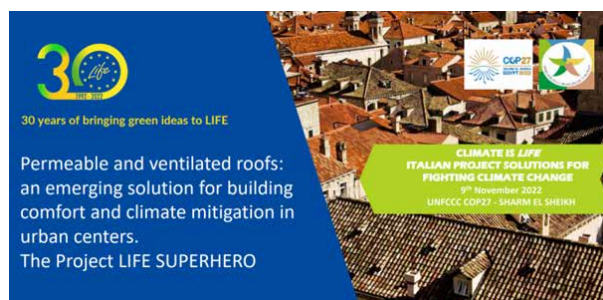
Le projet européen « SUPERHERO » a pour but de promouvoir une solution de rafraîchissement passif du bâtiment, en mettant en valeur les qualités intrinsèques de la tuile de terre cuite, ceci en développant le procédé conçu dans le cadre du projet « HEROTILE », dont ce projet est la suite logique.

L'année 2022 fut donc une année de continuité des travaux ; une première série de tuiles ont pu être testées dans le cadre d'une campagne d'essais inter-laboratoires, ceci en vue de fiabiliser le test.

Parallèlement, le consortium impliqué dans le projet a présenté « SUPERHERO » dans des salons et conférences internationales, notamment celle de la « COP 27 » ⁽²⁾, en novembre 2022, à Sharm El Sheikh (Egypte). Un site Internet permet de suivre les avancées du projet : www.lifesuperhero.eu.



Tuiles mises en œuvre sur le banc d'essai conçu pour « SUPERHERO » dans le cadre de la campagne d'essais inter-laboratoires



Présentation du projet LIFE « SUPERHERO » lors de la « COP 27 »

1 - Projet européen LIFE19 CCA/IT/001194 du 01/07/2020 au 30/06/2025. Voir aussi le Rapport d'activités 2021 du CTMNC, page II.

2 - « COP 27 » ou Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques (6-20 novembre 2022).

TUILES

MISE EN PLACE D'UN DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL PERMETTANT DE MESURER LES GAINS THERMIQUES ET ÉNERGÉTIQUES GÉNÉRÉS PAR DES PRODUITS DE TERRE CUITE TRAITÉS AVEC DES REVÊTEMENTS RAFRAÎCHISSANTS

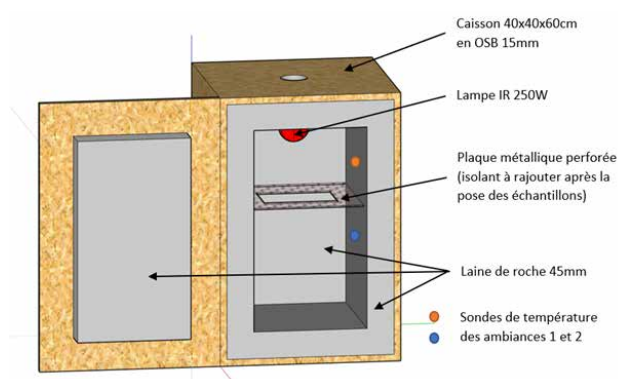
Le CTMNC a conçu un dispositif expérimental s'inscrivant dans le cadre de la lutte contre les îlots de chaleur urbains.

Les revêtements rafraîchissants pour les produits d'enveloppe (toitures et façades) sont expérimentés, depuis plusieurs années, sur de nombreux bâtiments, dans l'objectif double de réduire la consommation énergétique liée à la climatisation et d'améliorer le confort des occupants. Les zones urbaines présentent généralement des surfaces sombres et moins de végétation que les zones rurales : ces différences affectent le climat, l'utilisation de l'énergie et l'habitabilité des villes. À l'échelle du bâtiment, les surfaces foncées, exposées, deviennent chaudes et présentent des températures de surface élevées. En saison estivale, cela favorise la création d'îlots de chaleur, et accroît le recours à la climatisation.

Le dispositif expérimental du projet mené par le CTMNC vise à quantifier les flux de chaleur transmis à travers un produit de terre cuite pourvu d'un revêtement rafraîchissant, tout en mesurant ses températures de surface et interne. Ainsi une modélisation des gains thermiques et énergétiques pourra être recherchée, afin d'estimer les économies en consommation énergétique du fait de la climatisation, par exemple, ainsi que le flux de chaleur non renvoyés dans l'atmosphère lors des épisodes de chaleur.

Pour mesurer les évolutions thermiques et énergétiques dues à l'application de revêtements rafraîchissants sur des produits de terre cuite, le dispositif sera mis en service suivant un cahier des charges s'appuyant sur les solutions permettant de répondre aux différentes contraintes, telles que l'apport énergétique d'un élément chauffant, orienté vers le produit de terre cuite, et étudié de façon à favoriser l'énergie reçue et transmise. Les températures de surface et interne du produit testé seront mesurées, ainsi que la température de l'ambiance environnante.

Il est attendu que la température de surface diminue dans le cas des produits modifiés avec un revêtement rafraîchissant, et aussi que le flux de chaleur transmis à travers ceux-ci soit plus faible. En fonction des résultats obtenus, l'étude d'une corrélation entre ces derniers et le coefficient d'absorption solaire pourra être réalisée.



Principe du dispositif expérimental du CTMNC pour évaluer les gains thermiques et énergétiques induits par les revêtements rafraîchissants étudiés

TUILES

ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES TRAITEMENTS DE SURFACE CONVENTIONNELS SUR L'ADHÉRENCE DES TUILES LIÉES PAR COLLAGE, ET SUR LEURS PROPRIÉTÉS

Depuis 2021, le CTMNC conduit, parallèlement, deux études visant, d'une part, à évaluer les performances de collage des tuiles de terre cuite avec des traitements de surface conventionnels et, d'autre part, à estimer l'impact de ces traitements de surface sur les propriétés optiques et hydriques des produits de terre cuite.

Les tuiles dites « siliconées » ont des conditions de mise en œuvre particulières pour leur scellement : ainsi, selon le DTU 40.22 ⁽¹⁾, un mortier bâtard adjuvanté doit nécessairement être utilisé. Dans le cadre de la révision de la certification NF 063, le CTMNC mène une étude pour confirmer ou infirmer ces conditions de scellement particulières.

Les tuiles sont dites « siliconées » lorsqu'elles présentent un traitement de surface aux propriétés hydrophobes. Cependant, le terme « siliconé » est très réducteur, puisqu'il existe une variété de produits hydrofuges de natures chimiques différentes :

- Produits hydrofuges à base d'un réseau tri-dimensionnel de liaisons Si-O (silane, siloxane, silicate...),
- Produits hydrofuges sous forme de résines (résine fluorée, acrylique, polyuréthane...),
- Produits hydrofuges sous forme de cires (cires naturelle, synthétique, minérale...).

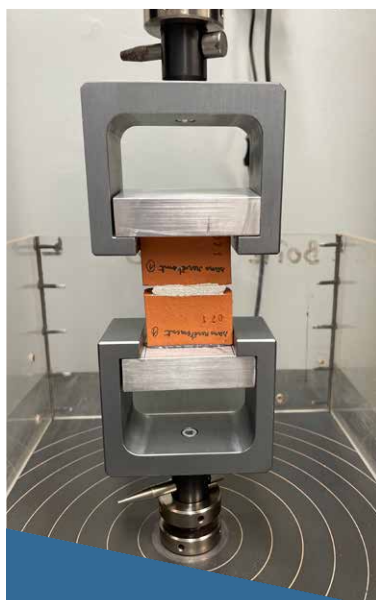
Dans le cadre de cette étude, le CTMNC a mis au point un essai de traction directe permettant d'évaluer la résistance à l'arrachement d'un assemblage composé de deux éprouvettes de terre cuite, présentant un traitement de surface ou non, scellées entre elles à l'aide d'un mastic-colle, d'un mortier bâtard à base de chaux aérienne, d'un mortier bâtard à base de chaux hydraulique, ou d'un mortier bâtard à base de chaux aérienne adjuvanté.

Les premiers essais réalisés avec des éprouvettes hydrofugées, scellées avec du mastic-colle, ont montré que la présence d'un hydrofuge ne diminuait pas systématiquement la résistance à l'arrachement de l'assemblage, par rapport à des éprouvettes non hydrofugées. En effet, la valeur de la contrainte à la rupture moyenne varie de 0,73 à 0,82 MPa, alors que celle obtenue pour les échantillons témoins sans hydrofuge est de 0,76 MPa. Seule la nature de la rupture – cohésive ou adhésive – variait en fonction de la nature de l'hydrofuge appliqué.

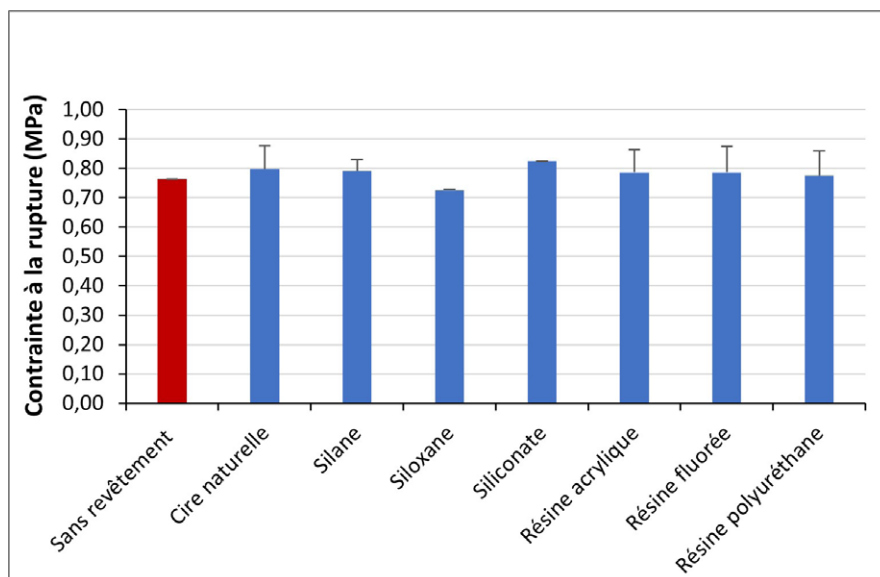
En revanche, les essais d'arrachement menés sur des éprouvettes hydrofugées scellées entre elles avec un mortier bâtard n'ont pas permis de mettre en évidence un éventuel impact des hydrofuges étudiés, les résultats obtenus présentant une trop grande dispersion. Les essais seront ainsi multipliés pour consolider ces premières constatations.

1 - DTU 40.22 (norme NF P31-201-1/A4 d'octobre 2010) : « Travaux de bâtiment - Couvertures en tuiles canal de terre cuite - Partie 1 : cahier des clauses techniques ».

TUILES



Éprouvette scellée avec du mortier bâtard à base de chaux hydraulique, installée sur la machine de traction et prête à être testée



Histogramme présentant les contraintes de rupture mesurées lors de l'essai de traction réalisé sur les éprouvettes hydrofugées, scellées avec du mastic-colle

Parallèlement, les propriétés intrinsèques des tuiles possédant un traitement de surface, hydrophobe ou non, ont été analysées et caractérisées : l'objectif a été de déterminer dans quelle mesure les traitements de surface influencent les propriétés de circulation d'eau dans les tuiles, et leurs caractéristiques optiques.

Les essais réalisés ont permis de vérifier les effets perlants et bloquants conférés par les hydrofuges, caractérisés par une augmentation de l'angle de contact statique et une baisse des perméabilités à l'eau liquide et à la vapeur d'eau. En revanche, l'intensité de ces effets est variable selon la nature de l'hydrofuge (réseaux 3D Si-O, résines, cires).

Enfin, les résultats obtenus ont montré l'absence d'impact des traitements de surface étudiés sur la résistance des échantillons aux cycles de gel/dégel, ainsi que sur leurs caractéristiques optiques (coefficient d'absorption du rayonnement solaire, indice SRI, coordonnées colorimétriques).

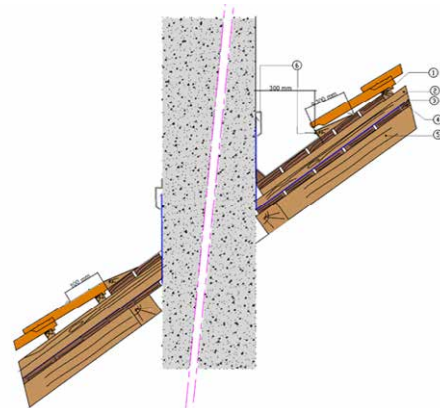
TUILES

UN GUIDE POUR LA MISE EN ŒUVRE DES TUILES EN MONTAGNE

La rédaction du nouveau « Guide de prescriptions pour la mise en œuvre des tuiles de terre cuite en climat de montagne » s'est achevée en 2022, après de longues années d'échanges et de contributions. Le document est destiné à servir de socle au futur projet de Règles Professionnelles.

Souhaitant promouvoir les tuiles certifiées NF 063 avec l'option « Montagne », le CTMNC et la filière Terre Cuite ont rédigé un guide de prescriptions pour leur mise en œuvre sur des constructions situées à une altitude élevée, pouvant aller jusqu'à 1500 mètres. Le document propose différentes solutions selon les caractéristiques de l'ouvrage et du site enneigé. Il réactualise ainsi le guide précédent, publié par le CTTB ⁽¹⁾.

Débuté par une enquête de terrain réalisée auprès des couvreurs en 2014, le travail technique a consisté à détailler, sur 50 pages, les préconisations de mise en œuvre du système de toiture en climat de montagne. Le guide prend en compte les dernières évolutions techniques et climatiques, ainsi que les savoir-faire spécifiques des couvreurs dans les différents massifs montagneux français. Les différents traitements des points singuliers (égouts, façades, rives...) y sont explicités et visualisés par des schémas détaillés.



Schémas extraits du guide de prescription des tuiles de terre cuite en climat de montagne :

- à gauche : principe du traitement de l'égout
- à droite : exemple du traitement d'une pénétration discontinue

- ① : linteau
- ② : Réhausse bois
- ③ : Etanchéité complémentaire
- ④ : Support continu bois
- ⑤ : Chevron
- ⑥ : Habillage métallique

1 - CTTB : Centre Technique des Tuiles et Briques.

PRINCIPAUX RÉSULTATS : BRIQUES DE STRUCTURE

THÈSE « ÉTUDE MULTI-ÉCHELLES DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE ET AU FEU DES MURS EN MAÇONNERIE MONTÉS AUX JOINTS MINCES »

Réalisée dans le cadre d'une collaboration entre le CTMNC et l'INSA de Rennes, cette thèse comporte plusieurs facettes : expérimentale, principalement, mais aussi numérique, multi-échelles (du matériau à la structure) et multi-physiques (couplages mécanique-thermique). Elle a été soutenue avec succès le 5 juillet 2022.

Le travail présenté dans cette thèse porte sur le comportement mécanique, et au feu, de murs en maçonnerie de terre cuite réalisés avec des joints minces en mortier-colle. L'objectif de ce travail est, d'une part, de caractériser le comportement à température ambiante, et à hautes températures, des constituants terre cuite et mortier de joint, ainsi que des assemblages à complexité croissante, afin de tracer l'effet d'échelle sur le comportement de l'ensemble (Cf. Figure 1). D'autre part, il s'agit de proposer des lois de comportement pour ces composants, et de les traduire dans un code par éléments finis, pour analyser le comportement global des murs exposés au feu.

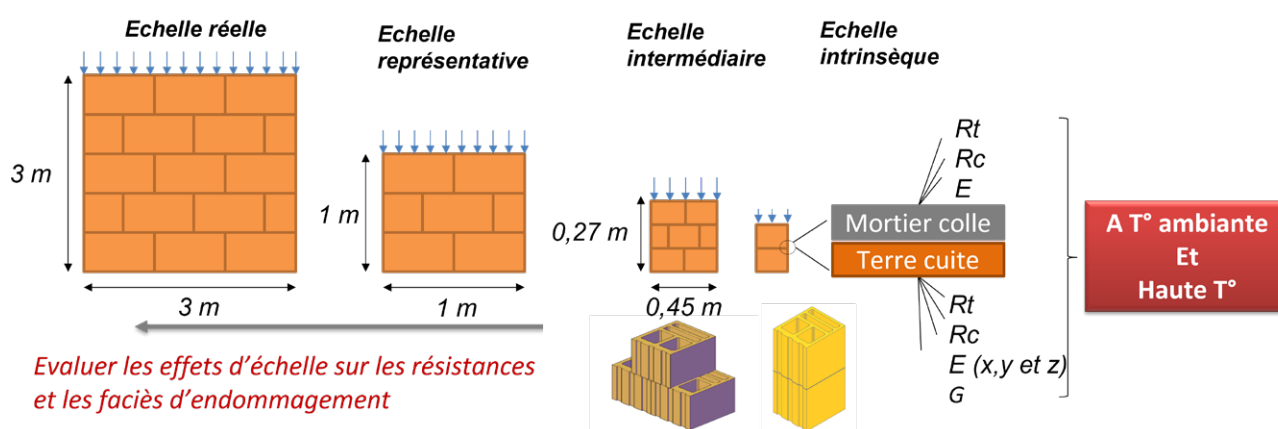


Figure 1 - Étude multi-échelles du comportement mécanique et au feu des murs en maçonnerie montés aux joints minces

La première phase de l'étude a été consacrée à la caractérisation des éléments constitutifs du mur (brique et mortier) à froid et à chaud, à l'échelle du matériau. Des essais statiques et dynamiques sur deux briques ont montré que la valeur du module de Young est la plus grande dans la direction de l'extrusion, tandis que les valeurs sont proches quand on considère les axes x et y . Ces résultats ont permis d'élaborer une loi de comportement transverse isotrope, pour la terre cuite.

Dans la deuxième phase, des investigations expérimentales sur des assemblages multi-échelles sont réalisées, afin d'évaluer la distribution des déformations, des contraintes et de l'endommagement, en fonction des effets structuraux et de l'impact de la concentration des contraintes. On constate une influence négligeable du joint mince sur la résistance en compression de l'assemblage, ainsi qu'une différence de 30 à 40 % environ, entre les résistances au cisaillement dans le plan et celle hors plan.

BRIQUES DE STRUCTURE

Dans la dernière phase de l'étude, à partir des observations et des résultats expérimentaux, des lois de comportement de la brique et du joint ont été établies. On a considéré que le comportement de la brique est transverse isotrope fragile, les directions perpendiculaires à la direction d'extrusion donnant des valeurs proches pour le module de Young. Pour décrire le comportement fragile de la brique, un code de calcul a été développé. Il tient compte des résistances à la traction et à la compression, et de leur évolution avec la température. En outre, comme la résistance et la raideur du joint sont différentes selon la longueur et la largeur de la brique, une loi de comportement élastique non-isotrope en termes de module de cisaillement - avec un module de Young unique, et différents modules de cisaillement -, a été élaborée. Cette loi intègre des seuils de rupture à la compression, à la traction et au cisaillement, ainsi que leur combinaison (Cf. Figure 2).

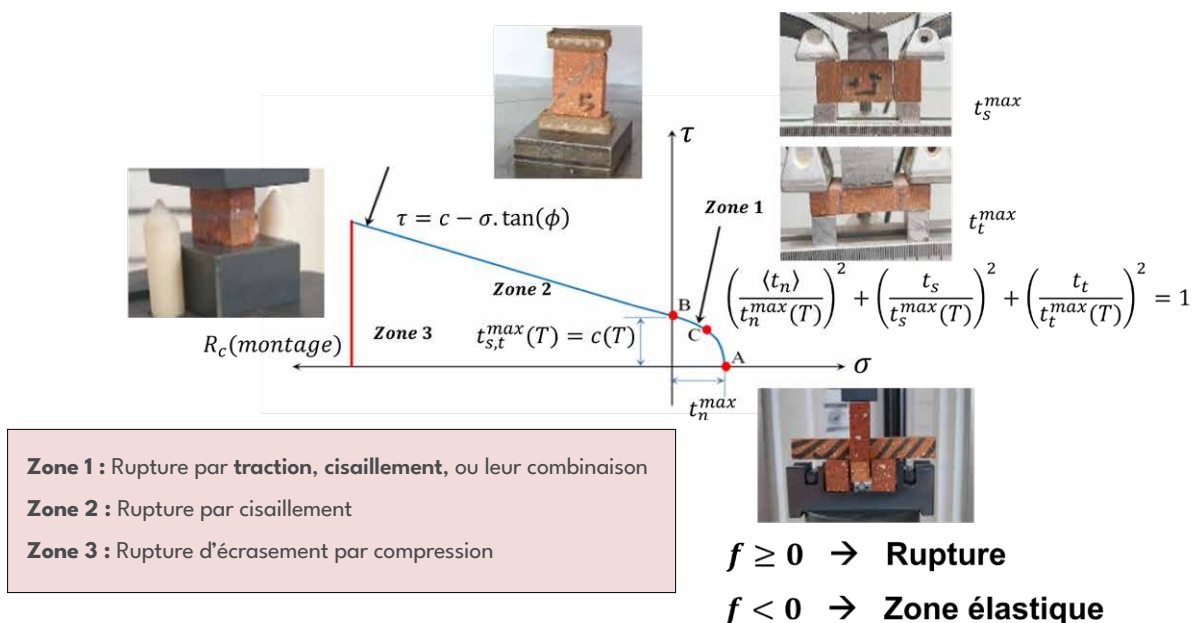


Figure 2 - Les différents critères d'endommagement du joint avec les essais associés pour l'identification de leurs paramètres

Pour étudier le comportement au feu de la brique, les distributions de contraintes et de déformations ont été examinées à différentes échelles, à partir de spécimens représentant la brique unitaire, le doublet de briques, et le muret, jusqu'à l'échelle du mur réel. On a ainsi observé que la rupture se produit par traction, et qu'elle se situe dans les jonctions entre les parois frontales et transversales (Cf. Figure 3).

Cette modélisation a permis d'évaluer la tenue au feu du mur en briques montées à joints minces jusqu'à l'apparition du premier écaillage. Les simulations sur la brique et sur le mur (à hauteur de la 9^{ème} rangée) donnent des tenues au feu comparables, ce qui est confirmé par des observations expérimentales. Après avoir effectué des calculs de validation, en tenant compte d'une certaine cohérence entre la brique et le mur, des études paramétriques sur briques sont actuellement menées, pour mettre en évidence les influences des caractéristiques mécaniques et géométriques sur le comportement thermomécanique global des murs.

BRIQUES DE STRUCTURE

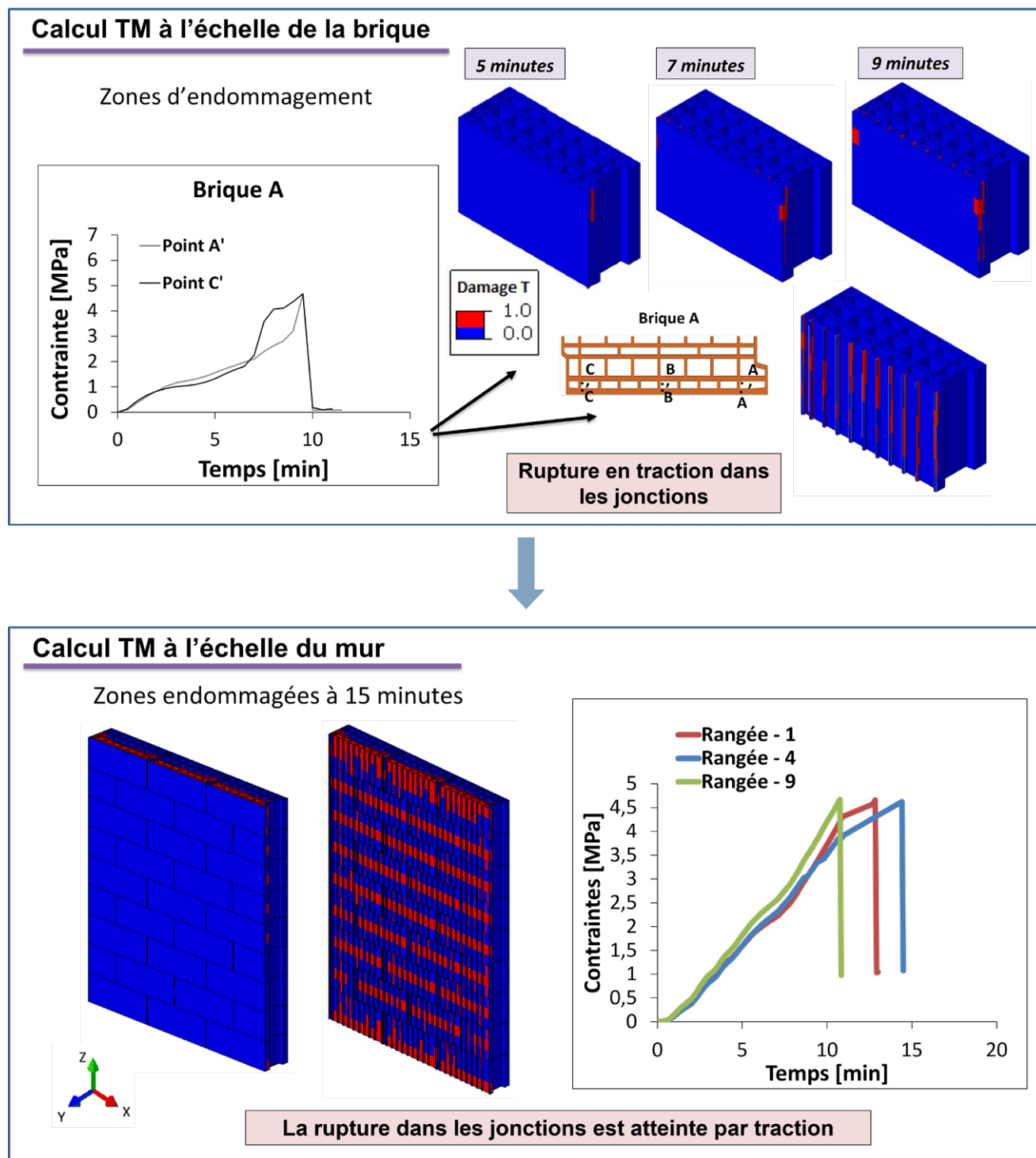


Figure 3 - Calcul thermomécanique à l'échelle de la brique et à l'échelle du mur - Tenue au feu jusqu'au premier écaillage

BRIQUES DE STRUCTURE

MÉTHODE D'ESSAI DE FLEXION DES PAROIS EXTERNES DES BRIQUES À BANCHER

Vers une nouvelle méthode d'essai simple et fiable, intégrée dans le référentiel NF 046 pour évaluer la capacité de résistance des briques à bancher, et assurer leur constance de performance en acrotères et murs fortement chargés.

Les briques à bancher de terre cuite sont des éléments alvéolaires perforés verticalement et pourvus de gorges à leurs extrémités pour former, une fois remplis de béton en place, des sections filantes pouvant être renforcées à l'aide d'armatures.

Le procédé est destiné à la réalisation de murs porteurs dans les bâtiments d'habitation individuelle ou collective (ERP, bureaux, bâtiments tertiaires, etc.), et d'acrotères hauts ou bas des toitures-terrasses accessibles ou non, de murs de soubassement, et de murs de soutènement.

Compte-tenu de l'intérêt croissant pour l'utilisation des briques à bancher en acrotères ⁽¹⁾ et murs fortement chargés - un dossier d'Avis Technique est en cours de préparation pour l'utilisation en murs -, il est nécessaire de mettre en place, en routine, une méthode d'essai simple et fiable, destinée à évaluer la capacité des parois des briques à résister à la pression du béton frais coulé dans les alvéoles.

Ainsi, deux modes opératoires détaillés ont été conçus : l'un ayant trait à la préparation des échantillons (Cf. Figure 1), l'autre à la méthode de réalisation des essais proprement dits (Cf. Figure 2), ceci pour évaluer la résistance à la traction par flexion des parois externes des briques à bancher, par le biais d'un essai de flexion trois points. Ces modes opératoires s'appuient sur les normes couvrant les blocs de coffrage en béton (NF EN 15435 : 2008), les briques (NF EN 772-1+A1 : 2015), et les tuiles en terre cuite (NF EN 538 : 1994).

La méthode d'essai a été validée sur la base de la réalisation, par différents opérateurs, d'un nombre défini de séries d'essais, afin de vérifier la répétabilité et la reproductibilité.

Les résultats obtenus ont montré l'homogénéité et la répétabilité de la méthode mise en place.

1 - Le nouveau DTA « Acrotères en briques à bancher de terre cuite » a été validé en 2022.

BRIQUES DE STRUCTURE



Figure 1 - Préparation des échantillons pour les essais de flexion sur parois de briques à bancher

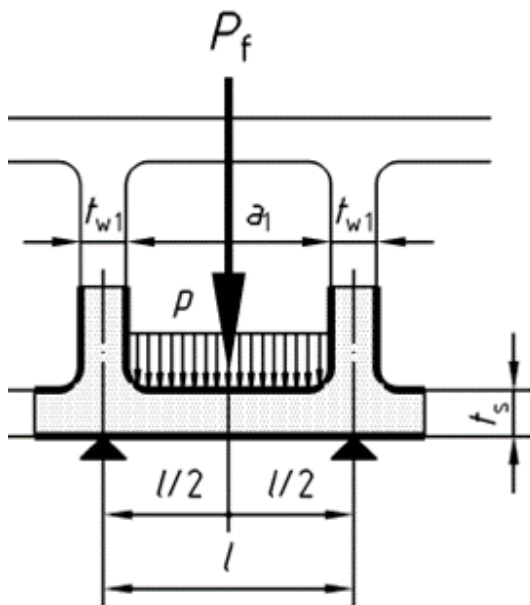


Figure 2 - Essais de flexion 3 points sur parois de briques à bancher

BRIQUES DE STRUCTURE

NOUVELLE MÉTHODE DE CALCUL NUMÉRIQUE DE LA CAPACITÉ THERMIQUE SURFACIQUE DES PAROIS HÉTÉROGÈNES

Cette nouvelle méthode de calcul numérique a été développée au sein de la Commission Th-Bât, avec la participation active du CTMNC. A la demande des Groupes de travail « Brique de structure » et « RE2020 » de la FFTB ⁽¹⁾, le Centre a mené une étude comparative pour évaluer l'impact de la méthode sur les indicateurs de la RE2020 concernés.

La capacité thermique surfacique joue un rôle majeur sur l'inertie thermique d'un matériau, ce qui impacte le confort d'été d'un bâtiment. La RE2020 en tient compte, notamment à travers l'indicateur Degrés Heures (DH).

L'étude menée par le CTMNC a porté sur quatre configurations de parois constituées de maçonnerie de terre cuite, et sur une configuration en ossature bois. La capacité thermique surfacique intérieure de chacune de ces configurations a été évaluée avec la méthode dite homogène - la plus utilisée actuellement par les bureaux d'études thermiques -, qui considère les parois comme des couches parallèles homogènes, et avec la nouvelle méthode, qui prend en compte l'hétérogénéité de celles-ci.

Les résultats obtenus ont ensuite été comparés, et ont permis le calcul de l'inertie thermique quotidienne, selon la méthode des points d'inertie de la RE2020. D'autres analyses des résultats sont envisagées pour 2023.

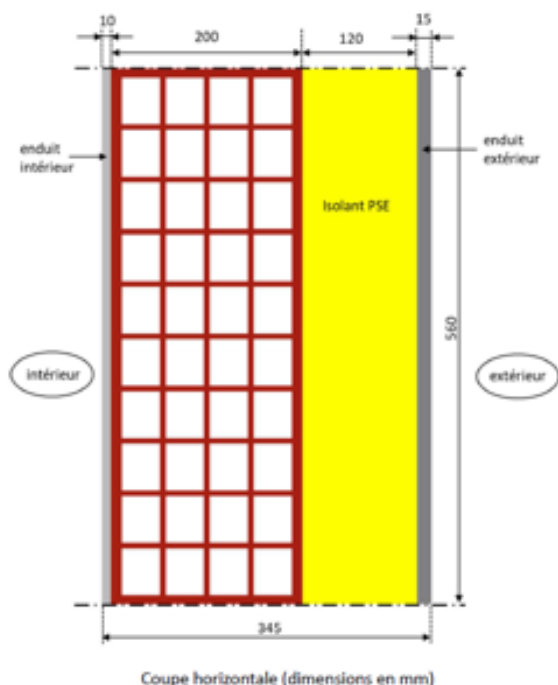


Figure 1 - Mur en briques avec ITE (hétérogénéité des éléments en terre cuite)

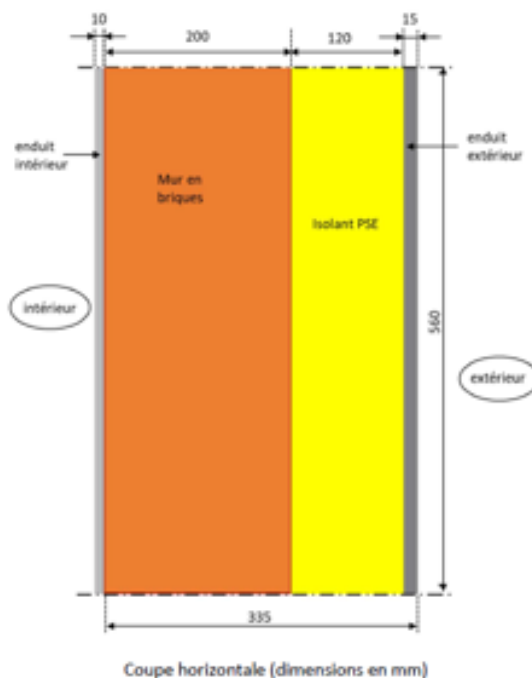


Figure 2 - Mur en briques avec ITE (couches parallèles homogènes)

1 - FFTB : Fédération Française des Tuiles et Briques.

BRIQUES DE STRUCTURE

RÉVISION DU DTA « ACROTÈRES EN BRIQUES À BANCHER »

Les toitures plates ou toitures-terrasses sont généralement pourvues d'acrotères assurant différentes fonctions : contribuer à l'aspect architectural du bâtiment, assurer le rôle de support d'isolant et d'étanchéité, faire office de garde-corps (pour les acrotères hauts), etc. Le Document Technique d'Application couvrant les acrotères en briques à bancher a fait l'objet d'une nouvelle révision.

La réalisation des ouvrages en briques à bancher de terre cuite (briques remplies de béton coulé en place) vise à uniformiser le substrat (support d'enduit), par rapport à la partie sous-jacente du bâtiment en briques alvéolaires (briques à perforations verticales). Ceci participe à l'uniformisation des contraintes générées par les variations thermo-hydriques.

Le procédé est utilisable pour la réalisation d'acrotères bas ou hauts (d'une hauteur allant jusqu'à 1,60 m) pour les bâtiments d'habitation et les bâtiments tertiaires situés à une altitude inférieure à 900 m, y compris en zones sismiques (zones 1 à 4). Le hourdage des blocs à bancher peut se faire à joints minces ou à joints traditionnels.



Acrotère haut en briques à bancher de terre cuite
(avant enduction)



Acrotère bas en briques à bancher
avec finition et garde-corps métallique

L'Avis Technique couvrant le procédé (ATec n° 16/14-701_v2) a été reconduit au mois de juin 2022, pour une durée de 7 ans (validité jusqu'au 30 juin 2029). Plusieurs dizaines d'opérations ont été réalisées avec ce procédé depuis son lancement, sur l'ensemble du territoire français.

PRINCIPAUX RÉSULTATS : PAREMENT

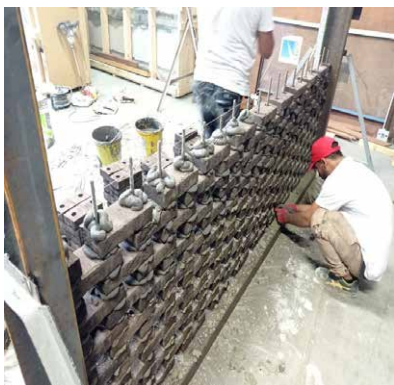
CAMPAGNES D'ESSAIS POUR LE DIMENSIONNEMENT DES MAÇONNERIES DÉCORATIVES DU TYPE MOUCHARABIEH

Le CTMNC et les fabricants de briques apparentes de terre cuite ⁽¹⁾ travaillent à l'élaboration d'un guide de conception des maçonneries décoratives. Différents professionnels du secteur de la construction, rassemblés dans un Groupe de travail dédié, collaborent au projet : FFB-UMGO, CAPEB, bureaux de contrôle, architectes, fabricants d'accessoires, entreprises...

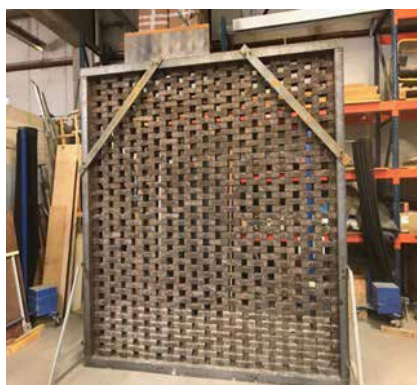
La première partie du projet de guide aborde le cas des moucharabiehs dits ordinaires (maçonneries ajourées, constituées de briques apparentes, sans structure de renfort), et celui des moucharabiehs renforcés à l'aide d'aciers traversants.

Elle traite également le cas des maçonneries comportant des éléments disposés en saillie ou en retrait, par rapport au plan du mur.

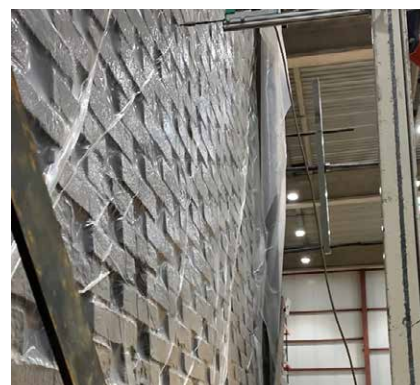
Afin de déterminer la capacité de reprise d'efforts latéraux (chargement dû au vent) d'un moucharabieh renforcé, une campagne d'essais de type AEV a été réalisée chez GINGER CEBTP (essais de résistance au vent en dépression statique sur la base du Cahier du CSTB n° 3517), en collaboration avec le GIE Briques apparentes de terre cuite (GIE BATC).



Vue de la maquette de moucharabieh en cours de montage



Aspect de la maquette finie



Vue de la maquette de moucharabieh renforcé à l'issue de l'application de la charge maximale de 700 daN/m²

La maquette de moucharabieh, de dimensions 3 m x 3 m, a été montée dans un cadre métallique rigide. Le recouvrement des briques a été fixé au tiers de la longueur de celles-ci (recouvrement de L/3). Le renforcement a été réalisé à l'aide de tiges en acier, de diamètre $\phi 12$, ancrées en pied et en tête. Le hourdage des briques (montage à joints traditionnels) et le scellement des aciers de renfort ont été réalisés au mortier de ciment Portland (mortier de type M 20).

Au terme de la période de séchage ($t \geq 28$ jours), la maquette a été recouverte d'un film plastique, de manière à lui transmettre une charge maximale, par le biais du banc d'essai. Une dépression croissante lui a été appliquée jusqu'au seuil maximal de l'équipement utilisé : la valeur de 7 000 Pa (soit 700 daN/m²) a été atteinte sans que la rupture ne se produise. Cette valeur de résistance permet de définir, après pondération, le domaine d'emploi en fonction des charges de vent calculées sur la base de l'Eurocode 1 Partie 4 (NF EN 1991-1-4).

¹ - Réunis au sein du GIE BATC.

RESSOURCER LA MIXITÉ AVEC LE PROJET « WOODSTONE » DE MECD

L'un des leviers de la construction bas carbone est la mixité des matériaux, en particulier l'association de matériaux biosourcés et de matériaux géo-sourcés, qui permet de profiter des qualités intrinsèques de chacun d'entre eux. Les acteurs du bâtiment manifestent de plus en plus leur intérêt pour des solutions constructives mixtes, notamment celles associant le bois à la terre cuite, à la terre crue, ou bien à la pierre naturelle. Le projet « WoodStone » de MECD ⁽¹⁾ répond à cette attente.

Les solutions multi-matériaux naturels intéressent ingénieurs et architectes, aussi bien pour leurs caractéristiques techniques et environnementales, que pour leurs qualités esthétiques. La solution COB (Construction sur Ossature Bois) et briques apparentes présente l'avantage de pouvoir également être associée à un matériau de remplissage biosourcé, qui apporte les propriétés thermiques, hydriques et acoustiques attendues pour l'ouvrage final.

Dans ce cadre, le CTMNC (Terre cuite & Pierre naturelle), le FCBA ⁽²⁾ et l'Institut Pascal, membres du l'Institut Carnot MECD, se sont accordés pour monter un projet de ressourcement, d'une durée de deux ans. Baptisé « WoodStone », son objectif est d'apporter des réponses aux problématiques techniques freinant le développement des murs en briques apparentes sur structures à ossature bois.

L'accueil très favorable rencontré auprès des professionnels s'explique par le contexte de la révision du NF DTU 20.1 ⁽³⁾. En effet, dans la version révisée du texte, les chapitres décrivant les ouvrages de murs doubles en briques, ou en pierre naturelle, sur COB ont été supprimés lors des travaux de révision menés au sein de la Commission BNTEC/PIOA ⁽⁴⁾.

Pour conserver ce type d'ouvrages dans le domaine traditionnel, il est prévu de fournir des précisions techniques complémentaires, notamment sur :

- les modes de fixation des menuiseries,
- les types d'attaches ou de tiges anti-dévers compatibles avec les procédés visés,
- la densité et les distributions horizontale et verticale des attaches, et leur capacité de reprise d'efforts en traction et en compression,
- le traitement des pourtours de baies au regard des contraintes d'étanchéité à l'air et à l'eau,
- la gestion des percages éventuels des films pare-vapeur ou pare-pluie,
- les dispositions et les traitements en pied et en tête des murs,
- les dispositions à prévoir vis-à-vis du risque incendie,
- les dispositions relatives aux barrières anti-termites...

Afin de fournir des réponses appropriées, les fabricants de briques apparentes et le CTMNC se sont investis en amont du projet. En 2023, ils fourniront des matériaux et participeront au montage de différentes maquettes d'essais, sur lesquelles différents tests sont prévus (essais de déformation, d'étanchéité, etc.).

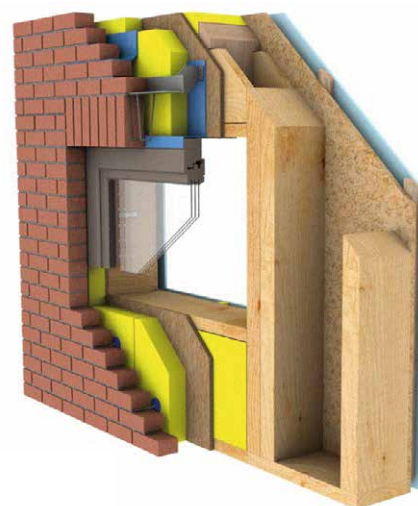


Illustration d'un mur double en briques de terre cuite sur ossature bois avec isolant
(Source : CSTC-Contact 2017/4)

1 - Institut Carnot MECD ou Matériaux et Equipements pour la Construction Durable.

2 - FCBA : Centre Technique et Industriel du bois.

3 - NF DTU 20.1 : 2008 « Ouvrages en maçonnerie de petits éléments-parois et murs ».

4 - La Commission de normalisation P10A du BNTEC est dédiée à la maçonnerie de petits éléments.

PRINCIPAUX RÉSULTATS : PIERRES NATURELLES

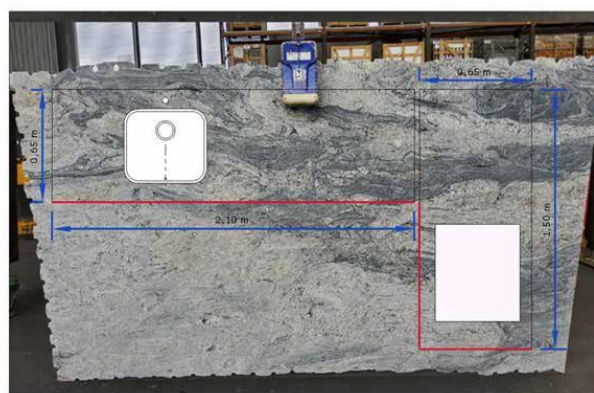
GROUPE DE TRAVAIL « MARBRERIE » : LA RÉDACTION DU GUIDE « MISE EN ŒUVRE » PROGRESSE

Le GT « Marbrerie » du CTMNC poursuit son travail de rédaction d'un guide de mise en œuvre des plans de travail en marbrerie de décoration.

Ce guide « Mise en œuvre » fournira des préconisations pour la fabrication, la conception et l'installation des produits en marbre, qui rentrent dans la composition des ouvrages suivants :

- Plans de travail de cuisine, dosserets et dessus d'îlots autoportants,
- Plans-vasques de salle de bain,
- Comptoirs, dessus de bar, dessus de service et tables de restaurant,
- Dessus des comptoirs de réception, plateaux de bureaux.

Il vise à aider les professionnels à concevoir, sélectionner, transformer, et mettre en œuvre, ces produits de pierre naturelle d'épaisseur inférieure à 80 mm.



— CHANT POLI — DIMENSIONS (EN MÈTRES)
Marquage d'un plan de travail sur la tranche d'un marbre
(Droits photo : Spadaccini / Marbrerie Roth)

UN GUIDE SUR LES GRAVURES DE MONUMENTS FUNÉRAIRES ET CINÉRAIRES EN PIERRE NATURELLE

Le Groupe de travail « Funéraire » du CTMNC a terminé, fin 2022, son travail de rédaction d'un guide dédié aux inscriptions et aux ornements gravés sur monuments funéraires et cinéraires en pierre naturelle.

Ce nouveau guide traite des inscriptions et/ou ornements funéraires, réalisées au moyen de gravures. Il vise à présenter les techniques traditionnelles, pour les conserver et les transmettre, tout en mettant en avant l'innovation liées aux nouvelles technologies.

Le guide « **Inscriptions et ornements gravés du monument funéraire et cinéraire en pierre naturelle** » est téléchargeable sur le site Web du CTMNC (www.ctmnc.fr).



Aperçu des étapes d'une gravure manuelle sur marbre funéraire
(Droits photo : Marbrerie Roth)

PIERRES NATURELLES

LE SITE WEB DE « LITHOSCOPE® » CONTINUE DE S'ENRICHIR

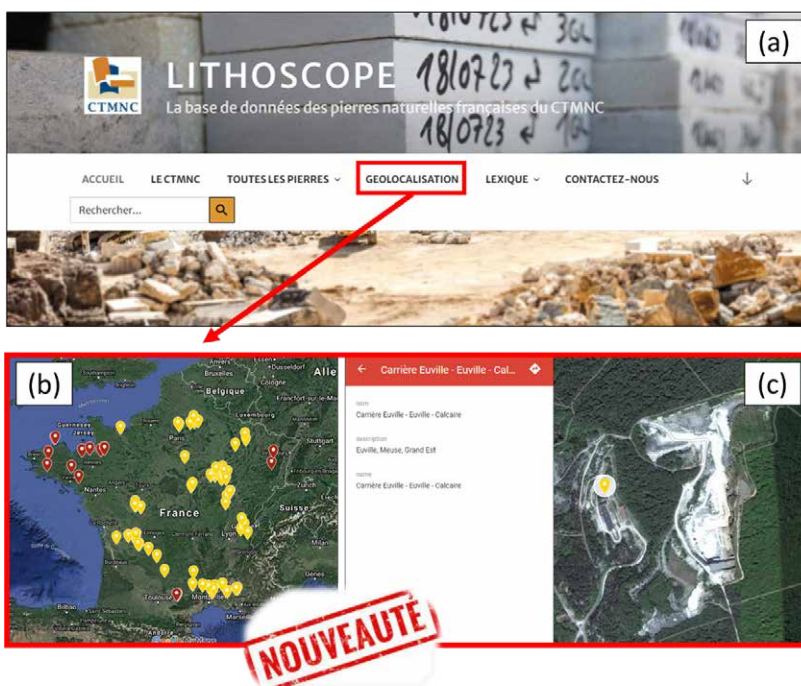
La base de données des pierres naturelles extraites en France fait peau neuve : le site Internet, qui lui est dédié, présente de nouvelles ressources, mais aussi des fonctionnalités destinées à faciliter la consultation.

La matériauthèque virtuelle « Lithoscope® » du CTMNC, bien connue des producteurs et des prescripteurs de pierres naturelles françaises, est d'accès libre sur le site Internet qui permet de l'interroger (www.lithoscopectmnc.com) ⁽¹⁾.

Les nouveautés du site Web « Lithoscope CTMNC » sont :

- Un lexique présentant des définitions utiles et une explication des différentes méthodes d'essais, ainsi que des prescriptions d'emploi des pierres dans la construction ;
- Une interrogation de la base rendue également possible par nom de producteur, par localisation des carrières ou par nom de la pierre ;
- Un téléchargement des fiches de caractérisation pour chaque pierre ;
- Un géoréférencement des carrières indiquant les lieux-dits d'extraction.

Régulièrement, la base « Lithoscope® » est mise à jour, et de nouvelles fiches d'information sur les pierres y sont intégrées.



Différents aperçus du site «Lithoscope» :

- (a) Capture d'écran de la page d'accueil
- (b) Géoréférencement des carrières d'extraction françaises en activité (calcaire : en jaune ; granit : en rouge-bordeaux)
- (c) Détails et affichage des informations d'une carrière

1 - Le site www.ctmnc.fr permet toujours d'accéder à la base, via un lien renvoyant au site dédié.

PIERRES NATURELLES

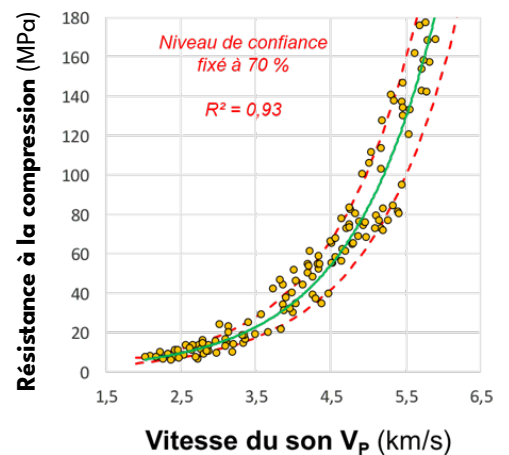
« DIMAPIERRE-SONIC », L'OUTIL QUI PERMET D'ESTIMER LES PROPRIÉTÉS PHYSICO-MÉCANIQUES DE LA PIERRE NATURELLE DE MANIÈRE NON-DESTRUCTIVE

Depuis 2019, le CTMNC met à disposition des professionnels de la filière Pierre Naturelle son outil de corrélation entre la vitesse de propagation du son et certaines propriétés physico-mécaniques des pierres naturelles (masse volumique, porosité, résistance à la compression).

Cette application, qui fait partie de la suite logicielle DIMAPIERRE®, permet à ses utilisateurs de mieux appréhender les propriétés physico-mécaniques d'un matériau, de façon rapide et non-destructive.

En 2022, un travail d'amélioration et de mise à jour des équations intégrées dans le logiciel « DIMAPIERRE-Sonic » a fourni les résultats suivants :

- Des données expérimentales, issues de la littérature scientifique et d'essais conduits au CTMNC, qui ont permis d'établir de nouveaux modèles prédictifs. Un jeu de données complet est à présent intégré dans l'outil.
- Un traitement statistique, a conduit au développement de nouvelles équations fiables et robustes, avec la possibilité pour l'utilisateur de choisir le niveau de confiance souhaité.



Graphique représentant la résistance à la compression de la pierre en fonction de la vitesse de propagation du son

PUBLICATION DE LA NOUVELLE VERSION DU NF DTU 52.2

La version révisée du NF DTU 52.2 « Pose collée des revêtements céramiques et assimilés – Pierres naturelles » est parue en juin 2022. Elle remplace le NF DTU 52.2 : 2009, et son amendement A1 : 2024.

Le DTU 52.2 traite de la pose collée de revêtements en pierre naturelle en murs intérieurs et extérieurs, et en sols intérieurs et extérieurs.

L'une des principales nouveautés de la nouvelle version concerne l'évolution des formats des carreaux céramiques admis en pose murale et au sol. Aucune modification n'est à noter concernant les revêtements en pierre naturelle : ceux-ci doivent répondre favorablement aux exigences de la norme NF B10-601 ; la surface maximale demeure $3\,600\text{ cm}^2$ pour toutes les utilisations (murales et sols, intérieurs et extérieurs).

Par ailleurs, cette version introduit également la mise en œuvre de certains Systèmes de Protection à l'Eau sous Carrelage (SPEC), jusqu'à présent sous Avis Technique, selon les prescriptions de la nouvelle partie P1-1-4 du document.

PRINCIPAUX RÉSULTATS : TERRE CRUE

PUBLICATION DE LA NORME RÉVISÉE XP P13-901 ET LANCEMENT DU PROJET NATIONAL « TERRE »

Très attendue, la nouvelle norme révisée XP P13-901, concernant la brique de terre crue, a été publiée en mars 2022. Un Projet National dédié à la terre crue donne également un nouvel élan à ce domaine.

La norme révisée XP P13-901 ⁽¹⁾, autrefois souvent surnommée « norme Mayotte », a été publiée à l'issue d'un travail de cinq ans. Initié en 2017, ce travail de révision, dont le pilotage a été assuré par le CTMNC, a fait intervenir l'ensemble des experts du domaine (artisans, fabricants, architectes, chercheurs), via un comité de rédaction composé de sept acteurs représentatifs, et un comité de suivi plus vaste de seize professionnels.

Parmi les nouveautés introduites dans la nouvelle norme, on relève :

- Un domaine d'application élargi aux trois modes de fabrication des briques de terre crue (moulage, compression, extrusion),
- La déclaration des ajouts éventuels, afin de préciser si la brique est stabilisée ou non,
- La création de classes d'application,
- De nouveaux essais, notamment des essais de tenue à l'eau et au gel, qui s'inspirent de la norme allemande DIN 18945.

La déclaration des ajouts à la terre (liant, sable, fibres...) était un point important demandé par les artisans et les fabricants. Les quatre classes d'application, allant de la maçonnerie extérieure au remplissage intérieur, permettent de garantir des performances en lien avec l'utilisation visée.

Par ailleurs, 2022 est marquée aussi par le lancement du nouveau **Projet National « PN Terre »**, autour de l'ambition suivante : faire de la terre crue un important contributeur à la transition écologique du secteur du BTP en France, en levant les principaux freins à son redéploiement.

Dès 2017, un Groupe de travail dédié a élaboré le projet, qui a été officiellement lancé en septembre 2021 dans les locaux de la FFB ⁽²⁾. Le projet a ensuite reçu le label Projet National par le Commissariat général au développement durable (CGDD) du Ministère de la Transition écologique.

1 - Norme XP P13-901 (2001) : « Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons : définitions - Spécifications - Méthodes d'essais - Conditions de réception ».

2 - FFB : Fédération Française du Bâtiment.

TERRE CRUE

Conçu pour couvrir l'ensemble des besoins de la filière Terre Crue, le projet s'articule autour de 9 thèmes, et autant de Groupes de travail (rassemblant des artisans, des entreprises, des laboratoires universitaires et des architectes) :

- Comportement mécanique des ouvrages,
- Sécurité incendie,
- Confort et efficacité énergétique,
- Valorisation - Communication,
- Durabilité,
- Socio-culture,
- Essais *in-situ*,
- Assurabilité - Normalisation - Réglementation.
- Impacts environnementaux,



LANCEMENT D'UNE THÈSE CIFRE SUR LA BRIQUE DE TERRE CRUE EXTRUDÉE

Le lancement d'une thèse axée sur la brique de terre crue marque la volonté du CTMNC de poursuivre ses travaux de R&D, initiés depuis plusieurs années, sur un matériau de plus en plus plébiscité.

Dans la continuité des travaux réalisés par le CTMNC sur la terre crue, une thèse a démarré en fin d'année 2022, sur le sujet de la brique de terre crue extrudée. Ce procédé de fabrication est en adéquation avec le développement actuel du matériau terre crue, et correspond aussi à un besoin d'industrialisation rapide, lié à une augmentation des projets de construction d'envergure (ERP, écoquartiers, petits collectifs...). Financée par le CTMNC, la thèse est menée en collaboration avec deux laboratoires universitaires : l'IRDL de l'Université de Bretagne Sud, à Lorient, et le LMDC de l'Université Paul Sabatier Toulouse III.

L'IRDL (Institut de Recherche Dupuy de Lôme) apportera son expertise sur la rhéologie des terres, le comportement à l'état frais du mélange argileux extrudé, et l'évolution de celui-ci. Le LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions) interviendra sur l'analyse fine des terres, et sur la caractérisation mécanique.



Extrusion d'éprouvettes de terre crue réalisée au laboratoire du CTMNC de Limoges

PRINCIPAUX RÉSULTATS : DÉVELOPPEMENT DURABLE

FILIÈRE TERRE CUITE : L'ENGAGEMENT POUR LA CROISSANCE VERTE MENÉ COMME PROJET

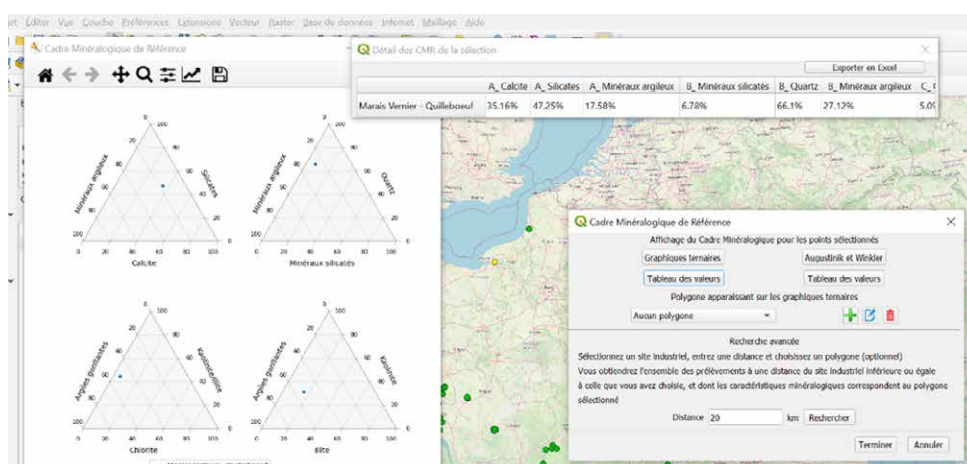
En 2020, la filière Terre Cuite signait un Engagement pour la Croissance Verte (ECV) relatif au potentiel d'utilisation de sédiments de dragage argileux – ou argile renouvelable –, pour la fabrication de produits de construction. Dans le but d'aboutir à une étude utile pour les industriels, l'ECV est désormais abordé comme un projet, comportant trois phases.

La première phase du projet « Argile renouvelable » consistait à établir une cartographie interactive, capitalisant ainsi le volume important de données récoltées ces dernières années sur cette thématique. La deuxième phase, phase d'expérimentation, vise à trouver des formulations-types de mélanges argileux. La troisième phase est une étude technico-économique détaillée et généralisée sur tout le territoire.

Face à la diversité des argiles qui sont propres à chaque site, et à la diversité des sédiments, **la deuxième phase** a été réorientée en 2022, afin de pouvoir mieux correspondre aux attentes de la filière Terre Cuite. Cette étape consistera donc, en 2023, à réaliser des essais de faisabilité directement sur les sédiments et à intégrer, dans la base de données existante, certaines données nécessaires aux prises de décision des équipes process. La base devra, tout d'abord, être enrichie, rendue plus accessible, et être restructurée, afin d'accueillir davantage de données, de diverses natures. Le travail a débuté en 2022, en partenariat avec le Centre de Géosciences - ARMINES de l'Ecole des Mines de Paris.

La troisième phase de l'ECV utilisera les résultats issus du projet « SEDIBRIC ». Lors de ce projet antérieur, un paramètre critique avait été identifié : la distance entre la carrière et l'usine. Le contexte énergétique actuel pose la question du coût de production et de la dépense énergétique, qui prend désormais une importance capitale. En effet, l'incorporation de matières secondaires dans le mélange argileux n'est pas aisée et impliquera des modifications dans le process, qui restent à identifier. Ces changements peuvent intervenir à différents stades, et modifier le volume de gaz consommé pendant les cycles de cuisson, puisqu'ils sont opérés pour obtenir un produit d'une qualité au moins égale à celle d'un produit sans ajout de sédiments.

La modification de l'ECV a été soumise au Commissariat général au développement durable (CGDD) du Ministère de la Transition écologique, qui l'a acceptée.



Aperçu de l'outil QGIS incorporant l'outil Cadre Minéralogique de Référence

DÉVELOPPEMENT DURABLE

VALORISATION DES TERRES EXCAVÉES : DÉVELOPPEMENT ET VALIDATION D'UNE MÉTHODOLOGIE

Dans un objectif de sobriété et de saine gestion des ressources naturelles - conformément à la loi relative à la lutte contre le gaspillage et l'économie circulaire ⁽¹⁾ -, il est impératif de valoriser, de réemployer ou de recycler les terres excavées en provenance d'ouvrages souterrains, de chantiers urbains, ou de construction de voies de communication. Le CTMNC a développé une méthodologie apportant une réponse à cette nécessité, déjà utilisée par certains industriels de la filière Terre Cuite.

Les activités du secteur du BTP produisent, chaque année, en Ile-de-France, 15 millions de tonnes de terres excavées, issues des activités de terrassement, de construction, de création ou d'aménagement de voies de communication terrestres ou souterraines. À eux seuls, les chantiers du Grand Paris devraient générer 45 millions de tonnes de terres excavées pour la période 2020-2030 et la conception de la troisième ligne de métro de Toulouse, environ 6 millions de tonnes.

Actuellement, les terres excavées sont principalement utilisées dans le domaine routier, ou mises en décharges, mais des voies de valorisation existent dans des secteurs d'activité variés, tels que ceux des matériaux de construction, des matériaux réfractaires, ou du mobilier urbain. Ainsi, en fonction de leurs caractéristiques, les terres excavées peuvent constituer des matières premières introduites dans un procédé de fabrication, des charges minérales, ou bien servir dans des carrières en activité ou en réhabilitation.

Les réflexions et les actions menées dans ce domaine visent à :

- Déterminer et consolider des domaines d'emploi des terres excavées,
- Gérer localement les ressources,
- Réduire la distance entre le lieu d'excavation des terres et le lieu où elles seront utilisées, afin d'avoir un faible Bilan carbone.

Le CTMNC a élaboré une méthodologie de valorisation des terres excavées, que plusieurs industriels du domaine de la terre cuite ont validée. Dans la démarche de valorisation, il est nécessaire, pour les acteurs, de recourir à des compétences de caractérisation des matériaux minéraux, de gérer leur utilisation dans un procédé industriel et de maîtriser les propriétés d'usage de produits élaborés.

1 - Loi n° 2020-15 du 10 février 2020.

DÉVELOPPEMENT DURABLE



En complément des caractérisations minéralogiques et chimiques, de la détermination de la teneur en sels solubles, en émissibles environnementaux et du taux de carbone, le Centre technique propose la **caractérisation des terres excavées**, en termes de :

- Répartition Granulométrie,
- Teneur en eau,
- Masse volumique,
- Comportement vis-à-vis des sollicitations thermiques, hydriques, hygroscopiques ou mécaniques correspondant aux différentes étapes et contraintes des cycles industriels.

Cette approche (en termes de méthodologie et de caractérisations) s'appuie sur les savoir-faire du CTMNC en matière de formulation, de mise en forme des produits, de validation de leurs propriétés d'usage, et de leur mise en œuvre.

En 2022, cette nouvelle démarche a été adoptée par plusieurs industriels de la terre cuite, ce qui, selon les cas, leur a permis :

- D'utiliser des terres excavées dans des mélanges de production existants, en substitution de minéraux argileux, ce qui contribue à économiser les ressources, augmentant ainsi la durée de vie de la carrière ;
- D'introduire des terres excavées dans des mélanges de fabrication, afin de les optimiser et de favoriser une caractéristique particulière, ou de les substituer à une matière première onéreuse ou manquante ;
- D'élaborer, à partir d'un mélange de terres excavées, des briques de terre cuite dédiées à la construction.

La méthodologie du CTMNC, qui a ainsi été validée dans le domaine de l'industrie des matériaux de construction, ouvre une voie de valorisation des terres excavées pour de nombreuses autres filières industrielles.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

RÉEMPLOI DES MATÉRIAUX NATURELS : RETOURS D'EXPÉRIENCE ET ACCOMPAGNEMENT DES MAÎTRES D'OUVRAGE

Les produits de construction en terre cuite, ou en pierre naturelle, sont réputés pour la facilité de leur réemploi. En capitalisant les retours d'expérience, mais aussi en développant de nouveaux indicateurs et en concevant des guides de prescription, le CTMNC accompagne ces pratiques de réemploi, encore marginales, pour les rendre plus courantes.

Les éléments d'une construction sont soumis à différentes sollicitations (mécaniques, thermiques, hydriques, etc.) durant des périodes pouvant être assez longues, ce qui est particulièrement vrai pour les produits apparents en terre cuite et en pierre naturelle. Durant leur vie en œuvre, ces derniers sont exposés à des phénomènes climatiques, biologiques, chimiques et/ou physiques, ce qui impacte les propriétés intrinsèques des matériaux. Pour des raisons évidentes de sécurité et de durabilité, il est nécessaire de s'assurer que les éléments issus de la déconstruction d'ouvrages soient en bon état avant d'envisager de les intégrer dans un nouvel ouvrage.

Dans ce cadre, l'expertise développée par le CTMNC consiste, en un premier temps, à diagnostiquer et à échantillonner (Cf. Figure 1) les matériaux en présence. Le Centre dispose des compétences pour repérer les signes et les impacts d'altérations diverses. Il est également en mesure d'identifier leurs causes, et donc de proposer un échantillonnage pertinent, qui permettra, par la suite, de réaliser des tests en laboratoire ou sur site. En un deuxième temps, l'expertise du CTMNC réside dans la caractérisation des matériaux, et la capitalisation des résultats. Disposant de laboratoires et de personnels qualifiés, le Centre a la possibilité de réaliser les essais prévus par les normes en vigueur, ou en proposant des tests adaptés. Enfin, le CTMNC a la capacité d'apporter son expertise sur la destination des matériaux issus de la déconstruction.

En 2022, plusieurs opérations ont ainsi été mises en lumière, comme l'opération d'évaluation de l'aptitude de briques issues d'anciens ateliers ⁽¹⁾ à un réemploi en murs ou en dallages, ou encore l'échantillonnage et la détermination des aptitudes à l'emploi de maçonneries en pierre massive provenant de bâtiments de logements collectifs ⁽²⁾. Parallèlement, des projets de recherche sont menés pour analyser les effets du vieillissement des éléments sur leurs performances résiduelles, en s'appuyant sur les résultats d'essais réalisés sur des matériaux provenant d'anciens ouvrages (Cf. Figure 2).

La démarche de réemploi est nécessairement suivie dans le cadre d'un arbitrage économique et environnemental : la question de l'assurabilité des ouvrages doit être traitée de manière adaptée. En revanche, le développement de cette technique est favorisé par de nombreux retours d'expérience positifs, avec des matériaux caractérisés de manière exhaustive. Le bilan économique, bien souvent couplé au bilan environnemental, repose particulièrement sur le nettoyage, le reconditionnement et le transport des produits.

1 - Sur l'ancien site Lepoutre, à Tourcoing.

2 - Quartier du Sanitas, à Tours.

DÉVELOPPEMENT DURABLE



Figure 1 - Exemple d'échantillonnage sur un bâtiment collectif d'habitation

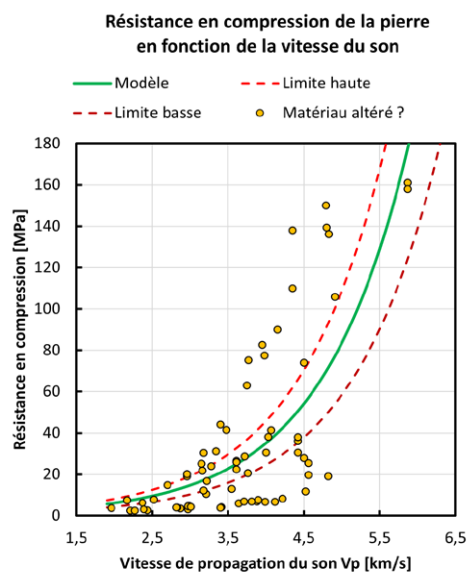


Figure 2 - Résistance à la compression des éléments de maçonnerie en fonction de la vitesse de propagation du son ⁽¹⁾.

FDES COLLECTIVES TERRE CUITE : L'IMPACT CO₂ DU TRANSPORT DE MATÉRIAUX MIEUX PRIS EN COMPTE

Une amélioration de la modélisation du transport permet d'abaisser l'impact CO₂ jusqu'à 11 %.

En 2022, le CTMNC a mis à jour l'ensemble des FDES (Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire) publiées par la filière Terre Cuite. Ces FDES sont dites collectives, c'est-à-dire qu'elles peuvent être revendiquées par les industriels qui ont participé à la collecte de données, et dont les produits respectent le cadre de validité.

Concernant le transport en camions des argiles, puis des produits livrés aux clients, l'inventaire de cycle de vie prenait en compte, jusqu'à présent, un chargement représentatif des transports en Europe, peu adapté au transport des produits pondéreux. En moyenne, en Europe, les camions de 24 tonnes sont d'abord remplis « en volume », avant d'être remplis « en masse » : il a donc fallu recalculer la donnée avec un taux de chargement s'élevant à 100 % de la capacité en masse des camions, pour le transport à l'aller.

Grâce à ce travail, l'indicateur du réchauffement climatique, exprimant l'impact CO₂ en kgCO₂eq, diminue de 4 à 11 % dans les FDES des produits de terre cuite.

La Réglementation Environnementale 2020 (RE2020), en vigueur depuis début 2021, rend obligatoire la réalisation d'Analyses de Cycle de Vie (ACV) pour toute construction de bâtiment neuf : disposer de données environnementales est donc un véritable enjeu pour les fabricants de matériaux de construction, car ces ACV sont réalisées à partir des FDES publiées dans la base INIES ⁽²⁾.



1 - Voir aussi l'article dédié en page 30 de ce Rapport d'activités.

2 - Consultation des FDES sur le site INIES à l'adresse suivante : <https://www.base-inies.fr/iniesV4/dist/consultation.html>.

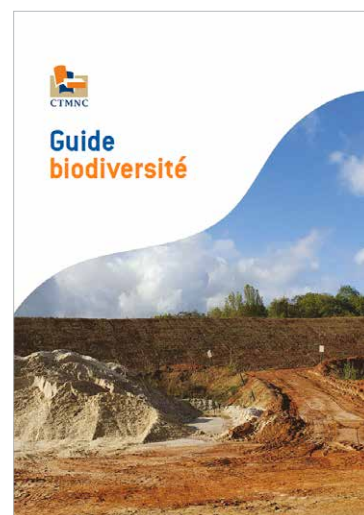
DÉVELOPPEMENT DURABLE

PUBLICATION D'UN GUIDE DÉDIÉ À LA BIODIVERSITÉ EN CARRIÈRE D'ARGILE

Si l'exploitation d'une argilière impacte les milieux naturels, elle peut aussi contribuer à la création de nouveaux habitats, et favoriser ainsi l'installation de nombreuses espèces. Ces gisements d'argiles ont un rôle prépondérant à jouer dans le développement de la biodiversité, le rétablissement des connectivités écologiques et le fonctionnement des écosystèmes. Le CTMNC a donc conçu et publié un guide « Biodiversité en carrière » pour présenter les démarches originales de la filière Terre Cuite.

En 2022, le CTMNC s'est rapproché de ses Ressortissants pour recueillir leurs mesures adoptées en faveur de la biodiversité, qui dépassent le cadre des obligations réglementaires. Ainsi de nombreuses initiatives sont prises par les fabricants de produits de terre cuite, soit à l'échelle des Groupes, via une stratégie RSE par exemple, mais aussi le plus souvent à l'échelle locale, par les salariés eux-mêmes.

Principalement à l'adresse des Responsables RSE, des Responsables de carrière, et des Directeurs de site, le CTMNC a rédigé un guide pratique détaillant des idées directement applicables, car issues de retours d'expérience. Ce guide « Biodiversité » s'inscrit dans le cadre de la préservation de la biodiversité (faune et flore), reconnue comme essentielle au bien-être des humains, et à leurs activités.



L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES PRODUITS EN PIERRE NATURELLE SE PRÉCISE

Le CTMNC a développé une « Calcullette Carbone », permettant d'évaluer l'impact sur le changement climatique des produits de construction en pierre naturelle, « du berceau à la tombe », ainsi qu'une variante de cet outil, visant à estimer le bilan carbone de l'ensemble de la filière ROC.

Les effets de l'activité humaine sur la dégradation des milieux naturels et sur le changement climatique sont désormais une préoccupation largement partagée. Les décideurs politiques mettent ainsi en place des stratégies, dont le but est de minimiser, collectivement, notre impact sur l'environnement.

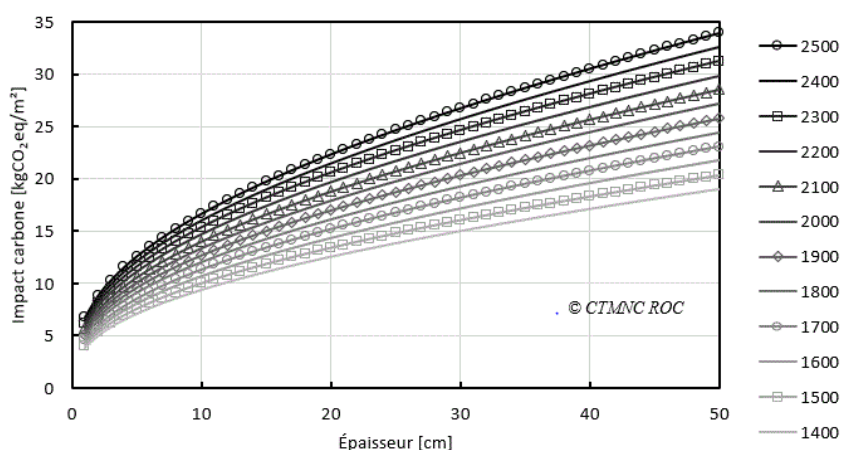
Dans ce contexte, le CTMNC est sollicité par la profession et les acteurs de la construction pour justifier de l'impact environnemental modéré des produits de construction en pierre naturelle. Bien que le cycle de vie du produit, de la découverte de la carrière au traitement des résidus de déconstruction, ne soit pas neutre, il apparaît que l'utilisation de la pierre naturelle constitue une des solutions les moins dommageables pour l'environnement. Un article scientifique, dont la publication est prévue pour 2023, traitera de ce sujet, présentant la pertinence de la pierre naturelle comme alternative dans la feuille de route vers la décarbonation du secteur de la construction.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

À l'adresse des producteurs de pierres naturelles, le CTMNC réalise des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES), qui peuvent être établies à titre privé ou collectif pour la filière. Ainsi trois fiches collectives sur les produits de voirie en granit français (dalles, pavés et bordures) sont déjà programmées pour 2022-2023.

Parallèlement, le CTMNC a développé un logiciel pour évaluer l'impact sur le changement climatique des produits de construction en pierre naturelle. Cette « Calcuette Carbone » établit le bilan carbone de murs, de revêtements de façades, ou de revêtements de sols. Le code de calcul intégré a été obtenu par l'analyse des FDES publiées et vérifiées, ainsi que d'ACV issues de la littérature, ce qui permet d'avoir une estimation assez fidèle du bilan carbone des émissions de gaz à effet de serre de ces éléments de construction. Le code de calcul pourra être enrichi après la publication de nouvelles FDES, pour rendre l'outil plus précis.

La « Calcuette Carbone » du CTMNC est un utilitaire gratuit ⁽¹⁾, dont l'un des atouts est de pouvoir moduler l'épaisseur et la densité de la pierre, la distance de transport entre l'atelier et le chantier, ainsi que le mode de transport utilisé pour déplacer le produit. Cette configuration permet d'adapter des résultats à des cas concrets, et de comparer l'impact positif ou négatif de différents choix. Conçue pour être un outil d'aide à la décision et/ou de prédimensionnement environnemental, la « Calcuette Carbone » pourrait être prochainement agréée pour une utilisation réglementaire, par exemple dans le cadre de la RE2020.



Impact carbone des produits en pierre naturelle selon l'épaisseur et la masse volumique (kg/m³ en légende), considérant un transport routier de 60 km entre l'usine et le chantier

Une variante de l'outil a été développée sur la base des chiffres-clés 2021 de la filière des Roches Ornamentales et de Construction proposés par le SNROC ⁽²⁾. Elle a servi à dresser un bilan carbone de la filière. Ce dernier a, notamment, mis en exergue que les importations de pierres naturelles représentent 80 % de l'impact environnemental global, pour 55 % du chiffre d'affaires total. Ainsi le simple fait de privilégier des matériaux locaux permettrait de réduire les émissions de CO₂ d'environ 130 000 tonnes d'équivalent CO₂ par an, portant ainsi le bilan de 220 000 à 90 000 tCO₂eq/an.

1 - Accessible sur le site du CTMNC - www.ctmnc.fr.

2 - SNROC : Syndicat National des Roches Ornamentales et de Construction.

PRINCIPAUX RÉSULTATS : RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

PROJET « HYDETOP » : PREMIERS ESSAIS AVEC L'HYDROGÈNE COMBUSTIBLE

Le projet «HYDETOP » vise à étudier l'intégration d'hydrogène comme combustible pour la décarbonation de l'industrie de la terre cuite, en évaluant les impacts sur les organes de combustion et la qualité des produits. En 2022, les premiers essais ont été réalisés sur les brûleurs.

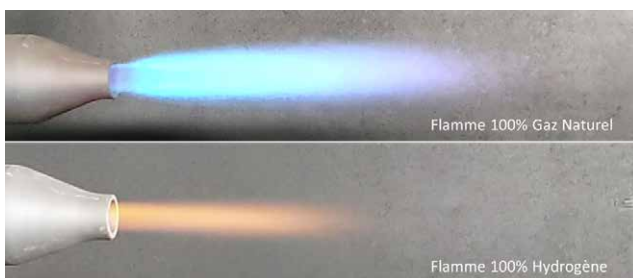
Le projet « HYDETOP » a pour ambition de tester, à l'échelle semi-industrielle, les cycles de cuisson de plusieurs produits dans un four-cellule en intégrant au gaz naturel différents taux d'hydrogène (de 6 %, 20 %, 50 % et 75 % en volume) et, enfin, de procéder à une cuisson à 100 % en hydrogène. Il s'agit d'observer l'impact sur la qualité des produits, les brûleurs, les paramètres de combustion et les éléments de combustion émis lors de la cuisson (H₂O, NO_x).

Le projet a été lancé en décembre 2021, mais ralenti par le contexte géopolitique et la crise énergétique de début 2022, qui ont compliqué l'approvisionnement en hydrogène ; certaines tâches ont donc été reportées sur 2023.

Les premiers essais réalisés ont permis d'analyser le comportement de cinq types de brûleurs, utilisés couramment dans l'industrie de la terre cuite, pour différents taux d'hydrogène. L'analyse des premiers résultats des mesures de chimiluminescence montre un bon comportement des brûleurs pour les différents taux d'intégration testés.

Un ingénieur d'études, recruté fin 2022, étudiera le mode de stabilisation de la flamme et de ses variations en fonction de la composition d'un mélange combustible CH₄/H₂ composé de méthane (CH₄) et d'hydrogène (H₂), depuis le méthane utilisé seul jusqu'à l'hydrogène employé pur, pour un type de brûleur donné. Les essais de cuisson, réalisés dans un four de la société CLEIA, pour les différents mélanges contenant de l'hydrogène, sont planifiés au premier semestre 2023. Les produits cuits seront ensuite caractérisés par le CTMNC.

Pour répondre aux préoccupations des industriels de la terre cuite sur l'usage de l'hydrogène vert, dans leurs usines, le projet « HYDETOP » prévoit également d'investiguer les aspects environnementaux et technico-économiques, ainsi que la sécurité.



Essais de brûleurs du laboratoire JETFLAM



Logos des partenaires du projet « HYDETOP », soutenu par l'ADEME

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

PROJET « RECYCARB » : CAPTAGE DU CO₂ EN SORTIE DE CHEMINÉES ET VALORISATION PAR MÉTHANATION

Le CTMNC a choisi d'étudier la méthanation comme voie de valorisation du CO₂ produit par l'activité de l'industrie des tuiles et briques ⁽¹⁾. En 2022, le captage du CO₂ par contact membranaire, et sa valorisation en méthane de synthèse ont été évalués, en s'appuyant sur les caractéristiques des fumées d'une tuilerie/briqueterie modèle.

L'industrie de la terre cuite actionne trois leviers pour atteindre ses objectifs de décarbonation à l'horizon 2050 :

- L'efficacité énergétique des procédés, en limitant les déperditions de chaleur et en valorisant les chaleurs fatales,
- La substitution de combustibles alternatifs au gaz naturel, par exemple avec la biomasse, du gaz de synthèse ou de l'hydrogène,
- Le captage du dioxyde de carbone (CO₂) des fumées, puis son stockage ou sa valorisation ; le projet « RECYCARB » s'inscrit dans ce cadre.

Cette année 2022, une réflexion a été menée sur le captage du dioxyde de carbone des fumées, puis sur sa transformation en méthane, dans le but de remplacer, totalement ou partiellement, le gaz naturel employé pour la cuisson. L'intérêt est de réaliser ainsi un bouclage du CO₂ (Cf. Schéma).

L'étude s'est appuyée sur deux briques technologiques :

- Le captage du CO₂ par absorption chimique par contact membranaire, développé par l'entreprise Leroux & Lotz Technologies ;
- La méthanation catalytique du CO₂ capté, c'est-à-dire la synthèse de méthane par réaction du dihydrogène avec le dioxyde de carbone en présence d'un catalyseur, conçue par l'entreprise Khimod.

L'association des deux briques a été évaluée d'un point de vue technico-économique dans le cadre d'une tuilerie/briqueterie modèle, avec une qualité de fumée typique en termes de débit et de concentration en dioxyde de carbone et polluants.

Bien que mature et déjà déployée à travers le monde, l'absorption chimique présente des points faibles : l'énergie de régénération est importante, les amines se dégradent à la chaleur et à l'oxydation, elles sont inflammables et corrosives, et elles génèrent des déchets avec un impact environnemental négatif.

La méthanation nécessite de produire ou de s'approvisionner en dihydrogène. Le coût du dihydrogène renouvelable est lié au développement d'une filière de dihydrogène vert, et au coût de l'électricité renouvelable. En outre, à ce jour, la demande de dihydrogène renouvelable est très importante et la disponibilité pour la filière dépendra de l'arbitrage entre les usages.

1 - Voir le Rapport d'activités 2021 du CTMNC, page 29.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Enfin, les coûts d'investissements et de fonctionnement des installations de captage et de valorisation sont importants. L'intérêt économique dépend de l'évolution des prix du gaz naturel, du dioxyde de carbone et du dihydrogène, ou de l'électricité renouvelable.

Parallèlement, la revue bibliographique réalisée a montré qu'il existe plusieurs technologies de captage du CO₂ : l'utilisation d'autres absorbants (sels amino-acides, solvant démixant...), l'emploi d'adsorbants (zéolithes, réseaux organo-minéraux...), la technologie de séparation par membranes, la technologie de séparation à basse température, le recours aux microalgues. De même, le méthane de synthèse n'est pas l'unique voie de valorisation du dioxyde de carbone : ce dernier peut être valorisé en méthanol, *e-fuels*, polyols, carbonates, etc.

Le CTMNC poursuit donc sa veille sur l'ensemble de ces solutions potentielles, afin d'identifier celles qui seront les mieux adaptées à la filière Terre Cuite, et qui pourront donner lieu à un projet de démonstration.

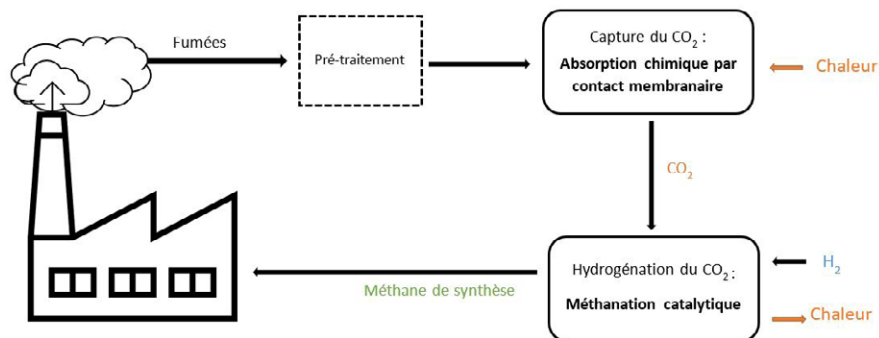


Schéma du bouclage du dioxyde de carbone (CO₂) capté en sortie de cheminée d'usine

TROIS VOIES DE RECHERCHE POUR ADAPTER LE CONCEPT « DIRECT AIR CAPTURE » AUX PRODUITS DE TERRE CUITE

Dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique, le CTMNC mène un projet de recherche visant à conférer aux produits de terre cuite la capacité de capter, stocker et/ou convertir le CO₂ présent dans l'atmosphère.

Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) ont atteint des niveaux record au cours de ces dernières années, arrivant à une concentration inégalée de 420 ppm en avril 2021 ⁽¹⁾. Seules les méthodes de captage direct permettent d'envisager une baisse du niveau de CO₂ dans l'atmosphère ; le concept « DAC » (*Direct Air Capture*), introduit en 1999 par le physicien allemand Klaus Lackner, ouvre la voie aux technologies à « bilan carbone négatif ».

Dans ce contexte, le projet de recherche du CTMNC a pour objectif de mettre au point des revêtements et des procédés adaptés aux produits de terre cuite, permettant à ces derniers d'acquérir la capacité de capter, stocker et/ou convertir le CO₂ atmosphérique. Cette fonctionnalité est permise par le recours à la photosynthèse artificielle, aux matériaux poreux, ou à la carbonatation minérale. Le CTMNC développe donc des matériaux, dont il garantira la non-toxicité et la non-dangerosité des éventuels produits qu'ils pourraient générer, mais aussi la conservation des propriétés physico-chimiques de durabilité et d'usage des produits de terre cuite sur lesquels ces revêtements seront appliqués.

1 - Mesure réalisée par l'Observatoire de Mauna Loa, sur l'archipel d'Hawaï.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

La carbonatation minérale est un processus chimique permettant le stockage du CO_2 sous une forme minérale inerte. Le phénomène se produit naturellement lorsque le CO_2 , dissout dans l'eau de pluie ou dans l'eau hygroscopique, réagit avec des minéraux silicatés riches en calcium et magnésium, pour former des carbonates insolubles et stables thermodynamiquement, tels que la calcite (CaCO_3), la magnésite (MgCO_3) ou encore la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Pour stocker le CO_2 atmosphérique, il est également pertinent d'exploiter les propriétés liées au caractère poreux des argiles et des produits de terre cuite. En effet, la composition chimique des argiles, la faible dimension de leurs cristaux (inférieure à $2 \mu\text{m}$) et leur morphologie particulière sous forme de feuillets, leur confèrent d'importantes propriétés d'absorption. Ainsi le CO_2 est adsorbé à la surface par les groupements OH des minéraux argileux, formant alors des ions bicarbonates HCO_3^- . Dans certaines argiles, les molécules de CO_2 réagissent avec les molécules d'eau présentes, comme c'est le cas pour la montmorillonite, pour conduire à la formation de H_2CO_3 .

Enfin, la photosynthèse artificielle est la troisième voie de captage du CO_2 étudiée par le CTMNC. Fondée sur le principe de la photosynthèse, se produisant naturellement dans tous les organismes photosynthétiques (plantes, algues, cyanobactéries...), la photosynthèse artificielle vise à utiliser l'énergie solaire pour réduire le CO_2 capté en hydrocarbures. Dans le cadre d'une application aux produits de terre cuite, il s'agit de développer des produits photocatalytiques capables de capter, et d'éventuellement convertir le CO_2 atmosphérique.

Pour évaluer la capacité à capter le CO_2 des produits développés grâce aux trois techniques citées, le CTMNC a mis en place un dispositif expérimental, nommé « **CO₂ Box** », et envisage la mise en place d'une thèse CIFRE pour approfondir l'une ou plusieurs de ces trois voies.



Description de la « **CO₂ Box** », développée par le CTMNC pour évaluer la capacité des produits de terre cuite à capter le CO_2 atmosphérique

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

CONTRIBUTION DU CTMNC AU PROJET NATIONAL « DOLMEN »

Depuis septembre 2021, le CTMNC contribue au projet de recherche « DOLMEN » (Développement d'Outils et de Logiciels pour la Maçonnerie Neuve et existante), qui regroupe un grand nombre d'acteurs au niveau national : universités, laboratoires, bureaux d'études, collectivités territoriales.

Le Projet National « DOLMEN » porte sur les constructions en maçonnerie de pierres naturelles ou de briques de terre cuite, avec ou sans liant, et relevant du génie civil : ponts, soutènements, quais, digues, barrages, tunnels, canaux, conduites, etc.

L'objectif est de progresser dans la compréhension du comportement des ouvrages d'art en maçonnerie, et de transférer les résultats de la recherche à la profession pour :

- Proposer des outils adaptés et efficaces pour améliorer l'évaluation et la maintenance du patrimoine existant en toute sécurité et durabilité ;
- Rétablir la maçonnerie dans le catalogue des techniques de construction contemporaines.

Le CTMNC intervient plus précisément sur l'Axe 1 du projet (en tant que co-pilote), intitulé « Caractérisation du matériau composite », et dont les objectifs sont de créer une base de données sur les valeurs courantes et la dispersion des caractéristiques des matériaux (blocs, mortier, interface, composite), tout en identifiant les protocoles expérimentaux pour obtenir ces données.

Pour ce faire, un programme de recherche, débuté en 2022, vise à réaliser :

- Une synthèse bibliographique des caractéristiques des matériaux, et des protocoles ;
- Des prélèvements et des caractérisations physico-chimiques et mécaniques des matériaux des ouvrages de référence (valeur et variabilité) ;
- Une comparaison des caractéristiques de matériaux en place et neufs ;
- Une comparaison des homogénéisations théorique et expérimentale de la maçonnerie ;
- La mise en place, et la validation, des protocoles expérimentaux et de leurs normes associées ;
- Des recommandations sur les essais (type, nombre, prélèvement...) à réaliser pour un diagnostic de dimensionnement.

Par ailleurs, le CTMNC contribue également à l'Axe 1 du projet, qui cherche à démontrer les atouts écologiques, économiques et sociétaux d'une construction en maçonnerie, notamment dans le contexte de l'économie circulaire.

Les objectifs visés par le Groupe de Travail sont, entre autres, de proposer de nouvelles données environnementales dédiées à la maçonnerie, de contribuer au développement d'un indicateur de réemploi/recyclage, ainsi que de réaliser l'Analyse de Cycle de Vie d'ouvrages de référence.

Les premières réunions du Groupe de travail ont permis de repérer les différents contributeurs potentiels pour la réalisation d'études. Le CTMNC, du fait de son expertise en analyses environnementales, et de sa proximité avec les professionnels de la terre et de la pierre, s'avère être un intermédiaire de choix pour mener ces travaux de réflexion entre universitaires et industriels.

1 - Mesure réalisée par l'Observatoire de Mauna Loa, sur l'archipel d'Hawaï.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT



Projet National de recherche « DOLMEN » (pndolmen.fr),
administré par l'IREX (irex.asso.fr)

THÈSE CSTB/CTMNC SUR LA RÉSISTANCE AU FEU DES MAÇONNERIES EN PIERRE NATURELLE : PREMIERS RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

La thèse de doctorat ⁽¹⁾ co-encadrée par le CSTB, l'École des Ponts ParisTech et le CTMNC, démarrée en octobre 2020, se poursuit jusqu'en octobre 2023. Elle fait suite à une première campagne d'essais réalisée dans les laboratoires du CSTB en 2019.

Tandis que les méthodes d'analyse des structures en maçonnerie à température ambiante se sont largement développées ces dernières années, les méthodes de calcul et de simulation du comportement de telles structures vis-à-vis de l'incendie exigent, quant à elles, de nombreux développements, tant sur le plan théorique qu'expérimental.

Pour la maçonnerie en pierre naturelle, le texte européen de référence pour le dimensionnement au feu des structures en maçonnerie est l'Eurocode 6, dans lequel il n'existe pas de valeurs tabulées. Cela rend l'usage de la maçonnerie en pierre naturelle plus complexe, et cela ne permet pas de l'utiliser selon sa pleine capacité de résistance au feu.

Dans ce contexte, l'objectif de la thèse en cours est de proposer une méthode complète d'évaluation du comportement au feu des murs en pierre naturelle, à visée applicative pour l'ingénieur.

Le programme de la thèse comporte deux volets :

- Le premier volet concerne **l'approche expérimentale**. Des essais au feu sur des murs en pierre calcaire, avec différentes conditions aux limites, ont été réalisés en 2019 et 2021 (Cf. Figure 1, à droite), afin d'évaluer leur capacité portante, puis de la comparer aux prévisions fournies par le modèle théorique (Cf. Figure 1, à gauche). D'autres essais, de caractérisation à haute température d'une part, et sur des trumeaux à température ambiante d'autre part, seront réalisés pour permettre d'alimenter les modèles théoriques. Il s'agira ainsi de vérifier la pertinence de certaines hypothèses sur le comportement des matériaux, et de déboucher sur une validation des prédictions théoriques.
- Le second volet de la thèse consiste à **développer des outils de modélisation et de calcul** performants, et aptes à justifier le dimensionnement au feu de murs en maçonnerie de pierre naturelle. Ces outils visent à prendre en compte les deux principaux effets de l'exposition du mur au feu, observés lors des essais précédents : l'apparition d'une courbure thermique du mur vers le feu, et la dégradation de la résistance des matériaux.

1 - Thèse d'Elodie Donval (Ecole des Ponts ParisTech) : voir aussi le Rapport d'activités 2021, page 31.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

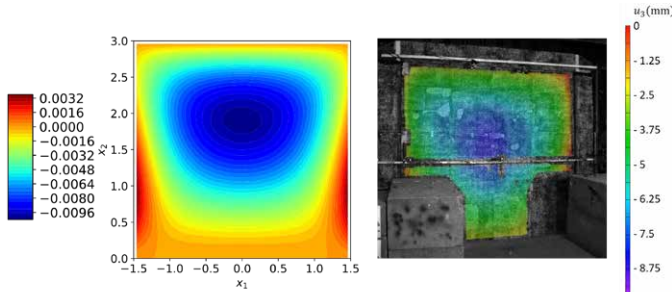


Figure 1 - À gauche : Déformée obtenue par le modèle théorique
À droite : Déformée obtenue après 60 min d'exposition au feu d'un mur en pierre

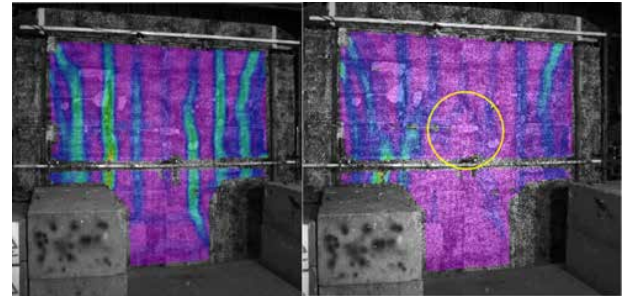


Figure 2 - À gauche : Fissures verticales après 10 min d'exposition au feu d'un mur en pierre
À droite : Fissures au moment de sa rupture (fissures diagonales : entourées en jaune)

Les principales observations expérimentales sont les suivantes :

- Une double courbure thermique (horizontale et verticale) du mur vers le feu apparaît (Cf. Figure 1). Elle est plus élevée que pour l'essai chargé de 2019, mais plus faible que celle observée pour l'essai non-chargé.
- Au bout de 10 minutes d'essai, des fissures verticales apparaissent au droit des joints verticaux (Cf. Figure 2, à gauche). Elles se prolongent verticalement au travers des blocs, mais n'entraînent pas la rupture du mur. Cette dernière est causée par la propagation de fissures diagonales après 3 heures d'essai (Cf. Figure 2, à droite).
- Moins le mur est chargé mécaniquement, plus il résiste longtemps au feu. Cette conclusion peut paraître évidente, mais certaines données relevées dans la littérature montraient des résultats contraires.

Sur la base de ces résultats, une méthode de modélisation du comportement au feu des murs de maçonnerie en pierre naturelle est actuellement établie (Cf. Schéma). Après avoir calculé le gradient thermique dû au feu, il est proposé de traiter indépendamment les deux principaux effets de l'exposition au feu du mur : l'apparition d'une courbure thermique (étape 1) et la dégradation locale des propriétés des matériaux (étape 2). La courbure thermique, en excentrant le chargement mécanique initialement appliqué en tête de mur, entraîne l'apparition de moments fléchissants additionnels. Ceux-ci, combinés à la perte de résistance du mur, peuvent entraîner sa rupture (étape 3).

Ce travail a été présenté lors d'une Journée technique ROC, organisée par le CTMNC le 23 juin 2022.

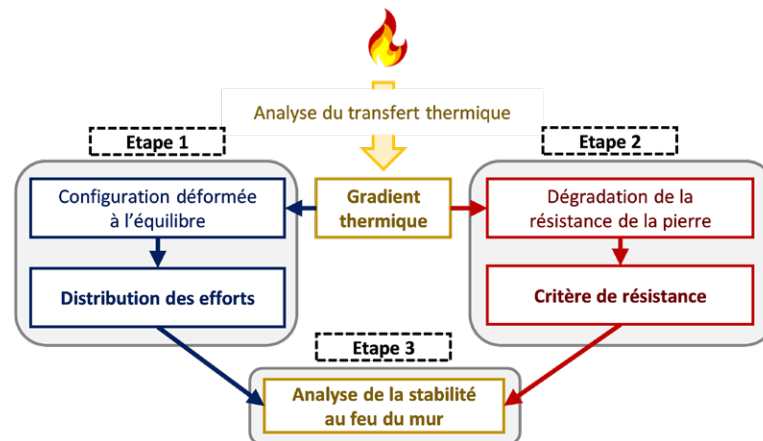


Schéma - Principe de la méthode de modélisation développée pour l'analyse du comportement au feu des murs en pierre naturelle

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

AVANCÉES DU PROJET « POSTFIRE - STABILITÉ ET PRÉSERVATION DES BÂTIMENTS DU PATRIMOINE CULTUREL EN MAÇONNERIE DE PIERRE APRÈS INCENDIE »

Dans le cadre du projet ANR « POSTFIRE », deux thèses de doctorat sont en cours : l'une, dirigée par CY Cergy Paris Université, sur le « Comportement des lithotypes calcaires en situation d'incendie » ; l'autre, co-pilotée par CY Cergy Paris Université et l'Université d'Orléans, sur le « Comportement de maçonnerie en pierre calcaire en situation d'incendie : approches expérimentale et numérique ».

La maçonnerie en pierre naturelle est une technique de construction ancestrale par excellence. Malgré leur bonne tenue mécanique à température ambiante, les monuments historiques en maçonnerie peuvent subir d'importantes détériorations après un incendie. L'objectif du projet « POSTFIRE » est d'étudier le comportement de pierres de construction et de murs en maçonnerie exposés à une température élevée, puis d'en dégager des préconisations sur l'utilisation des pierres et l'évaluation post-incendie du patrimoine bâti. L'étude est conduite à l'échelle du matériau et de la structure.

La première thèse citée vise à améliorer les connaissances scientifiques des matériaux constituant la maçonnerie en pierre, après qu'ils ont été exposés à haute température. Menée dans des conditions post-incendie, l'étude des matériaux sélectionnés (13 pierres calcaires françaises et trois types de mortiers) donnera lieu à la création d'une base de données. L'objectif de la seconde thèse est, quant à lui, d'établir des modèles, à l'échelle du matériau, d'applicabilité immédiate, grâce à des approches - analytique et numérique - d'évaluation et de calcul des performances structurelles. La fiabilité des modèles sera testée à l'échelle du mur, par le biais d'essais effectués sur des murs.

Ainsi, la première thèse comprend une caractérisation expérimentale complète des matériaux choisis : à l'état sain, à chaud, et en résiduel.

La caractérisation à l'état sain prend en compte les principaux paramètres (pétrographiques, mécaniques, thermiques) qui influent sur le comportement à haute température des pierres calcaires.

Le comportement à chaud consiste à déterminer, sous haute température, les points suivants :

- L'évolution des propriétés de transfert thermique des matériaux,
- Les mécanismes à l'origine de l'endommagement thermique des matériaux, à partir de mesures de la dilatation thermique linéaire, d'analyses thermogravimétriques (ATG) et d'analyses calorimétriques différentielles (DSC) ,
- Les changements des propriétés mécaniques avec la température, au moyen d'un dispositif spécifique, disponible au CTMNC.

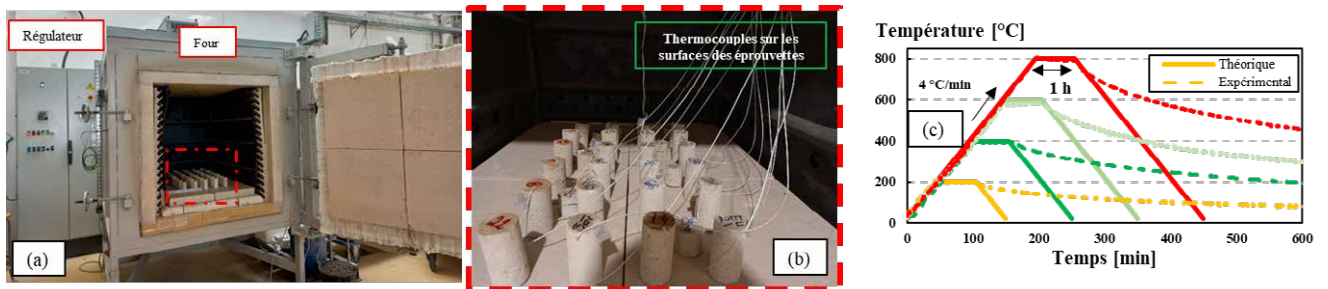
Enfin, le comportement résiduel après chauffage, c'est-à-dire après les cycles de chauffage-refroidissement (Cf. Figure 1), concerne d'abord l'échelle du matériau, puis l'échelle de l'assemblage pierre-mortier.

A l'échelle du matériau, cette étude a comme objectifs :

- L'évaluation de l'endommagement mécanique et la durabilité des matériaux après chauffage, en fonction de l'état hydrique initial des éprouvettes (sec ou saturé), de la vitesse de chauffage (1 ° ; 4 ° et 15 ° C/min) et des conditions de réhydratation des échantillons, préalablement portés à une température au-delà de 600 °C, puis refroidis,
- Le suivi de l'endommagement par colorimétrie, en tant que technique d'analyse indirecte et non-destructive, à partir de la corrélation du changement de couleur des pierres avec la température aux propriétés résiduelles du matériau.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Concernant les assemblages pierre-mortier, les essais d'écaillage visent à évaluer l'effet de joint de mortier sur la déformation thermique des blocs et sur l'effet de refroidissement sous l'eau.



La seconde thèse, qui a donc pour objet d'évaluer le comportement structurel des murs en maçonnerie pendant et après l'exposition au feu, et de développer un outil numérique à l'échelle du matériau et de l'élément structurel, comporte les étapes suivantes :

- Des essais de résistance au feu de trois types de pierres, qui ont été réalisés en 2022 au CSTB, à l'échelle du mur, et à différents états de chargement. Leurs résultats permettront d'évaluer la perte de capacité portante des murs à partir des mesures de déplacement, et le suivi du développement des fissures, pendant et après les essais au feu (Cf. Figure 2). Des blocs prélevés sur les murs chauffés seront également caractérisés au CTMNC.
- Un outil numérique, à l'échelle du matériau et de l'élément de structure, qui prend explicitement en compte les mécanismes du comportement thermomécanique et thermochimique du mortier et des pierres, ainsi que leur interaction, sera développé. L'objectif est d'évaluer l'évolution de l'endommagement de la maçonnerie lors du chauffage. Cet outil sera utilisé pour une analyse de fiabilité, et permettra d'évaluer le risque de défaillance et d'écaillage de la structure de maçonnerie.
- La caractérisation, au LRMH⁽¹⁾, des blocs de pierre provenant des voûtes effondrées de la cathédrale Notre-Dame de Paris, incendiée en 2019, servira à tester l'applicabilité des résultats obtenus à l'échelle de mur. La caractérisation de ces blocs comprendra des méthodes non-destructives, micro-destructives, ainsi que destructives.

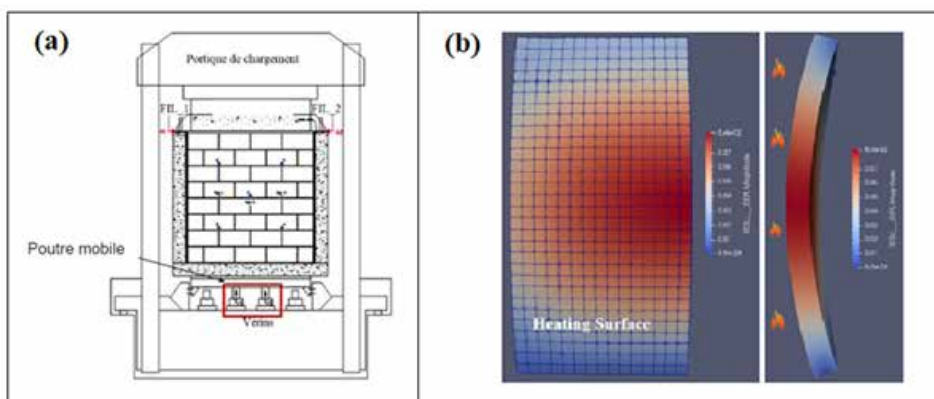


Figure 2 - (a) Schéma représentatif de l'essai de résistance au feu
(b) Déformation du mur après chauffage modélisé sous le logiciel « Code Aster »

1 - Le LRMH est le laboratoire de recherche des Monuments Historiques.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

RÉALISATION D'UN ESSAI DE RÉSISTANCE AU FEU SUR FAÇADE EN PIERRE MINCE ATTACHÉE

Pour la mise en œuvre des ouvrages de revêtements muraux en plaques de pierre mince (DTU 55.2), l'obtention d'une Appréciation de Laboratoire pour justifier le comportement de l'ouvrage vis-à-vis du risque incendie⁽¹⁾ est désormais nécessaire. En mars 2022, un essai de résistance au feu sur façade (LEPIR II) a été réalisé par le laboratoire Efectis, à la demande du CTMNC.

L'essai de comportement au feu des façades⁽²⁾ consiste à solliciter une façade montée sur un local à deux niveaux. Il est donc réalisé sur des moyens d'essais dédiés, simulant un bâtiment composé d'un rez-de-chaussée et de deux étages, les deux niveaux inférieurs étant pourvus de fenêtres. Le foyer, un bûcher normalisé, est allumé au rez-de-chaussée. Le régime de l'incendie est piloté par l'intermédiaire d'ouvrants, situés dans le mur arrière du local, au rez-de-chaussée. La métrologie mise en œuvre prend des mesures de température et de flux radiatif.

L'essai LEPIR II, réalisé cette année 2022, visait à observer :

- Le comportement de la façade face à la propagation verticale et latérale des flammes, notamment du point de vue de la chute d'objets lors du sinistre ;
- La propagation, ou non, du feu à la jonction entre la façade et le plancher situé entre les deux étages.

Le procédé constructif employé pour cet essai était un « système générique » de revêtements muraux attachés en pierre mince sur support béton, et plus spécifiquement de revêtements fixés par attaches métalliques sans polochon, conformément aux dispositions constructives du NF DTU 55.2. Le terme « système générique » renvoie à la définition d'un système qui se veut représentatif du « cas le plus défavorable ». En ce sens, différents paramètres définissant le système testé étaient guidés par cette notion du « cas le plus défavorable » : choix des matériaux constitutifs, dimensions des modules de pierre, nature et épaisseur de l'isolant, épaisseur de la lame d'air, etc.

L'essai a conduit à l'obtention d'une Appréciation de laboratoire qui apporte une réponse réglementaire aux acteurs de la construction, en prouvant que ce système en pierre naturelle répond favorablement à la réglementation applicable en matière de sécurité incendie.

Les résultats de cette expérimentation ont été présentés lors de la Journée technique ROC, organisée par le CTMNC, le 23 juin 2022.



Maquette en pierre naturelle (calcaire)
soumise à l'essai LEPIR II
réalisé par Efectis en mars 2022

1 - Au vu de la modification, en 2019, de l'Arrêté du 31 janvier 1986 relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation.

2 - Essai réalisé en raison de l'Arrêté du 10 septembre 1970 relatif à la classification des façades vitrées par rapport au danger d'incendie du ministère de l'Intérieur, et de son protocole d'application.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

ÉTUDE DE LA GLISSANCE APRÈS USURE SUR PIERRES NATURELLES : ESSAIS DE POLISSAGE

Le CTMNC poursuit son étude expérimentale visant à évaluer la glissance de la pierre en fonction de son usure, et son vieillissement. Les essais sont réalisés selon les normes ⁽¹⁾ NF EN 14231 et CEN/TS 12633.

Pour mener son étude de la glissance après usure de la pierre, le CTMNC avait fait l'acquisition d'un nouvel équipement, la « *Polish Paver Machine* », qui permet de réaliser des essais de polissage, selon la norme CEN/TS 12633. En 2022, un stagiaire ⁽²⁾ a travaillé sur cette étude, en traitant une pierre de Comblanchien, poursuivant ainsi les essais débutés en 2018.

Des essais complémentaires, sur d'autres types de finition de cette pierre calcaire, mais aussi sur d'autres types de pierres, tels que des granits des Vosges et un granit du Tarn, ont été également réalisés.

En 2023, des tests de glissance *in situ* seront menés sur des chantiers mettant en œuvre de la pierre de Comblanchien, afin de les comparer aux données obtenues en laboratoire du CTMNC. Ces essais permettront d'établir une corrélation entre les niveaux de polissage de la pierre, déterminés en laboratoire, et la durée de vie de sa finition d'origine.

L'étude vise à élaborer une méthode d'évaluation de la glissance de la pierre, en fonction de son usure et de son vieillissement, pour établir *in fine* des préconisations de sécurité.



La « *Polish Paver Machine* » du laboratoire du CTMNC à Clamart

ABOUTISSEMENT DU PROJET « OEHM - OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE DE L'HABITAT MÉDITERRANÉEN »

Lancé en 2019, le projet « OEHM » avait pour objectif la diminution des coûts énergétiques de l'habitat, individuel ou collectif, tout en assurant des conditions de confort hygrothermique aux occupants en toutes saisons. Il s'est terminé en 2022 sur des résultats encourageants et des liens bien ancrés pour poursuivre la démonstration de l'intérêt des matériaux inertiels dans un climat en évolution.

Dans le cadre du projet, des travaux de recherche expérimentale ont été menés, consistant, dans les grandes lignes, à caractériser des matériaux et à étudier leur comportement hygrothermique à plusieurs échelles. En parallèle, un travail de modélisation physique et numérique a été réalisé, afin de fournir à terme des logiciels d'aide à la conception et au dimensionnement énergétique des enveloppes de bâtiments. Ces outils, couplés à l'analyse de dispositions constructives à plus larges échelles, telles que celles d'un petit quartier ou d'un lotissement, doivent permettre d'orienter les solutions technologiques futures en matière d'économies d'énergie et de confort dans l'habitat.

1 - NF EN 14231 (décembre 2003) : « Méthodes d'essai pour les pierres naturelles - Détermination de la résistance à la glissance au moyen du pendule de frottement ».
CEN/TS 12633 (mars 2016) : « Méthode de détermination de la valeur de résistance au dérapage/à la glissance d'éléments de pavage polis ou non polis ».

2 - Issu de l'IUT d'Evry.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Les quatre Groupes de travail, tous interdépendants, ont travaillé conjointement :

- Le premier groupe a caractérisé plusieurs matériaux naturels, dont une dizaine de pierres naturelles, sur le plan thermique, mais aussi hydrique.
- Les données recueillies ont été utilisées par le deuxième groupe pour simuler les échanges de chaleur et d'humidité dans les enveloppes de bâtiment.
- Le troisième groupe a réalisé des expériences en conditions réelles, notamment sur des échantillons de pierre et sur des murs maçonnés instrumentés. La confrontation entre prédictions numériques et mesures expérimentales a permis une vérification du travail de caractérisation hygrothermique réalisé en amont, et une optimisation du code de calcul numérique.
- Le quatrième groupe a principalement étudié l'impact de la forme du bâtiment et du quartier sur le confort hygrothermique estival et la performance énergétique, afin de déterminer des règles générales optimales à destination des concepteurs.

Les principaux livrables du projet sont les rapports finaux, qui feront l'objet d'une Journée technique et d'une publication plus spécifique du CTMNC à destination de la profession, ainsi que deux thèses de doctorat soutenues à l'Université de Montpellier⁽¹⁾. Outre les outils et les méthodologies développées, le projet aura été d'une grande utilité dans la création de liens entre partenaires (LMGC⁽²⁾, C2MA des Mines d'Alès, LIFAM, Association Vivier Pierre Massif Central, Saverdun Terre Cuite, Jolie Terre, et le CTMNC...).

L'intérêt notable pour la pierre naturelle, sur ce projet, porte sur la valorisation des propriétés inertielles du matériau, qu'elles soient thermiques ou hydriques, et la bonne prise en compte de ces phénomènes dans les codes de calculs. De plus, les rendus du projet intègrent une base de données scientifiques relatives aux pierres naturelles, que le CTMNC, avec d'autres partenaires, cherche à valoriser, notamment dans le cadre d'autres projets de recherche.

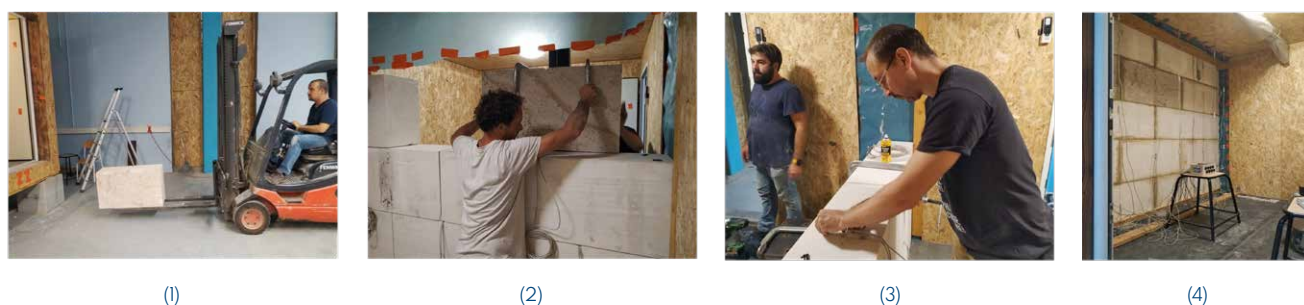


Figure 1 - Montage et instrumentation d'un mur dans la salle bi-climatique :

- 1 - Présentation des blocs de pierre au niveau de la porte d'entrée de la salle
- 2 - Mise en place des blocs par un appareil de levage spécialement conçu par VPMC.
- 3 - Instrumentation des blocs, avec 3 capteurs hygrothermiques par bloc
- 4 - Mur monté et étanchéifié sur les bords, séparant la salle en deux zones thermiques régulées individuellement en température et humidité. Une centrale d'acquisition est visible au pied du mur



1 - A. Abbas « Efficacité énergétique et comportement de l'utilisateur » (theses.hal.science/tel-03360210) et par Marjan Sansen « Typologies architecturales et morphologies urbaines adaptées au climat méditerranéen » (www.theses.fr/s218273).
2 - LMGC : Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (CNRS/Université de Montpellier) - C2MA : Centre des matériaux des Mines d'Alès - LIFAM : Laboratoire Innovation Formes Architectures Milieux (ENSAM).

PRINCIPAUX RÉSULTATS : BIM

DÉVELOPPEMENT D'OUTILS GÉNÉRIQUES BIM POUR LA PIERRE NATURELLE

La filière Pierre Naturelle participe au développement de son « matériau numérique » BIM, destiné à couvrir à la fois la pierre massive et la pierre mince. Cet objet numérique doit porter les propriétés qui permettent de le caractériser, en réutilisant autant que possible les propriétés natives des logiciels de conception d'ouvrages.

Dans ce cadre, le CTMNC a établi la liste des propriétés pertinentes, grâce aux essais d'identité et aux essais d'aptitude à l'emploi présentés dans sa matériauthèque virtuelle de la pierre française, « Lithoscope® ». Une correspondance entre les propriétés des matériaux en pierre naturelle et les propriétés couramment employées dans les logiciels « Revit® » et « ArchiCad® » existait déjà, mais quelques propriétés manquaient (étiquetage sanitaire, FDES, conditionnement des pierres), et ont donc été ajoutées dans ces outils.

Ce développement d'objets génériques « pierre naturelle » est réalisé par la société BIM&CO, chargée également de leur intégration dans les logiciels de conception d'ouvrages cités.

Précisément, pour illustrer la pierre naturelle dans ces logiciels, c'est un calcaire qui a été choisi, et rendu disponible pour quatre types de mise en œuvre :

- Pour un mur simple (selon le NF DTU 20.1),
- Pour un mur double (selon le NF DTU 20.1),
- En pierre naturelle mince collée (selon le NF DTU 52.2),
- En pierre naturelle mince attachée (selon le NF DTU 52.2).

Ces objets BIM sont téléchargeables à partir du site Web de BIM&CO⁽¹⁾. Le développement de nouveaux objets génériques pour la pierre naturelle (revêtements de sol voirie, et hors voirie) est prévu pour 2023.



Aperçu du module de recherche des objets BIM sur le site Web de la société BIM&CO

1 - BIM&CO (France) : www.bimandco.com/bim/fr/.

PRINCIPAUX RÉSULTATS : QUALITÉ

SOLUTION LOGICIELLE « LIMS » AU CTMNC : LA RÉTROSPECTIVE

Le CTMNC s'est doté d'une solution informatique de gestion de laboratoire « LIMS » (*Laboratory Information Management System*). La mise en production a débuté le 24 janvier 2023, après deux années de développement.

À l'automne 2020, le CTMNC se procurait la solution de gestion de laboratoire « TEEXMA LIMS » de la société Bassetti. S'en est suivie une semaine d'atelier interne, axé sur l'objectif de rationaliser les méthodes de travail de chacun des services techniques du CTMNC pour en établir qu'une seule, commune à tous, et ainsi faciliter l'implémentation de l'outil.

En janvier et février 2021 ont été organisées des sessions du Groupe de travail avec Bassetti autour du Cahier des charges (besoins, méthodes de travail, attentes du CTMNC, etc.), pour une implémentation de l'outil la plus pertinente possible.

Le développement de l'outil « LIMS » s'est effectué de mars 2021 à fin juin 2022, suivant cinq étapes (correspondant à cinq lots), chaque fois validées par des tests utilisateurs. L'année 2022 a ensuite été consacrée à des tests sur l'ensemble du système, visant à en corriger les *bugs* informatiques, et à affiner son paramétrage.

2023 est l'année de mise en production progressive, au rythme de l'intégration des éléments techniques de l'ancien système de gestion dans le nouveau.

DÉMARCHE QUALITÉ DU CTMNC : ACCRÉDITATIONS COFRAC, SATISFACTION CLIENTÈLE, AMÉLIORATION CONTINUE

La qualité des prestations commerciales du CTMNC est garantie par leur conformité aux exigences définies par la norme ISO/CEI 17025, pour un laboratoire d'essais reconnu compétent et fiable, et aux référentiels Terre Cuite de l'AFNOR et du CSTB. Elle repose aussi sur la satisfaction des clients et sur l'amélioration continue.



En 2022, les accréditations COFRAC⁽¹⁾ du CTMNC arrivaient à échéance de leur cycle de validité d'une durée de cinq ans. Les évaluations menées par le COFRAC ont permis de renouveler les différentes portées d'accréditation⁽²⁾.

La démarche Qualité fait partie intégrante des objectifs généraux du CTMNC et vise, notamment, la satisfaction des clients. Celle-ci se mesure par :

- Un suivi du respect des délais des prestations commerciales,
- Une analyse continue des retours clientèle, ainsi que des enquêtes de satisfaction annuelles.



Ces actions ont permis au CTMNC de définir des axes d'amélioration, portant essentiellement sur les délais et les échanges avec ses clients.

1 - COFRAC : Comité Français d'Accréditation.

2 - Accréditations COFRAC n° I-0143 « Essais » et n° 5-0075 « Certification de produits et services » - Portées disponibles sur www.cofrac.fr.

QUALITÉ

Par ailleurs, douze audits internes ont été réalisés, en 2022, par une équipe de cinq auditeurs du CTMNC. La pertinence de ces audits est l'un des points forts relevés par le COFRAC, lors de son évaluation du Centre technique.

Les autres points forts établis par les évaluateurs sont, pour l'ensemble du personnel du CTMNC :

- la compétence,
- la rigueur,
- l'expérience,
- la qualification,
- la formation continue.



« La qualité doit être le résultat d'un effort collectif, organisé et continu. »

(Source : Politique Qualité du CTMNC)

MARQUAGE CE DES PRODUITS DE TERRE CUITE : RÉVISION ET PUBLICATION DES DOCUMENTS RÉGLEMENTAIRES

Le CTMNC, en tant qu'Organisme Notifié pour le marquage CE des produits de terre cuite, délivre aux fabricants des Certificats de Production Usine (CPU) pour leurs produits de maçonnerie, boisseaux et entrevous. Ainsi les industriels de la terre cuite peuvent y apposer l'étiquette CE 2*, et les commercialiser sur le marché européen.

Le CTMNC, comme tout Organisme Notifié français est accrédité par le COFRAC (portée d'accréditation n° 5-0075 « Certification de produits et services »). Cette accréditation implique de mettre en œuvre un Système Qualité très rigoureux, et d'en garantir son amélioration continue. Ces améliorations visent à adapter le processus de certification aux évolutions du corpus normatif et réglementaire.

L'enjeu est également de répondre à des événements imprévus, comme une crise sanitaire, où il s'agit de conserver un niveau de qualité et de confiance vis-à-vis des clients, alors même que les évaluations sur sites sont rendues temporairement impossibles.

En 2022, lors de leur revue périodique par le CTMNC, les documents du Référentiel « Règles générales pour la délivrance et la surveillance du certificat du Contrôle de Production Usine » et les « Règlements d'Application », spécifiques aux différents types de produits de terre cuite, ont été révisés en profondeur, puis publiés. Parmi les nouveautés introduites, on note la possibilité de réaliser certains audits à distance, sous conditions.

PRINCIPAUX RÉSULTATS : VEILLE - COMMUNICATION

ACTIONS DE COMMUNICATION DU CTMNC DANS LE CONTEXTE DE LA RE2020

La RE2020⁽¹⁾ et l'introduction des critères d'impact carbone à l'échelle du bâtiment soulèvent, chez les acteurs de la construction, de nombreuses questions sur les choix de matériaux. Il s'est avéré important de les rassurer sur la pertinence du recours aux matériaux naturels traditionnels, et de rappeler que l'enjeu reste d'opter pour le « bon matériau au bon endroit ».

■ Batiradio : « Avec la terre, crue ou cuite, une architecture responsable »

S'il existe un matériau qui ne connaît pas la pénurie, c'est bien la terre, matière argileuse géosourcée. La terre crue s'inscrit dans la « tendance décarbonée », mais elle doit encore faire ses preuves, avec un contexte assurantiel encore perfectible. La terre cuite, quant à elle, forte d'un optimum économique favorable et d'un corpus technique abouti, fait l'objet d'un processus de décarbonation de sa fabrication, engagé sur plusieurs années. Paul-Emmanuel Loiret, architecte et président de Cycle-Terre, et Olivier Dupont (CTMNC) ont présenté sur BATIRADIO⁽²⁾, le 20 janvier 2022, les différentes expérimentations menées pour bâtir une architecture responsable avec la terre crue ou la terre cuite.



O. Dupont et P.-E. Loiret

■ « Matériaux traditionnels et produits biosourcés : une cohabitation à marche forcée ? »

La mixité des matériaux était à nouveau à l'honneur lors d'une Table Ronde de Batiactu, filmée à l'occasion du Salon EnerJ-meeting Paris (31 mars 2022). Yves Hustache (Karibati, entreprise dédiée aux biosourcés), Dominique Cottineau (Union des industriels et constructeurs bois), Philippe Gruat (filiale du béton) et Olivier Dupont (CTMNC) y ont participé.



(Droits photo : Batiactu.com)

1 - RE2020 ou Réglementation Environnementale 2020.

2 - Ecoute disponible à l'adresse www.batiradio.com/podcasts.

VEILLE - COMMUNICATION

CONTRIBUTION DU CTMNC AU DOSSIER « RÉEMPLOI » DE CONSTRUCTION21

En France, le secteur du BTP consomme, chaque année, près de 40 % des ressources naturelles et produit 42 millions de tonnes de déchets liés aux matériaux en fin de vie en œuvre ; seulement 1 % de ces déchets sont réemployés. Le CTMNC a développé une expertise dans le domaine, notamment liée au diagnostic de réemploi des matériaux issus de la déconstruction d'ouvrages.



Le réemploi des matériaux représente un levier concret de réduction de l'impact du BTP sur l'environnement, et permet également de moduler la REP (Responsabilité Elargie des Producteurs) liée à la gestion des déchets⁽¹⁾. De nombreux acteurs du BTP et de l'immobilier se sont donc emparés du sujet, mais se sont heurtés à la difficulté de passer d'une pratique expérimentale à des techniques « courantes », du point de vue assurantiel, pour la mise en œuvre des matériaux provenant de la déconstruction.

Depuis quelques années déjà, le CTMNC développe une expertise dans ce domaine, par le biais de diagnostics visant à évaluer le potentiel de réemploi des matériaux sur des bâtiments existants, réalisés à la demande de propriétaires patrimoniaux.

Le CTMNC est donc venu naturellement contribuer au dossier « Réemploi » de la plateforme Web collaborative CONSTRUCTION21 France⁽²⁾, avec un article intitulé « Réemploi des matériaux de Terre cuite ou de Pierre naturelle issus de la déconstruction d'ouvrages : retours d'expérience et méthodologie d'accompagnement des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre »⁽³⁾, mis en ligne le 23 novembre 2022.

L'ensemble du dossier « Réemploi » de CONSTRUCTION21 fera l'objet d'un ouvrage à paraître en 2023.

1 - La REP a été introduite par la loi « Anti-gaspillage pour une économie circulaire » (ou loi AGECE), promulguée le 10 février 2020, qui traite notamment de la gestion des déchets, incombant désormais aux producteurs.

2 - Site de Construction21 France : www.construction21.org/france.

3 - Voir aussi l'article dédié en page 36 de ce Rapport d'activités.

VEILLE - COMMUNICATION

RETOUR SUR LA JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC « LA PIERRE NATURELLE ET LE FEU »

Une Journée Technique ROC, organisée par le CTMNC sur le thème du comportement au feu de la pierre naturelle, s'est tenue à Paris, le 23 juin 2022. Plus de quarante personnes (ingénieurs, architectes, universitaires et professionnels de la pierre) ont suivi les interventions liées aux diverses études techniques et scientifiques traitant de la pierre naturelle en contexte d'incendie.

Animée par Gilles Martinet, Secrétaire général du SNROC⁽¹⁾, cette Journée Technique ROC 2022 a débuté par une introduction d'Emeric de Kervenoaël, Vice-président du CTMNC. Martin Vigroux (CTMNC) a présenté les résultats récents d'un essai de résistance au feu LEPIR II⁽²⁾ réalisé sur un système de revêtement mural en pierre calcaire. L'obtention d'une Appréciation de Laboratoire doit apporter une réponse réglementaire aux acteurs de la filière, prouvant que ce système en pierre naturelle répond favorablement à la réglementation applicable en matière de sécurité incendie.

Elodie Donval, en thèse de doctorat à l'Ecole des Ponts ParisTech⁽³⁾, est intervenue sur l'avancée de ses travaux portant sur le comportement au feu des murs en pierres calcaires, ses expérimentations étant destinées à alimenter des simulations numériques.

Javad Eslami, Maître de conférences à CY Cergy Paris Université, a présenté le projet ANR « POSTFIRE »⁽⁴⁾, impliquant le CTMNC et différents acteurs du monde universitaire et de l'entreprise, dont le doctorant Ayoub Daoudi a détaillé les objectifs, ainsi que les contours de la large campagne d'essais. Ce dernier s'est ainsi exprimé sur le comportement à haute température, testé de l'échelle matériau jusqu'à l'échelle muret sur une douzaine de pierres calcaires françaises.

Enfin, la Journée Technique s'est achevée par une discussion animée par David Dessandier (BRGM) et Lise Leroux (LRMH) à propos de l'incendie de la cathédrale Notre-Dame de Paris. Ces deux intervenants ont témoigné de leur retour d'expérience sur la méthodologie employée pour permettre la caractérisation et l'identification de la cause des altérations observées sur les pierres. Ils ont également expliqué comment trouver des pierres de substitution et de remplacement qui puissent répondre favorablement aux caractéristiques physico-mécaniques des pierres d'origine.



Flyer présentant la Journée Technique ROC 2022 du CTMNC

1 - SNROC : Syndicat National des Roches Ornementales et de Construction.
2 - Essai LEPIR II selon le NF DTU 55.2. Voir aussi l'article dédié en page 49 de ce Rapport d'activités.
3 - Voir aussi l'article dédié en page 45.
4 - Voir aussi l'article dédié en page 47.

PRINCIPAUX RÉSULTATS : NORMALISATION

LA RÉVISION DU RPC SUIVIE ATTENTIVEMENT PAR LA FILIÈRE TERRE CUITE

2022 fut une année de travail intense autour du projet de nouveau RPC (Règlement Produits de Construction)⁽¹⁾. Attendu depuis longtemps, le texte révisé par la Commission européenne a été publié le 30 mars 2022⁽²⁾. Il a soulevé de vives critiques de la part de la profession.

Parmi les propositions de la Commission européenne présentées dans son projet de nouveau RPC, on note :

- L'inclusion du réemploi, des produits de construction imprimés en 3D, et celle des maisons préfabriquées ;
- L'introduction de nouvelles exigences environnementales, fonctionnelles et de sécurité,
- L'obligation, pour les fabricants, d'établir une déclaration de conformité aux seuils réglementaires, qui s'ajoute à la déclaration de performances, dans un même document ;
- Ces déclarations, qui seraient fondées à la fois sur des actes délégués, des normes obligatoires et des normes volontaires donnant présomption de conformité ;
- La permission d'adoption, par la Commission, de spécifications techniques harmonisées via des actes délégués, ou d'implémentation en substitution de normes harmonisées, lorsque les organismes de normalisation européens font défaut ;
- La numérisation des échanges, ainsi que la mise à disposition des informations.

Ce projet de texte révisé a largement été critiqué par les acteurs du secteur de la construction, qui soulignent la lourdeur et la complexité du document. Lors de l'enquête publique⁽³⁾, la filière Terre Cuite a manifesté son opposition, précisant que le texte proposé ne résout pas les situations de blocage rencontrées avec l'actuelle réglementation, et qu'il va à l'encontre des positions exprimées par les parties intéressées lors des nombreuses consultations lancées par la Commission européenne depuis 2019.

Soumis à une codécision, le projet a été soumis au Parlement européen et au Conseil. Les commissions parlementaires en charge de son examen ont rendu leur avis, qui comporte une liste de plusieurs centaines d'amendements, proposant des compromis. Ce n'est qu'en 2023 que le Parlement européen statuera sur ceux qui seront retenus. Le Conseil prendra ensuite sa décision, à partir du texte de la Commission européenne et des amendements définitifs.

Selon le calendrier de la Commission européenne, le nouveau RPC devrait être publié au premier trimestre 2024. D'ici là, le CTMNC continue de se mobiliser, en suivant les différentes procédures et en participant aux instances européennes actives (AIMCC, TBE, CPE⁽⁴⁾), pour tenir informés les industriels de la filière.

1 - Le Règlement Produits de Construction est le Règlement (UE) n° 305/2011 du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 2011 qui vise à garantir la libre circulation des produits de construction au sein du marché unique. Il établit ainsi « des conditions harmonisées de commercialisation pour les produits de construction ». Les fabricants ont notamment l'obligation d'établir une déclaration de performances et d'apposer le marquage CE sur leurs produits.

2 - Projet consultable à l'adresse suivante : <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/49315>.

3 - L'enquête publique de la Commission européenne sur le projet de révision du RPC s'est achevée le 12 juillet 2022 ; les avis sont consultables à cette adresse : https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12458-Produits-de-construction-reexamen-des-regles-de-lUE_fr.

4 - AIMC : Association des Industries de Produits de Construction.

TBE : Fédération européenne des tuiles et briques.

CPE : Construction Products Europe.

NORMALISATION

VERS UNE NORMALISATION EUROPÉENNE DES PLAQUETTES DE TERRE CUITE

Au sein du Comité européen de normalisation CEN/TC 125, le Groupe de travail WG 10 en charge de la norme sur les plaquettes de terre cuite⁽¹⁾ a poursuivi ses travaux en 2022.

Concernant la norme européenne relative aux plaquettes de terre cuite, l'une des problématiques rencontrées est le risque de chevauchement des domaines d'application de la future norme avec celui défini dans la norme européenne EN 14411 dédiée aux carreaux céramiques. Plusieurs pistes ont alors été envisagées pour y remédier. Comme la norme EN 14411 est en cours de révision, la meilleure solution serait d'exclure explicitement les plaquettes de terre cuite de celle-ci.

Parallèlement, le Groupe de travail a dressé la liste des caractéristiques pertinentes pour la plaquette de terre cuite, puis a débuté ses réflexions sur les méthodes d'essai qui seront associées à la norme. Notamment, le choix de la méthode d'essai de résistance au gel entraîne de nombreux débats. En effet, le WG 10 penchant pour la méthode d'essai de la norme EN 772-22 - norme à amender avec un chapitre dédié aux plaquettes collées sur un panneau support -, les experts ont dû beaucoup échanger pour définir la nature du support, ainsi que celle de la colle, pour la réalisation de l'éprouvette. Par ailleurs, pour les plaquettes françaises, se pose la question des performances évaluées par le biais de cet essai, puisque les produits fabriqués sont actuellement soumis à la méthode d'essai au gel de la norme NF P13-307 (Plaquettes murales en terre cuite – Spécifications et méthodes d'essai).

Les travaux du WG 10 se prolongeront en 2023, avec l'objectif d'aboutir à un projet qui fasse consensus.

1 – CEN/TC 125/WG 10.

NORMALISATION

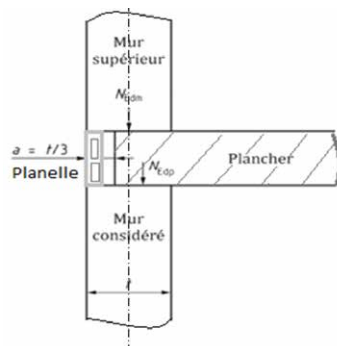
EUROCODE 6 : RÉVISION DES MÉTHODES DE CALCUL SIMPLIFIÉES POUR LES OUVRAGES EN MAÇONNERIE NON ARMÉE

La révision de l'Eurocode 6 - Partie 3 « Méthodes de calcul simplifiées pour les ouvrages en maçonnerie non armée »⁽¹⁾, en cours, introduit une évolution de la formule de calcul du coefficient de réduction de la capacité pour l'élançement et l'excentrement des charges Φ_s pour le cas des murs supportant des planchers en appui partiel. Cette évolution concerne les maçonneries utilisant des procédés d'Isolation Thermique par l'Intérieur (ITE).

L'évolution de la formule de calcul, fondée sur une approche analytique, conduit à l'abaissement de la capacité portante théorique des murs de rive, qui semble en contradiction avec les retours d'expérience des différentes filières impliquées dans le domaine de la maçonnerie, en France.

De ce fait, le Groupe de travail issu de la Commission P10B de l'AFNOR dédiée à la maçonnerie, et miroir des Groupes de travail européens CEN/TC 125 et CEN/TC 250/SC 6, a mis en place un programme d'étude visant à déterminer ledit coefficient Φ_s de manière expérimentale.

Ce Groupe de travail réunit des représentants du CTMNC (terre cuite et pierre naturelle), du CERIB (béton de granulats courants), de la société XELLA (béton cellulaire), de l'UMGO-FFB, d'EGF-BTP, et de la CAPEB⁽²⁾.



Schématisme simplifié d'un mur de rive supportant un plancher en appui partiel (profondeur d'appui du plancher $\geq 2/3$ t)

L'étude prévoit de charger de manière excentrée (avec les moyens d'essais du CERIB), et jusqu'à la rupture, des murs de 20 cm d'épaisseur (24 cm pour la pierre naturelle) et environ 3 m de hauteur, supportant une dalle de 20 cm d'épaisseur, avec une portée de 6 m. La dalle vise à reproduire le cas d'un plancher partiellement appuyé, une charge constante lui étant appliquée à l'aide d'un vérin visant à reproduire l'effet des charges d'exploitation d'un bâtiment de logements collectifs (actions calculées à l'ELU⁽³⁾).

Les différentes filières impliquées dans l'étude ont collaboré de manière active pour l'approvisionnement des matériaux (éléments de maçonnerie, mortiers d'arase, mortiers de montage...), et le montage des maquettes d'essais.

Les résultats de l'étude seront transmis au CEN/TC 250/SC 6, en vue de la prise en compte des indications communes aux quatre configurations de murs considérées.

1 - La révision de l'EC 6 - P 3 donne lieu au projet de norme prEN 1996-3 : 2022 - Méthodes de calcul simplifiées pour les ouvrages en maçonnerie non armée.

2 - UMGO-FFB : Union de la Maçonnerie et du Gros-Œuvre, au sein de la Fédération Française du Bâtiment.

EGF-BTP : Syndicat national des entreprises générales françaises de bâtiment et de travaux publics.

CAPEB : Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment.

3 - ELU : Etat limite ultime.

NORMALISATION

PIERRE NATURELLE : ACTUALITÉ DE LA NORMALISATION

Tour d'horizon des principales nouveautés normatives de l'année 2022 concernant la filière Pierre Naturelle.

P10B - « Maçonnerie - miroir du CEN/TC 125 et CEN/TC 250/SC 6 »

L'Eurocode 6 (EN 1996) est en cours de révision. Les nouveaux textes prévus pour 2023 constitueront la seconde génération de ces codes de calcul, la première génération datant de 2006.

P61C - NF DTU 52.2 « Revêtements collés »

Le NF DTU 52.2 révisé est en attente de publication.

P65A - NF DTU 55.2 « Pierre attachée »

Les attaches de fixation sont entrées dans le domaine traditionnel, les Avis Techniques correspondants ne sont donc pas reconduits. Les exigences sur les attaches doivent faire l'objet d'un amendement au NF DTU 55.2 mais le processus est bloqué, faute d'une entente entre les fabricants et les bureaux de contrôle.

P75E « Travaux de bâtiment - Systèmes d'isolation thermique par l'extérieur en bardage rapporté avec lame d'air ventilée »

Les ardoises naturelles ont été intégrées dans le domaine d'emploi du NF DTU 45.4.

CNPS - « Parasismique »

L'Eurocode 8 (EN 1998) est en cours de révision.

CEN/TC 128 SC 8 - « Ardoises »

La norme EN 12326-2 « Ardoises et éléments en pierre pour toiture et bardage pour pose en discontinu - Partie 2 : méthodes d'essai pour ardoises et ardoises carbonatées » est en attente de révision.

Le projet de norme prEN 12326-3 « Schistes et pierres schisteuses pour toiture pour pose en discontinu - Spécifications et méthodes d'essai » a été approuvé à l'enquête CEN.

CEN/TC 246 WG 2 - « Méthodes d'essai pierre naturelle »

La norme NF EN 12372 « Détermination de la résistance à la flexion sous charge centrée » a été publiée en mars 2022.

Le projet de norme prEN 16306 « Détermination de la résistance du marbre aux cycles thermiques et d'humidité » a été publié en septembre 2022.

Le projet de norme prEN 14579 « Détermination de la vitesse de propagation du son » est en cours de révision.

CEN/TC 246 WG 3 - « Spécifications pierre naturelle »

La norme révisée NF EN 1467 « Blocs bruts » a été publiée en octobre 2022, tandis que la norme NF EN 1468 « Tranches brutes » a été publiée en novembre 2022.

CEN/TC 346 WG 3 - « Évaluation de méthodes et produits pour les travaux de conservation sur les matériaux inorganiques poreux constitutifs du patrimoine culturel »

La norme NF EN 17655 « Essai d'absorption d'eau à l'éponge » datée de juillet 2022 a été publiée.

Enfin, le projet de norme prEN 17891 « Dessalement des matériaux inorganiques poreux par application de compresses » a été approuvé à la suite à l'enquête du CEN.

PRINCIPAUX RÉSULTATS : FORMATION

L'ACTUALITÉ DES FORMATIONS TUILES ET BRIQUES EN 2022

Les formations organisées par le CTMNC, pour les entreprises du secteur des tuiles et briques de terre cuite, reposent sur deux axes : les Certifications de Qualification Professionnelle (CQP) et les formations continues.

Le nouveau cycle de formation CQP « Technicien de maintenance », lancé en 2021, a été suivi par des salariés de quatre entreprises de la filière, qui ont obtenu leurs diplômes en juillet 2022.

Par ailleurs, en lien avec l'accord de branche signé en mai 2021, visant à favoriser l'emploi des jeunes, la formation par l'alternance, et le développement des CQP, a été créé un programme spécifique de formation des salariés souhaitant exercer la fonction de tuteur ou de maître d'apprentissage. Cette nouvelle offre leur permet de structurer leur accompagnement tutoral grâce à des outils adaptés.

Cette formation continue « Tuteurs et Maîtres d'apprentissage » s'effectue sur deux jours pour les nouveaux tuteurs, et dure une journée dans le cas d'un perfectionnement. Elle est réalisée par le CTMNC, au choix en présentiel ou en distanciel.

En 2022, 56 tuteurs et maîtres d'apprentissage ont ainsi été formés. De nouvelles sessions seront proposées en 2023.



Livret d'accueil, conçu par la FFTB, distribué aux salariés de la filière Terre Cuite dans le cadre de leurs formations

LISTE DES MEMBRES

CONSEIL D'ADMINISTRATION – ANNÉE 2022

Au titre des représentants des chefs d'entreprises

Frédéric DIDIER (Président) _____ **WIENERBERGER SAS**
 Emeric de KERVENOAËL (Vice-Président) _____ **SNROC**
 Julien BEIDELER _____ **UMGO-FFB**
 Pascale ESCAFFIT _____ **BOUYER-LEROUX**
 Eléonore GROSSETETE _____ **EDILIANS**
 Eric LE DEVEHAT _____ **CAPEB UNA PIERRE**
 Laurent MUSY _____ **TERREAL**
 Fouzia SALHI _____ **BMI-MONIER**

Au titre des représentants du personnel technique

Laurent DELIAS _____ **CGT**
 Serge GONZALES _____ **FO**

Au titre des personnalités choisies en raison de leur compétence

Céline DUCROQUETZ _____ **GIE BRIQUE DE FRANCE**
 Claire PEYRATOUT _____ **ENSIL-ENSCI**

Au titre de l'État

Guglielmina OLIVEROS-TORO _____ **Commissaire du
Gouvernement - MTECT**
 Dominique BELLENOUE **Adjoint au Représentant du
Commissaire du Gouvernement - MTECT**
 Lionel PLOQUIN _____ **Contrôleur Général
Économique et Financier - CGEFI**

COMITÉ TECHNIQUE – ANNÉE 2022

Comité Technique et Scientifique - Tuiles & Briques

Martin PIOTTE (Président) _____ **TERREAL**
 Stéphane DAUTRIA _____ **BMI - MONIER**
 Lionel DESPIERRES _____ **BMI - MONIER**
 Céline DUCROQUETZ _____ **FFTB**
 Bertrand LANVIN _____ **EDILIANS**
 Constant MEYER _____ **WIENERBERGER SAS**
 Jean-François REGRETTIER _____ **BOUYER-LEROUX**
 Laurent TOURNERET _____ **WIENERBERGER SAS**
 Thierry VOLAND _____ **FFTB**
 Isabelle DORGERET _____ **CTMNC**
 Olivier DUPONT _____ **CTMNC**

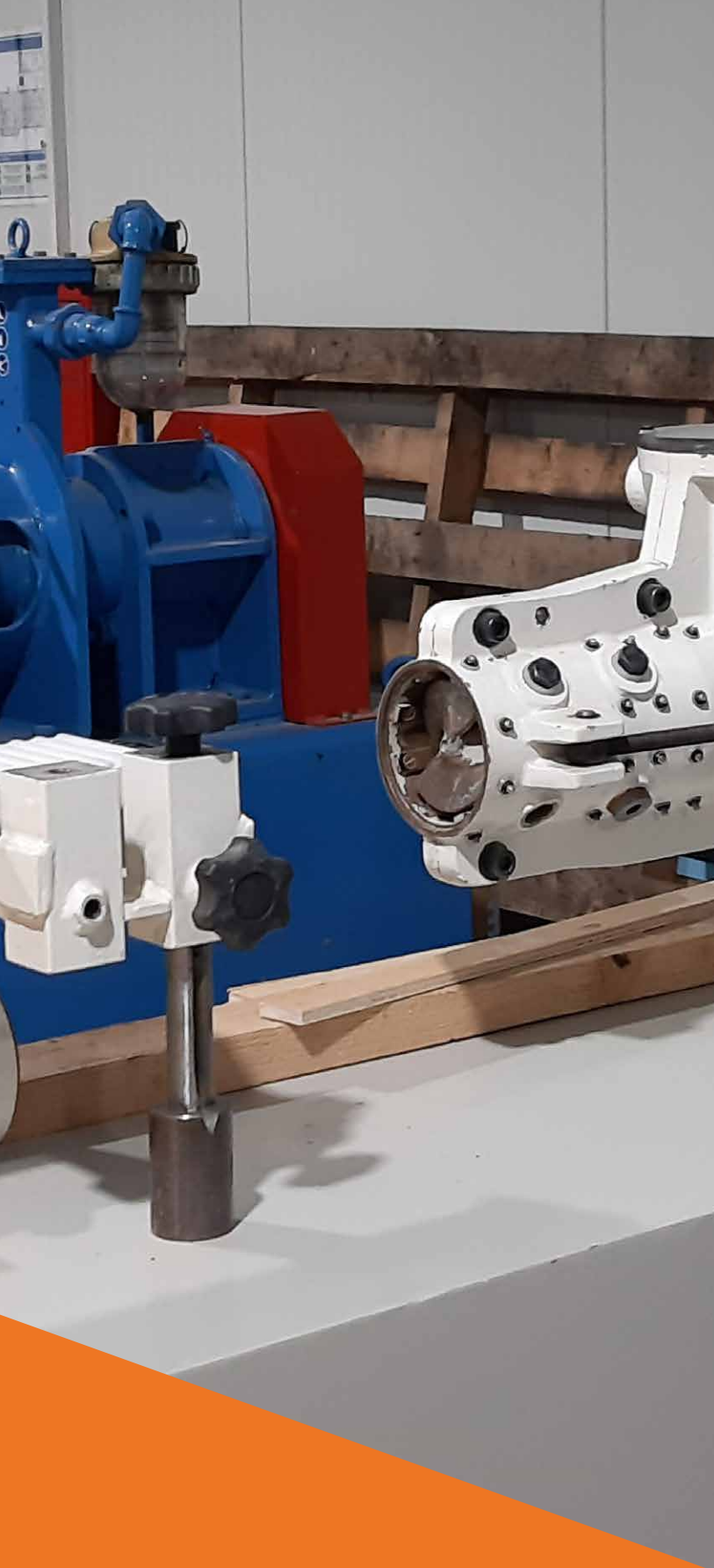
Comité Technique et Scientifique - Pierres Naturelles

Patrice BEAUFORT _____ **CAPEB UNA PIERRE**
 Olivier CHÈZE _____ **CTMNC**
 Emeric DE KERVENOAËL _____ **CARRIERES DE NOYANT**
 Raphaël DELSAUX _____ **FFB-UMGO**
 Isabelle DORGERET _____ **CTMNC**
 Eric LE DEVEHAT _____ **LE DEVEHAT-TIFFOIN**
 Claudine MALFILATRE _____ **RAULT GRANIT**
 Jean-Louis MARPILLAT _____ **ROCAMAT**
 Gilles MARTINET _____ **SNROC**
 Didier MERZEAU _____ **ART DE BÂTIR**
 Philippe ROBERT _____ **LA GENERALE DU GRANIT**
 Christian SCHIEBER _____ **CAPEB UNA PIERRE**
 Jean-Louis VAXELAIRE _____ **GRANITERIE PETITJEAN**

COMITÉ D'ORIENTATION STRATÉGIQUE – ANNÉE 2022

Comité d'Orientation Stratégique - Tuiles & Briques

Patrice BEAUFORT _____ **UNA-CAPEB**
 Vincent CHARROIN _____ **FFB-UMGCCP**
 Céline DUCROQUETZ _____ **FFTB**
 Martin PIOTTE _____ **COMITÉ TECHNIQUE ET
SCIENTIFIQUE DU CTMNC**
 Julien SERRI _____ **FFB-PÔLE HABITAT**
 Anne-Sophie KEHR _____ **RÉSEAU DES MAISONS
DE L'ARCHITECTURE**
 Isabelle DORGERET _____ **CTMNC**
 Olivier DUPONT _____ **CTMNC**



CTMNC

Terre et Pierre
Expertise et Innovation

Siège Social

Département Terre Cuite
Département Roches
Ornementales et de Construction

17, rue Letellier, 75015 Paris
Tél. : 01 44 37 07 10

Services techniques

200, avenue du Général de Gaulle
92140 Clamart
Tél. : 01 45 37 77 77

11, avenue d'Ariane
87068 Limoges Cedex
Tél. : 05 19 76 01 40

e-mail : ctmnc@ctmnc.fr
www.ctmnc.fr

