RAPPORT D'ACTIVITÉS 2021

CTMNC

Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 1 03/05/2022 12:36

RAPPORT D'ACTIVITÉS 2021

ÉDITORIAL DES PRÉSIDENTS — 5

LE CTMNC EN QUELQUES MOTS — 6
- 60 ans de recherche et d'innovation dans le domaine de la construction

ACTUALITÉS — 7
- Institut Carnot MECD : une montée en puissance comme acteur de la R&D Bâtiment

COMPTES 2021 — 8

PRINCIPAUX RÉSULTATS

TUILES — 9
- Diffuser les bonnes pratiques de mise en œuvre en montagne
- Diminuer l'impact des îlots de chaleur urbains par le développement de revêtements et de produits de terre cuite rafraîchissants
- Un banc d'essai pour le projet « SUPERHERO »
- Règles Professionnelles « Bardage rapporté de tuiles terre cuite sur construction à ossature bois et panneaux CLT »

BRIQUES DE STRUCTURE — 12
- Étude sur le comportement au feu des murs porteurs en maçonnerie de briques à joint mince
- Mieux appréhender le comportement à haute température du joint dans les assemblages briques-mortier
- Référentiel Marque NF 554 : un an après le passage dans le domaine traditionnel des maçonneries de briques à joint mince
- Le Référentiel de certification « NF Briques de terre cuite » fait peau neuve
- Recommandations pour la mise en œuvre des perches de sécurité

PAREMENT — 16
- Comportement des systèmes d'ETICS avec plaquettes de terre cuite face à la diffusion de la vapeur d'eau
- Le Guide de conception de maçonneries décoratives
- DTA « About de dalle » en briques de terre cuite
- FDES « Brique de terre cuite de 22 cm x 22 cm »

PIERRES NATURELLES — 19
- Groupe de travail « Marbrerie » : publication du guide « Terminologie »
- Rédaction d'un guide de « Mise en œuvre » des plans de travail en marbrerie
- Inscriptions et ornementations gravées du monument funéraire et cinéraire en pierre naturelle
- Caractérisation de la pierre par la vitesse de propagation du son : le CTMNC étoffe sa gamme d'équipements
- Le site Web « Lithoscope CTMNC » s'enrichit

TERRE CRUE — 22
- Une norme révisée et une première FDES pour rendre plus attractive la terre crue

DÉVELOPPEMENT DURABLE — 23
- Gestion des sédiments et loi sur l'économie bleue
- Valorisation de terres excavées : un potentiel pour la filière
- Emploi des produits de terre cuite en fin de vie
- Réemploi des produits de terre cuite : une opportunité pour la filière et le CTMNC
- Propriétés hygrothermiques et environnementales de composants de bâtiments en pierres calcaires

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT — 28
- Publication de la feuille de route « Décarbonation » de la filière Terre Cuite
- Hydrogène combustible : le projet « HYDETOP »
- Capture du CO_2 et méthanation : le projet « RECYCARB »
- La révision du BREF « Céramique » avance
- Solutions alternatives au $BaCO_3$ contre les efflorescences de séchage des produits céramiques
- Convention CSTB-CTMNC sur la résistance au feu des maçonneries en pierres naturelles : premiers résultats de recherche
- Avancées du projet « POSTFIRE - Stabilité et préservation des bâtiments du patrimoine culturel en maçonnerie de pierre après incendie »
- Poursuite du projet « OEHM - Optimisation Energétique de l'Habitat Méditerranéen »
- Implication du CTMNC dans le projet national « DOLMEN - Développement d'Outils et de Logiciels pour la Maçonnerie Neuve et Existante »

BIM — 35
- Le BIM et la pierre naturelle

QUALITÉ — 35
- Le CTMNC poursuit le développement de son logiciel « LIMS »
- Le CTMNC garantit la qualité de ses prestations d'essais et de certification
- Auditer "100 % à distance" en temps de Covid-19

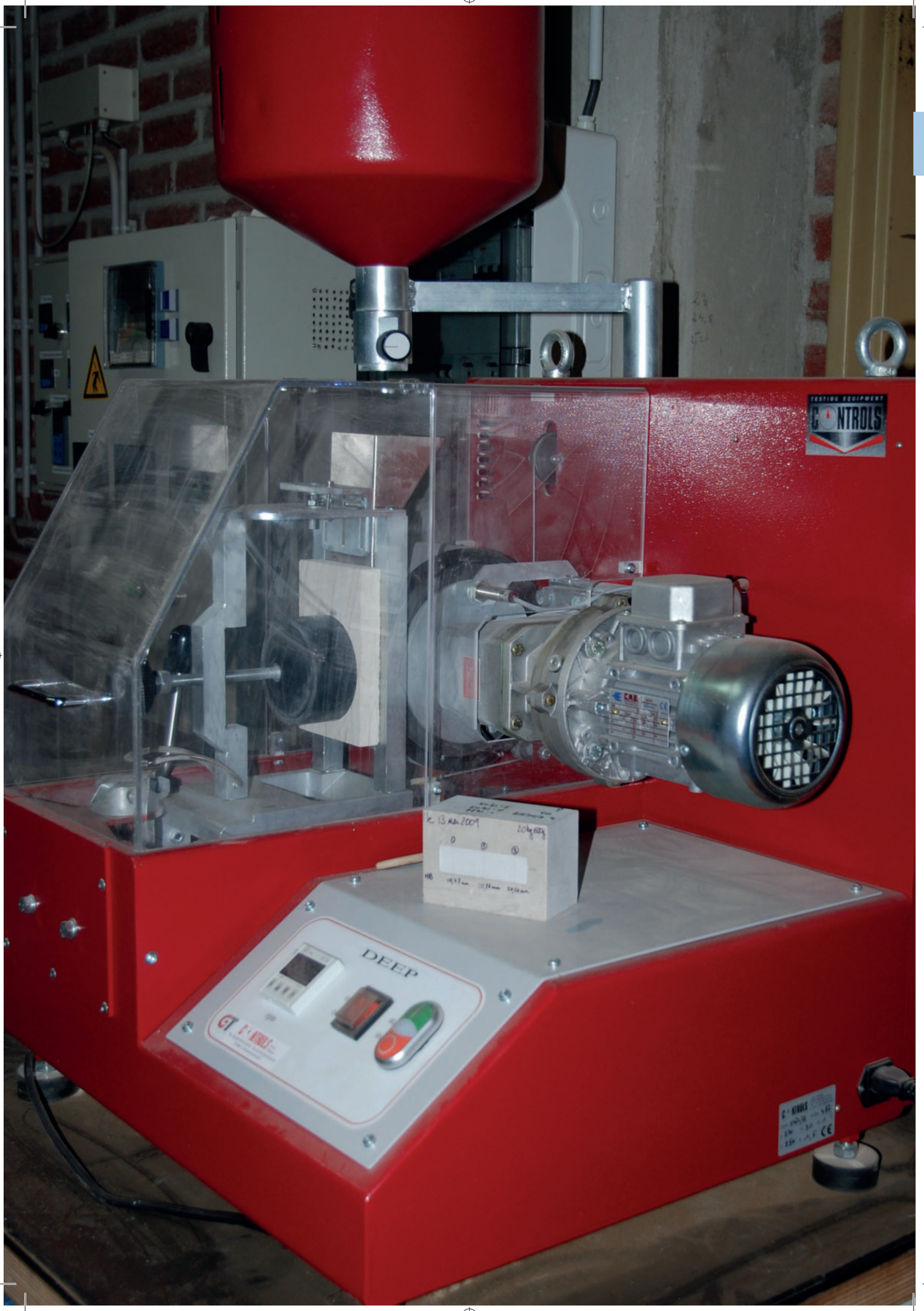
VEILLE - COMMUNICATION — 38
- Un « Parcours Innovation » conçu par MECD pour le Congrès de l'USH
- Journée de présentation du nouveau livre « Pierres naturelles - Conception et réalisation de voiries et d'espaces publics »
- Journée technique du CTMNC « La pierre massive au défi de la Réglementation Environnementale 2020 »

NORMALISATION — 40
- Nouveautés spécifiques à la terre cuite
- Nouveautés normatives pour la pierre naturelle, et la terre cuite

FORMATION — 42
- La formation des professionnels de la filière Terre Cuite en 2021
- Le CTMNC est « certifié Qualiopi »

LISTE DES MEMBRES — 43

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 3 03/05/2022 12:36


TESTING EQUIPMENT
CONTROLS
DEEP

ÉDITORIAL DES PRÉSIDENTS

LAURENT MUSY
PRÉSIDENT

EMERIC DE KERVENOAËL
VICE-PRÉSIDENT

Après une année 2020 marquée par le début de la pandémie de Covid-19, 2021 a été une année presque normale. Il a fallu, en effet, travailler ensemble de façon parfois différente, en respectant les gestes barrières, et en organisant les réunions en visio-conférence chaque fois que cela était nécessaire.

Cette année a été ponctuée par des **sujets importants et structurants** pour nos professions :

- La RE2020[1], qui constitue un enjeu capital pour le secteur de la construction neuve : elle sollicite beaucoup d'acteurs du CTMNC et des filières, pour apporter toutes les justifications et les études nécessaires à l'emploi des produits de terre cuite et de pierre naturelle dans ce domaine.
- La REP[2] et, plus généralement, l'économie circulaire, qui ont mobilisé les équipes dans l'objectif de comprendre, d'anticiper et d'évaluer l'impact de la reprise, sans frais, des déchets issus des bâtiments construits avec nos matériaux. Des études sur la fin de vie des produits ont complété la réflexion.
- De nombreux travaux visant la décarbonation de la production terre cuite, dont le projet « HYDETOP[3] » , qui a pu débuter grâce à un financement de l'ADEME, et le projet « RECYCARB[4] » .

Le CTMNC a poursuivi sa mission fondamentale d'accompagnement technique du **développement des filières Pierre Naturelle et Terre Cuite** avec, notamment :

- Des études thermiques, feu, et environnementales, en faveur de l'utilisation de la pierre massive en construction,
- L'aboutissement de travaux sur la pose de tuiles sur ossature bois, ou en climat de montagne,
- De nouveaux essais de caractérisation mécanique à haute température sur briques,
- Le développement des Référentiels de certification terre cuite NF 554 et NF 046.

Le CTMNC a également communiqué à l'occasion de nombreuses conférences techniques. Son Département ROC a organisé deux journées techniques rencontrant un fort succès, avec de nombreux participants en « présentiel ».

En interne, les équipes ont travaillé de concert à la digitalisation des processus de réalisation des prestations commerciales, via la mise en place d'un système d'information destiné aux laboratoires d'analyses et d'essais. Un véritable projet commun de modernisation des pratiques qui mobilise tous les salariés du CTMNC !

Et le service Formation du CTMNC a obtenu, en 2021, la certification Qualiopi pour toutes ses actions de formation externe.

Enfin, du point de vue financier, l'année 2021 se termine mieux que prévu, puisque le montant de la collecte des Taxes Fiscales Affectées s'est révélé supérieur au budget, en raison d'une année plutôt bonne pour l'ensemble des secteurs de la construction.

1 RE2020 : Réglementation Environnementale 2020.
2 REP : Responsabilité Elargie du Producteur.
3 Projet « HYDETOP » lié à la cuisson des produits de terre cuite dans les installations alimentées avec de l'hydrogène.
4 Projet « RECYCARB » dédié à la capture du CO_2 des fumées d'usines de terre cuite et au processus visant à reformer du méthane avec de l'hydrogène.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 5 03/05/2022 12:36

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).

CTMNC
Terre et Pierre
Expertise et Innovation

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 L 521-13 de l'ordonnance n° 2014-135 du 17 février 2014.

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.

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.).

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 6 03/05/2022 12:36

ACTUALITÉS

Institut Carnot MECD : une montée en puissance comme acteur de la R&D Bâtiment

Le séminaire, organisé en présentiel les 26 et 27 octobre 2021 à Paris, a permis de partager les nombreuses actualités et réalisations 2021 de l'Institut Carnot MECD[6] et d'envisager la poursuite de sa stratégie de développement sur la base de la convention signée en 2020 avec l'ANR[7].

LA MIXITÉ POUR ADN, EN RÉPONSE AUX ENJEUX DE LA RE2020[8]

Ce positionnement est désormais bien reconnu comme le prouve l'étude « Matériaux stratégiques pour la construction et la rénovation bas carbone et responsable » réalisée pour l'USH[9], dans le cadre d'un chantier collaboratif d'accompagnement des organismes HLM face aux évolutions liées à l'entrée en vigueur de la RE2020. La publication de plusieurs articles dans la revue « Passion Architecture » de l'UNSFA[10] a également permis d'avoir une forte visibilité auprès des acteurs de la maîtrise d'ouvrage ou de la maîtrise d'œuvre.

DES PROJETS DE RESSOURCEMENT SCIENTIFIQUES PROMETTEURS

MECD avait lancé deux projets de recherche en 2020 : le projet « **COLABOR** » (Construction du Laboratoire de Réemploi de MECD) et le projet « **DIMILOT** » (Développement de systèmes constructifs destinés à réduire l'intensité des îlots de chaleur).

En 2021, deux autres projets ont été sélectionnés, qui seront menés en 2022 : le projet « **ISCORT** » (Impact sur le confort d'été de la rénovation thermique de différentes typologies de logements en milieu urbain), et le projet « **SUREMIX** » (Surélévation et mixité), ayant pour objectif de valoriser un ensemble d'actions déjà menées par les membres de l'Institut Carnot MECD à la suite de la mise en ligne, en février 2021, de l'outil Web « LIGN2TOIT ».

www.mecd.fr

CONCRÉTISATION DE QUATRE PLATEFORMES TECHNOLOGIES ET INNOVATIONS

Au cours de l'année 2021, les différents partenaires de MECD se sont massivement investis pour consolider une communauté de compétences et d'équipements multi-matériaux, multiphysiques, multi-échelles. Des offres de prestations à destination des acteurs de différents marchés ont été élaborées au travers de quatre plateformes :

- Plateforme 1 « Structures et Matériaux » (en situation normale, d'incendie ou de séisme)
- Plateforme 2 « Physique & Confort du bâtiment »
- Plateforme 3 « Durabilité matériaux & Systèmes constructifs »
- Plateforme 4 « Economie circulaire & Développement durable ».

Dès 2022, des actions de communication seront menées pour donner une visibilité à ces plateformes, tandis que les travaux de réflexion se poursuivent sur deux nouvelles thématiques : « ConceptLab » et « Industrie du futur ».

6 Labellisé « Institut Carnot » depuis le 7 février 2020, MECD (Matériaux et Equipements pour la Construction Durable) regroupe quatre Centres Techniques Industriels (CTI) de la filière Construction, dont le CTMNC, ainsi que deux laboratoires de recherche universitaires, et le Réseau CTI.
7 ANR : Agence Nationale de la Recherche.
8 RE2020 : Réglementation Environnementale 2020.
9 USH : Union Sociale de l'Habitat.
10 UNSFA : Union Nationale des Syndicats Français d'Architectes.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 7 03/05/2022 12:36

PRINCIPAUX RÉSULTATS

TUILES

Diffuser les bonnes pratiques de mise en œuvre en montagne

Afin de valoriser les tuiles de terre cuite certifiées Marque NF option « Montagne », le CTMNC et les industriels de la filière travaillent ensemble à la rédaction d'un guide de prescriptions pour la pose en climat de montagne.

Le CTMNC et les industriels de la terre cuite[11] continuent leur travail de conception d'un guide consacré à la mise en œuvre des tuiles en climat de montagne. Destiné aux couvreurs intervenant sur des chantiers situés entre 900 et 1500 mètres d'altitude, il est destiné à valoriser le choix des tuiles certifiées par la Marque NF « Tuiles de terre cuite » disposant de l'option « Climat de montagne ».

Ce guide a pour objectif de décrire les dispositions de mise en œuvre propres à cette zone climatique. En effet, la pose de tuiles de terre cuite en climat de montagne n'est pas prise en compte dans les DTU de la série 40, ni dans le « Guide des couvertures en climat de montagne » du CSTB[12].

Le climat de montagne se caractérise par des sollicitations thermo-hydriques spécifiques, notamment dues à un enneigement prolongé et important. Cela rend les travaux de couverture et travaux annexes (ventilation, évacuation des eaux de fonte, etc.) particulièrement délicats. Les toitures doivent donc être conçues et réalisées en tenant compte :

- Des écarts journaliers de température de surface,
- Des charges réparties ou localisées de neige ou de glace,
- De l'érosion et des arrachements provoqués par des déplacements de la neige et de la glace,
- Des phénomènes de siphonnage,
- Des périodes réduites de l'année pendant lesquelles il est possible d'effectuer des travaux d'entretien et de maintenance.

Le Groupe de travail rédige donc les préconisations de mise en œuvre permettant d'obtenir une toiture pérenne, et prévoit de publier ce guide en 2022.

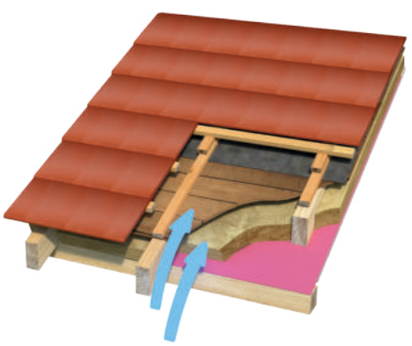


Schéma 3D de la mise en œuvre des tuiles avec le système de double ventilation sur support continu

Schéma 3D du traitement d'un point singulier en climat de montagne : traitement de rive de tête avec dépassement vertical du mur

11 Réunis au sein de la FFTB (Fédération Française des Tuiles et Briques) - www.fftb.org.
12 CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 9 03/05/2022 12:36

Diminuer l'impact des îlots de chaleur urbains par le développement de revêtements et de produits de terre cuite rafraîchissants

En lien avec l'un des axes stratégiques de développement de la filière Terre Cuite, le CTMNC a poursuivi son projet visant à développer des produits présentant des propriétés rafraîchissantes. Il s'agit de contribuer ainsi au développement de produits d'enveloppe permettant de limiter les besoins de climatisation, de diminuer la consommation d'énergie et l'émission de CO_2, tout en améliorant le confort de l'habitant.

Le phénomène des îlots de chaleur observés dans les grandes villes, prenant la forme d'un dôme thermique, s'explique principalement par l'augmentation du bâti, en réponse à l'accroissement constant de la population. En effet, les surfaces construites absorbent, pendant la journée, une quantité plus importante de rayonnement solaire que les surfaces naturelles, et le restituent, durant la nuit, sous forme d'énergie thermique, ce qui conduit à une élévation de la température en ville par rapport à sa périphérie.

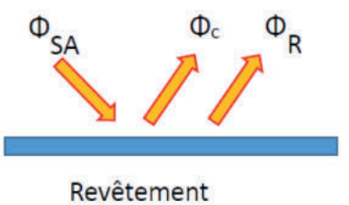
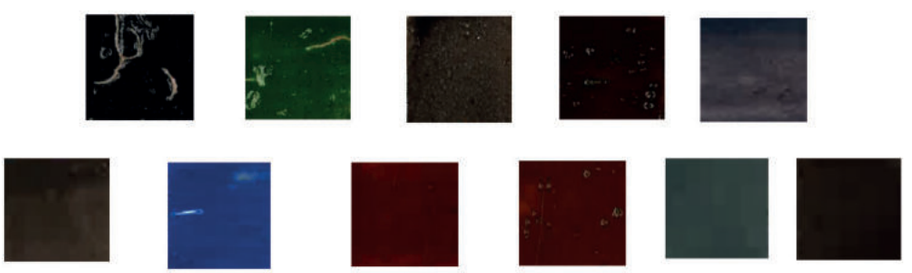


Illustration des échanges d'énergie entre l'environnement et la surface d'un matériau ou d'un revêtement

Depuis plusieurs années, de nombreuses études sont menées sur l'impact de nouveaux produits de construction ou de revêtements permettant d'atténuer ce phénomène. Le CTMNC mène ainsi un projet visant à mettre au point et à optimiser des produits d'enveloppe en terre cuite présentant des propriétés rafraîchissantes. Dans ce cadre, des pigments polychromes ou rafraîchissants (dits « cool ») sont conçus, puis intégrés aux produits, pour leur conférer une réflectivité solaire élevée sur tout le spectre solaire, ainsi qu'une émissivité thermique forte dans le domaine de l'infra-rouge.

Satisfaisant aux exigences réglementaires, environnementales, industrielles et économiques, les pigments, revêtements et produits développés présentent des teintes sombres, adaptées aux attentes du marché. Ces produits ont un indice SRI[13] supérieur aux produits de terre cuite conventionnels utilisés en façade ou en couverture.

Grâce à des dispositifs expérimentaux mis au point et validés dans ses laboratoires, le CTMNC a démontré qu'une évaluation des gains énergétiques et thermiques est possible : les échanges et les différences de température constatés entre des produits présentant un revêtement de surface rafraîchissant et ceux n'en ayant pas ont été mis en évidence.



Exemples de teintes sombres de revêtements de produits de terre cuite présentant des propriétés rafraîchissantes

13 L'indice SRI ou « *Solar Reflectance Index* » est un indice permettant de classer les revêtements en fonction de leur aptitude à limiter l'échauffement sous l'effet du rayonnement solaire.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 10 03/05/2022 12:36

Un banc d'essai pour le projet « SUPERHERO »

En juillet 2020, le projet « SUPERHERO », programme européen LIFE[14], avait été lancé pour une durée de cinq ans. En 2021, le CTMNC a mis en place un banc d'essai pour caractériser la perméabilité à l'air des couvertures en tuiles de terre cuite.

Le projet européen « SUPERHERO » a pour objectif de promouvoir une solution de refroidissement passif du bâtiment en mettant en valeur les qualités intrinsèques de la tuile de terre cuite, tout en s'appuyant sur le procédé développé dans le projet « HEROTILE » dont ce projet est la suite logique.

Banc d'essai de perméabilité à l'air des couvertures - en cours de construction

En 2021, le CTMNC a travaillé de concert avec le consortium impliqué dans le projet sur la validation du principe de perméabilité à l'air des toitures en tuiles ; il a ainsi pu mettre en place un banc d'essai permettant la détermination de ce paramètre. Des essais ont démarré pour optimiser la méthode expérimentale et déterminer les incertitudes.

En 2022, le CTMNC participera à des essais inter-laboratoires pour valider le principe et la méthodologie suivis, afin de publier un ETA (*European Technical Assessment*). Le consortium a créé un site Web permettant de suivre l'avancement du projet à l'adresse suivante : www.lifesuperhero.eu.

Règles Professionnelles « Bardage rapporté de tuiles terre cuite sur construction à ossature bois et panneaux CLT »

Les Règles Professionnelles traitant du bardage en tuiles de terre cuite ont été publiées en 2021. Entérinées par la Commission Prévention Produits (C2P)[15], elles sont l'aboutissement d'un travail de longue haleine du CTMNC, en collaboration avec la filière, et encadrent cette mise en œuvre.

En collaboration avec le FCBA, l'UMGCCP-FFB, la FFTB, la CAPEB, l'UMB-FFB et l'UICB[16], et des bureaux de contrôle technique (SOCOTEC, Bureau Veritas Construction, Groupe Qualiconsult, Apave), le CTMNC a finalisé la rédaction des Règles Professionnelles couvrant la mise en œuvre des tuiles de terre cuite en bardage sur construction à ossature bois (COB) et panneaux CLT[17].

La validation de ce document a été annoncée dans la « Publication semestrielle C2P » de l'AQC de juillet 2021. Les Règles Professionnelles sont téléchargeables sur le site Web du CTMNC (www.ctmnc.fr).

Les travaux réalisés dans ce cadre ont servi également à la rédaction du DTU 45.4 portant sur l'isolation thermique par l'extérieur par bardage rapporté (supports béton et maçonnerie). En effet, la partie du futur DTU 45.4 concernant les tuiles de terre cuite, rédigées fin 2021, sont déjà soumises à l'enquête publique ; leur parution est prévue courant 2022.

Ces Règles Professionnelles ont été présentées lors du Congrès de l'USH (Union Sociale pour l'Habitat), qui s'est tenu en septembre 2021[18].

Maquette de tuiles de terre cuite posées en bardage : entourage de baie

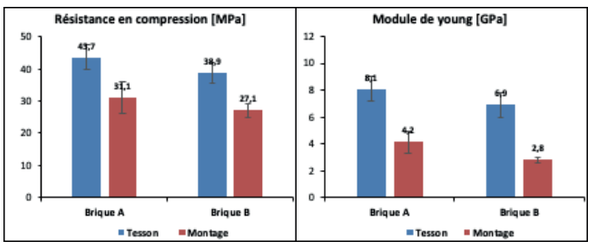
14 Programme européen LIFE19 CCA/IT/001194 du 01/07/2020 au 30/06/2025 : « SUstainability and PERformances for HEROtile-based energy efficient roofs".
15 C2P au sein de l'Agence Qualité Construction (AQC).
16 FCBA : Centre Technique et Industriel de la forêt, de la cellulose, du bois-construction et de l'ameublement.
UMGCCP : Union des Métiers du Génie Climatique, de la Couverture et de la Plomberie, au sein de la Fédération Française du Bâtiment (FFB).
FFTB : Fédération Française des Tuiles et Briques - www.fftb.org. CAPEB : Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment.
UMB : Union des Métiers du Bois, au sein de la Fédération Française du Bâtiment (FFB). UICB : Union des Industriels et Constructeurs Bois et biosourcés.
17 Panneaux CLT : panneaux en bois lamellé-croisé (*Cross Laminated Timber*).
18 Voir l'article dédié, page 38 de ce Rapport d'activités.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 11 03/05/2022 12:36

BRIQUES DE STRUCTURE

Etude sur le comportement au feu des murs porteurs en maçonnerie de briques à joint mince

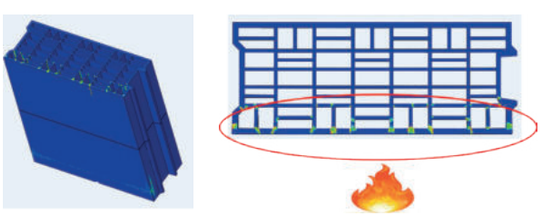
Les travaux de thèse menés en collaboration avec l'INSA de Rennes ont bien avancé en 2021, présentant des résultats très riches dans la partie expérimentale, ainsi que des premiers résultats numériques intéressants.



Résistances moyennes et modules de Young pour différentes configurations de montage

Pour bien comprendre les phénomènes thermo-mécaniques régissant la tenue au feu des murs en maçonnerie montés aux joints minces, des investigations expérimentales à différentes échelles ont été menées pour les éléments constitutifs du mur, à savoir la brique en terre cuite et le mortier-colle, pour deux qualités de briques.

Le comportement mécanique de la terre cuite à froid est déterminé grâce aux essais classiques (statiques et dynamiques) réalisés sur des tessons extraits des différentes parois de la brique, et sollicités dans différentes directions. Les essais statiques sont des essais de compression simple et des essais de traction par flexion. Les essais dynamiques sont des essais d'excitation impulsionnelle au pot vibrant et au marteau, ainsi que des essais de propagation d'ultrasons. Les résultats des essais destructifs et non destructifs donnent des conclusions intéressantes. Dans les différents types d'essais, les valeurs du module de Young varient selon la direction de sollicitation considérée : les échantillons extraits dans la direction Z (direction d'extrusion de la brique) ont les valeurs les plus élevées par rapport aux directions X et Y, pour les deux briques. Ceci est dû à l'anisotropie du matériau héritée du processus d'extrusion. De plus, en raison de la faible différence entre les valeurs du module de Young dans les directions X et Y, un comportement transverse isotrope peut être considéré, ce qui simplifie la modélisation numérique, par rapport à la modélisation anisotrope.

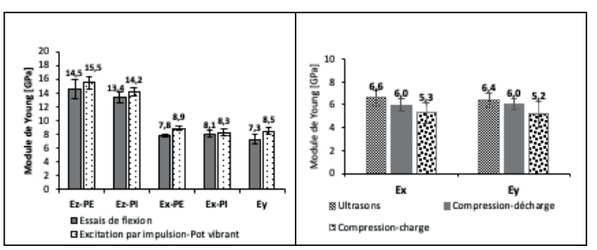


Premiers résultats de simulation numérique du comportement au feu : débuts de rupture dans les jonctions des parois longitudinales et orthogonales des briques

À haute température, les courbes Contrainte-Déformation montrent un comportement quasi-fragile. Les résistances en traction et en compression de la terre cuite augmentent avec la température. En revanche, le module de Young diminue légèrement avec l'augmentation de la température de sorte que le matériau perd environ 40 % de sa rigidité à 800° C. Contrairement à la terre cuite, les résistances en compression et en traction, ainsi que le module de Young du mortier-colle, diminuent avec la température.

La caractérisation du joint par des essais à froid et à chaud à l'échelle du tesson permet d'établir sa loi de comportement, qui est utilisée pour des simulations numériques à plus grande échelle. En outre, l'objectif principal des essais sur des assemblages terre cuite - mortier - terre cuite est d'évaluer la distribution des contraintes, des déformations et des endommagements, en tenant compte des effets structuraux et de l'impact de la concentration de contraintes.

L'étude du comportement mécanique du joint à chaud a consisté à mesurer la variation de propriétés mécaniques avec la température. Les propriétés étudiées sont la résistance à la compression et le module de Young, mesurés à chaud et après refroidissement jusqu'à la température ambiante, ainsi que la résistance à l'arrachement et au cisaillement à chaud. Cette étude permet d'écrire et d'interpréter la loi de comportement du joint à haute température.



Valeurs moyennes du module de Young issues d'essai de flexion et d'essai d'excitation au pot vibrant

Valeurs moyennes du module de Young issues d'essais aux ultrasons

Ces études multi-échelles en compression, flexion, arrachement et cisaillement donnent des conclusions intéressantes, de sorte que les résultats à l'échelle du tesson constituent des données d'entrée pour le modèle numérique développé par le CTMNC.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 12 03/05/2022 12:36

Mieux appréhender le comportement à haute température du joint dans les assemblages briques-mortier

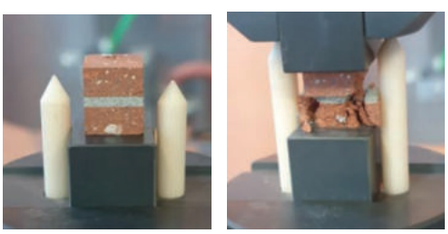
Une nouvelle gamme d'essais de caractérisation mécanique à hautes températures a été développée au CTMNC.

Lors des essais de résistance au feu menés sur maçonneries de terre cuite, le mur subit un fléchissement vers la source de chaleur. Par conséquent, il apparaît que l'un des mécanismes d'endommagement des structures en maçonnerie de briques exposées au feu est contrôlé par un mécanisme d'ouverture du joint, qui est directement piloté par la limite de rupture de l'interface brique-mortier, ou par celle du mortier. Deux phénomènes distincts peuvent être responsables de l'endommagement d'une structure en maçonnerie : la rupture en traction et celle en cisaillement.

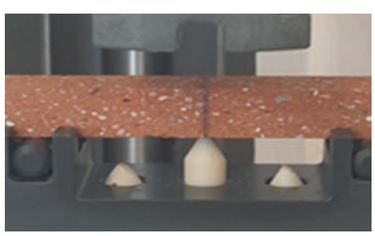
Ainsi, une étude détaillée sur le joint, visant à identifier son comportement mécanique à différentes températures, a été mise en place. Pour cela, plusieurs nouveaux essais ont été mis au point et adaptés sur une presse mécanique à hautes températures[19], afin de déterminer les caractéristiques en traction pure et en cisaillement du joint en fonction de la température.

En vue d'établir les propriétés de traction des assemblages par une méthode directe, deux types d'essais d'arrachement ont été développés, ceci afin de déterminer la résistance directe à la traction d'un assemblage selon la température. La première configuration présente un assemblage de deux éprouvettes (un disque et un anneau) solidarisées par un joint. La deuxième configuration consiste en deux tessons rectangulaires collés par un joint en forme de croix. Pour la première configuration (disque/anneau), la transmission de la force se fait par une cale cylindrique reposant sur la surface supérieure du disque. Dans le cas de la deuxième configuration (croix), la force est transmise par un chevron.

Afin de déterminer la résistance au cisaillement des assemblages, les outillages initiaux de l'équipement d'essai mécanique à hautes températures ont été adaptés pour faire des mesures sur des triplets en terre cuite et joint, ou à base d'autres matériaux.

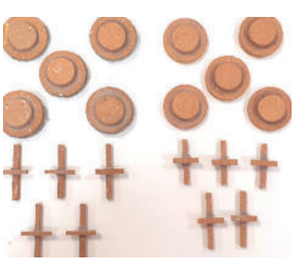


Essai de compression à haute température : échantilllon avant l'essai et après la rupture



Essai de flexion 4 points à haute température

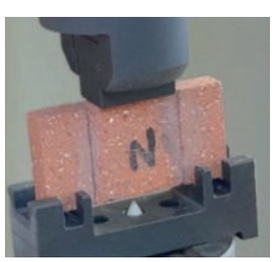
Echantillon avant l'essai et après la rupture



Eprouvettes préparées pour les essais d'arrachement (disque et croix)

Dispositif d'essai d'arrachement - Disque

Dispositif d'essai d'arrachement - Croix



Essai de cisaillement à haute température : échantillon avant l'essai et après la rupture

19 Installée au CTMNC il y a quelques années, cette presse mécanique à hautes températures, permettait initialement, de faire des essais de compression et de flexion 4 points, avec des mesures de déplacement.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 13 03/05/2022 12:36

Référentiel Marque NF 554 : un an après le passage dans le domaine traditionnel des maçonneries de briques à joint mince

Après l'arrêt des Avis Techniques concernant le montage à joint mince des maçonneries, le marché s'est approprié la nouvelle certification NF 554, délivrée par AFNOR Certification.

Ce Référentiel de la Marque NF certifie la compatibilité entre matériau terre cuite, mortier de pose et outil d'application, et permet au fabricant de déclarer, sous forme d'option, une résistance mécanique de la maçonnerie. Le logo « NF 554 » se déploie sur les chantiers au fur et à mesure de la réédition des documentations commerciales des fabricants et des nouvelles sacheries de mortier. L'arrêt des Documents Techniques d'Application (DTA) pour ce domaine a privé les clients des supports rassemblant l'ensemble des éléments de description des performances des montages concernés.

Ainsi, la première évolution proposée pour le Référentiel NF 554 a été de refondre la forme du certificat standard des Marques NF des produits de terre cuite, afin de rassembler, sous un format plus attractif, les déclarations de performances de la brique unitaire (certifiées par la Marque NF 046), et de la maçonnerie à joint mince.

Un guide de conception a également été mis en place par le CTMNC, pour accompagner ce nouveau référentiel de certification.

Le Référentiel de certification « NF Briques de terre cuite » fait peau neuve

La nouvelle version du Référentiel de la Marque NF 046 a été publiée au tout début du mois de janvier 2022. Elle adopte le nouveau format AFNOR et abandonne l'organisation en annexes.

Dernier Référentiel « terre cuite » à se fondre dans le nouveau modèle, le Référentiel NF 046 se présente désormais sous la forme d'une partie générale décrivant les règles de certification, et de parties techniques décrivant les exigences liées aux déclarations et au suivi des performances des produits. Ce nouveau format est utilisé depuis quelques années déjà par l'ensemble des certifications AFNOR et d'autres organismes comme le CSTB[20]. Cette présentation standardisée permet une lecture plus aisée que l'ancienne succession d'annexes indépendantes, notamment par l'introduction de sommaires. Se l'approprier nécessitera à certains un effort d'adaptation !

Montage d'acrotères avec des briques à bancher

Côté technique, cette version du Référentiel NF 046 n'introduit que peu d'évolutions, hormis :

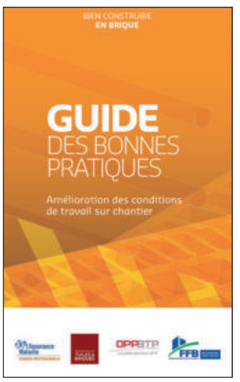
- Pour les briques à bancher, introduites dans ce Référentiel en février 2019 : la certification abandonne le marquage distinctif entre « B02 » et « B04 », lié à une préconisation d'utilisation en acrotère bas ou en acrotère haut, pour revenir à une déclaration obligatoire de résistance à la compression, plus commune pour une certification Produit.
- Un modèle de certificat modernisé est intégré, à l'instar du modèle proposé par la certification NF 554.

20 CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 14 03/05/2022 12:36

Recommandations pour la mise en œuvre des perches de sécurité

Le CTMNC a participé à l'enrichissement du « Guide des Bonnes Pratiques » sur chantier de construction en briques de terre cuite, mis en place par la FFTB en collaboration avec l'Assurance Maladie, l'OPPBTP et la FFB-UMGO[21].



Le guide de prévention des accidents sur chantier de construction en briques

Dans le cadre de l'enrichissement continu du guide des bonnes pratiques pour l'amélioration des conditions de travail sur chantier, le CTMNC a réalisé différents travaux portant sur les perches de sécurité, en collaboration avec les industriels réunis au sein de la FFTB[22].

Les études menées ont eu pour objectif de mieux encadrer l'utilisation des perches dans les chantiers utilisant des briques alvéolaires de terre cuite en précisant, notamment, la contribution de la taille des platines de répartition.

Dans ce contexte, des essais mécaniques ont été réalisés sur la base de l'utilisation de briques dédiées au marché du logement collectif. Les briques unitaires ont été testées après perçage en partie courante. Elles ont également été testées sous forme d'assemblages (maquettes constituées de briques collées au mortier de joints minces), avec perçage au droit des joints. Différentes tailles de platines métalliques de répartition ont été considérées : platines de 80 x 80 mm, de 100 x 100 mm et 120 x 120 mm.

Figure 1 - Illustration d'une configuration d'essais de chargements localisés (en traction ou en compression)

Les différentes maquettes d'essais ont été soumises, par l'intermédiaire de barres en acier, à des sollicitations localisées de traction, après perçage de trous cylindriques traversants, ou de compression, tel qu'illustré sur la figure 1.

Les essais de chargements localisés donnent des charges moyennes de rupture de l'ordre de 600 daN en traction et 1200 daN en compression, dans la configuration d'étude considérée : Cf. Figure 2 et Figure 3.

L'augmentation de la taille des platines de répartition conduit, comme attendu, à un accroissement des charges de rupture. A titre d'exemple, on obtient des niveaux moyens d'efforts sous sollicitations de traction localisées variant entre 3 600 et 4 000 N avec des platines de 120 x 120 mm.

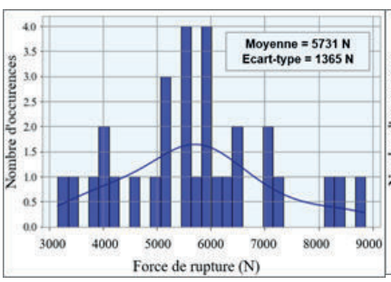


Figure 2 - Amplitude des charges de rupture en traction

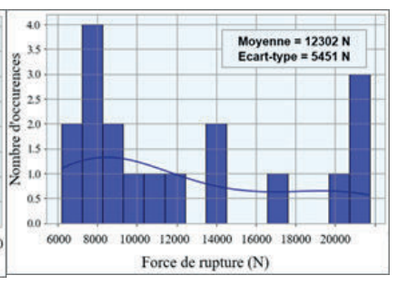


Figure 3 - Amplitude des charges de rupture en compression

La qualité de soin apportée au perçage (perçage soigné *vs* perçage irrégulier) a également été considérée à titre d'information. Dans ces essais en laboratoire, aucun impact n'a été observé ; le constat n'est, bien entendu, pas transposable à toutes les situations, le soin apporté au perçage étant un élément important à prendre en compte.

21 OPPBTP : Organisme Professionnel Prévention du BTP.
FFB-UMGO : Union de la Maçonnerie et du Gros-Œuvre au sein de la FFB (Fédération Française du Bâtiment).
22 FFTB : Fédération Française des Tuiles et Briques – www.fftb.org.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 15 03/05/2022 12:36

PAREMENT

Comportement des systèmes d'ETICS avec plaquettes de terre cuite face à la diffusion de la vapeur d'eau

En lien avec le développement de la certification Marque NF « Plaquettes », mais aussi avec la promotion des finitions en plaquettes de terre cuite sur ETIC[23], des travaux de recherche ont été menés par le CTMNC en vue de déterminer l'épaisseur d'air équivalente pour la diffusion de la vapeur d'eau en conditions humides.

Depuis 2019, le CTMNC œuvre à établir un protocole expérimental répétable, reproductible et robuste destiné à établir le facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau (μ) et, par conséquence, l'épaisseur d'air équivalente pour la diffusion de la vapeur d'eau (Sd) à travers les produits de terre cuite, et principalement les plaquettes. Ce protocole expérimental prend en compte les conditions humides d'essai, et découle de la norme NF EN ISO 12572[24].

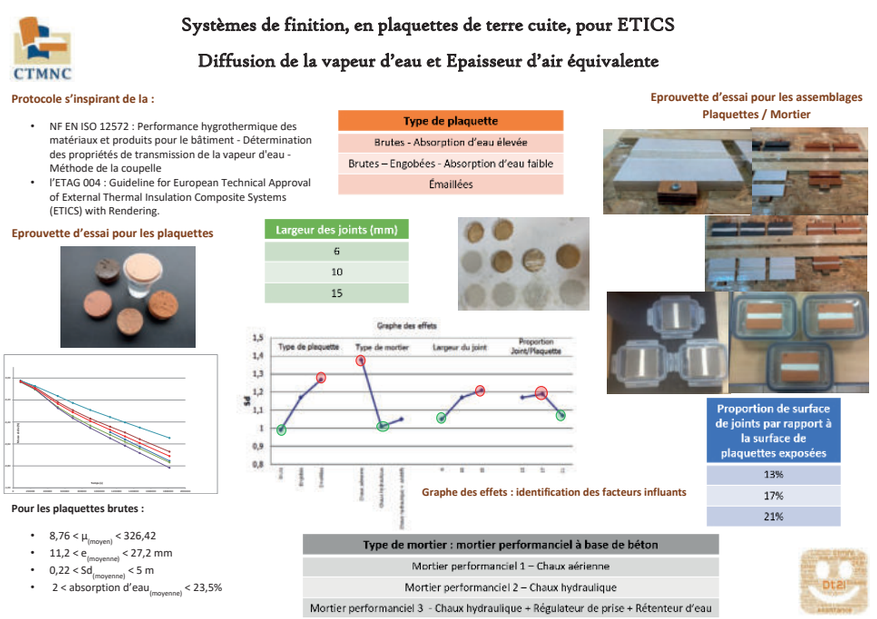
A l'aide de ce protocole, une large gamme de références commerciales de plaquettes a été caractérisée, en vue de définir leur facteur de résistance à la vapeur d'eau et d'établir d'éventuels liens entre les valeurs mesurées et les caractéristiques physico-chimiques des plaquettes étudiées.

En 2021, le CTMNC a mené des travaux visant à élaborer un argumentaire faisant ressortir la contribution de la présence de joints au niveau du facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau et de l'épaisseur d'air équivalente pour la diffusion de la vapeur d'eau, dans les finitions pour ETICS à base de plaquettes de terre cuite. Le projet de recherche concerné avait pour but de :

- Développer un essai de laboratoire permettant d'évaluer les deux caractéristiques précédentes pour un système de finition d'ETICS constitué de plaquettes de terre cuite assemblées au mortier de joint ;
- Mesurer le facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau et l'épaisseur d'air équivalente pour la diffusion de la vapeur d'eau de différentes configurations de finition, selon leur nature de plaquettes, la nature et la largeur du joint, et la surface de joint mise en œuvre par rapport à la surface de plaquette exposée.

Obtenant des résultats concluants, le CTMNC a réalisé des essais complémentaires pour déterminer les configurations optimales de mise en œuvre, mesurer l'impact de l'hydrofugation des joints, et étudier la corrélation entre l'épaisseur d'air équivalente à la diffusion de la vapeur d'eau et le taux d'absorption d'eau de plaquettes, présentant ou non une modification physique ou chimique de surface.

L'étude a mis en avant l'influence de ce système constructif sur les paramètres de diffusion de la vapeur d'eau et aussi l'effet conjugué des éléments associés. Il a été constaté que la contribution cumulée des composants du système n'avait pas de signification réelle, et ne permettait pas d'évaluer ou de dégager l'impact total du système sur les paramètres de diffusion de la vapeur d'eau.



23 ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*) ou systèmes d'isolation thermique par l'extérieur.

24 Norme NF EN ISO 12572 : « Performance hygrothermique des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination des propriétés de transmission de la vapeur d'eau - Méthode de la coupelle et de l'ETAG 004 : Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering ».

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 16 03/05/2022 12:36

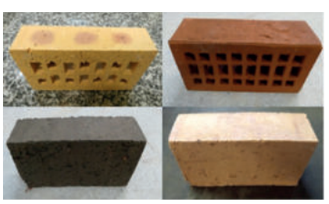
Le Guide de conception de maçonneries décoratives

Débuté en 2020, le guide de conception de maçonneries décoratives en terre cuite décrit quelques techniques traditionnelles de parement. Durant l'année 2021, le CTMNC l'a enrichi par des éléments de justification sur le plan mécanique.

Le nouveau guide de maçonnerie en terre cuite du CTMNC est le fruit d'une collaboration entre le CTMNC et des professionnels de divers secteurs[25]. En 2021, le travail s'est poursuivi avec l'intégration d'éléments qui permettront au document de constituer le socle d'un futur référentiel en matière de maçonneries décoratives.

La première partie du guide présente des informations pratiques sur les matériaux utilisés pour un parement décoratif : briques et mulots en terre cuite (Cf. Photos 2), mortiers de hourdage à base de ciment et/ou de chaux, joints, armatures de renfort, pattes de retenue…

Photos 1 - Exemples de maçonneries de parement : moucharabieh (à gauche) - briques en saillie (à droite)



Photos 2 - Exemples de briques apparentes de terre cuite

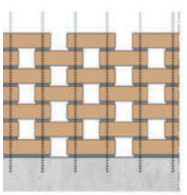


Figure 1 - Moucharabieh renforcé à l'aide d'aciers traversants

Figure 2 - Moucharabieh assujetti à des potelets métalliques en face arrière

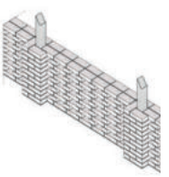


Figure 3 - Moucharabieh à ossature intégrée

Le guide détaille différentes configurations de montage de :

- Moucharabiehs standard, moucharabiehs renforcés à l'aide d'aciers traversants, moucharabiehs assujettis à des potelets disposés en face arrière, moucharabiehs à ossature intégrée (exemples sur Figures 1, 2 et 3).
- Murs avec briques en saillie (exemple : Photo 1, à droite).

Des informations sont données sur des méthodes de raccordement permettant de passer d'un type de maçonnerie à un autre, en parties courantes de murs. Par ailleurs, des dispositions constructives sont illustrées, facilitant l'exploitation pratique du document : implantation des joints, traitement des transitions murs plans-murs courbes, décrochages…

En annexe du guide, des méthodes de calcul sont proposées en vue du dimensionnement aux états limites des aciers de renfort ou des potelets de maintien des moucharabiehs.

Des essais mécaniques sont prévus (essais de chargement orthogonal) sur des maquettes de dimensions représentatives, afin de contribuer à un meilleur encadrement des procédés constructifs décrits.

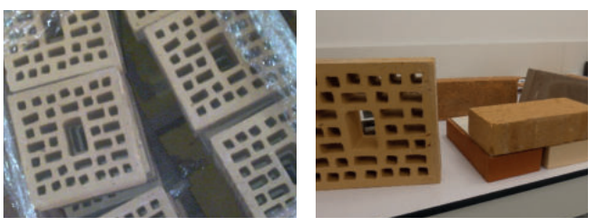
25 Voir le « Rapport d'activités 2020 » du CTMNC, page 15 ; le CTMNC collabore avec la FFTB, Fixinox, Bekaert, BYN, FFB-UMGO, GIE BATC, APAVE, Bureau Veritas, Qualiconsult, SOCOTEC, etc.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 17 03/05/2022 12:36

DTA « About de dalle » en briques de terre cuite

Les briques de terre cuite de dimensions 22 cm x 22 cm constituent une solution séduisante pour la réalisation des murs de type IIa ou IIb en maçonneries de briques destinées à rester apparentes, conformément au NF DTU 20.1 (Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs). Le Document Technique d'Application (DTA) lié aux abouts de plancher en briques apparentes sera publié en 2022.

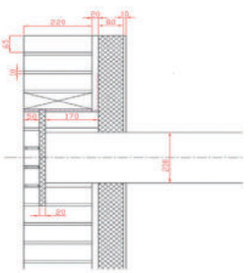
Les briques de terre cuite de 22 cm x 22 cm permettent la réalisation de murs de couleurs et de textures de surface originales, s'intégrant de manière harmonieuse dans l'environnement.



Exemples de briques de 22 cm x 22 cm

Illustrations du procédé de traitement d'about de plancher en briques de 22 cm x 22 cm

Afin de traiter les ponts thermiques de liaison des ouvrages réalisés avec ces briques, des solutions techniques simples à mettre en œuvre ont été développées par la filière des Briques apparentes de terre cuite[26], comme illustré sur la figure ci-contre.



Traitement du pont thermique de liaison

Les abouts de planchers ainsi constitués se basent sur l'utilisation de planelles ou de mulots en terre cuite apparente de 5 cm d'épaisseur, doublés d'un isolant thermique non-hydrophile de 2 cm d'épaisseur, faisant office de correcteur de pont thermique.

Le procédé est destiné à être associé à des murs en briques laissées apparentes côté extérieur, et revêtus d'un doublage isolant standard, côté intérieur.

A l'issue de différents essais menés par le CTMNC en collaboration avec le CSTB, le procédé avait fait l'objet d'un premier Avis Technique, délivré par le Groupe Spécialisé n° 16 « Produits et Procédés spéciaux pour la Maçonnerie » de la CCFAT[27] en 2011. Le DTA aura une validité de six ans.

FDES « Brique de terre cuite de 22 cm x 22 cm

Une nouvelle FDES collective pour la terre cuite a été publiée en 2021 par le CTMNC.

En collaboration avec les industriels de la terre cuite, le CTMNC a rédigé une nouvelle FDES (Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire) pour les briques de dimensions 22 cm x 22 cm, conformément à la norme européenne NF EN 15804+A1 et à son complément national. Cette FDES, dite « collective », peut être revendiquée par les ressortissants de la filière ayant participé à la collecte de données et dont les produits respectent le cadre de validité.

Après avoir recueilli les données correspondant à l'ensemble des activités industrielles du secteur, de l'extraction des matières premières au recyclage des matériaux, le CTMNC a formalisé l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) du produit moyen, traduisant ainsi les consommations et les émissions en impacts environnementaux. Une fois établies, les FDES ont été vérifiées par tierce partie indépendante avant de pouvoir être publiées : elles sont, dès lors, disponibles dans la base INIES[28].

La Réglementation Environnementale 2020, entrée en vigueur début 2021, rend obligatoire la réalisation d'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 créées à partir des FDES figurant dans la base INIES.

26 GIE BATC (Briques Apparentes de Terre cuite).
27 CCFAT : Commission chargée de formuler les Avis Techniques, au sein du ministère chargé de la construction et de l'habitation.
28 Base INIES : https://www.inies.fr/.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 18 03/05/2022 12:36

PIERRES NATURELLES

Groupe de travail « Marbrerie » : publication du guide « Terminologie »

Le « GT Marbrerie », piloté par le CTMNC, a finalisé son guide « Terminologie de la marbrerie de décoration en pierre naturelle ». La publication du document est prévue pour le début de l'année 2022.

Le nouveau guide publié par le « GT Marbrerie » du CTMNC

Le nouveau guide « Terminologie » traite des ouvrages composés d'éléments en pierre naturelle d'épaisseur inférieure à 80 mm. Il définit les termes employés pour tous les produits en pierre naturelle qui entrent dans la composition des ouvrages suivants :

- Revêtements de sols scellés ou collés,
- Revêtements muraux en pierre collée,
- Escaliers,
- Plans de travail de cuisine,
- Plans vasques de salle de bains,
- Produits sanitaires (receveurs de douche, lavabos, éviers, baignoires, etc.),
- Mobiliers (tables, objets de décoration, etc.),
- Cheminées,
- Fontaines.

Rédaction d'un guide de « Mise en œuvre » des plans de travail en marbrerie

Cette année 2021, le Groupe de travail « Marbrerie » a poursuivi la rédaction d'un guide de mise en œuvre des plans de travail en marbrerie de décoration en pierre naturelle.

Ce guide « Mise en œuvre » fournira des préconisations pour la fabrication, la conception et l'installation des produits en pierre naturelle d'épaisseur inférieure à 80 mm, utilisés dans les 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.

Inscriptions et ornementations gravées du monument funéraire et cinéraire en pierre naturelle

La gravure sur pierre a accompagné toutes les civilisations. L'évolution des mentalités, la recherche d'authenticité et de pérennité des ouvrages obligent le graveur sur pierre à se renouveler, afin de trouver sa place dans ce 21ème siècle.

En 2021, le Groupe de travail « Funéraire », piloté par le CTMNC, a débuté le travail de conception et de rédaction d'un nouveau guide, dédié aux inscriptions et/ou ornementations funéraires gravées sur pierre naturelle. Ce guide vise à présenter les techniques traditionnelles de gravure, non seulement pour mémoire, mais aussi pour les transmettre. L'innovation dans ce domaine de la gravure funéraire, liée aux nouvelles technologies, sera également mise en avant.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 19 03/05/2022 12:36

Caractérisation de la pierre par la vitesse de propagation du son : le CTMNC étoffe sa gamme d'équipements

Depuis 2019, le CTMNC met à la disposition des professionnels de la filière Pierre Naturelle « DIMAPIERRE-Sonic », son outil de corrélation entre la vitesse de propagation du son et la porosité, qu'il a encore développé en 2021. Parallèlement, un nouvel équipement de mesure de l'écho d'impulsion ultrasonique a été acquis.

« DIMAPIERRE-Sonic », qui fait partie de la suite logicielle DIMAPIERRE®, permet aux utilisateurs de mieux appréhender les propriétés physico-mécaniques de leur matériau, de façon rapide et non-destructive. Une phase d'amélioration et de mise à jour des équations intégrées dans le logiciel s'est déroulée en 2021 :

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

Par ailleurs, le Département ROC du CTMNC s'est doté d'un nouvel appareil de mesure (Pundit 250 Array), qui fonctionne sur le principe de l'écho d'impulsion ultrasonique. Cette technologie innovante élargit le champ d'application de l'appareil existant, et offre un grand nombre de possibilités d'investigation. L'emploi de ce nouvel équipement de mesure de l'écho d'impulsion ultrasonique présente les avantages suivants :

- Compatibilité avec les transducteurs de l'ancien appareil ;
- Légèreté et ergonomie permettant l'intervention sur site ;
- Le transducteur est à contact sec, sans couplant nécessaire : cela évite de laisser des taches sur la surface testée (cas d'interventions en musées, par exemple). En outre, cela rend possible la mesure sur des surfaces rugueuses, ce qui était impossible avec l'ancien appareil ;
- Détermination de l'épaisseur des dalles d'un seul côté, qui était impossible avec l'appareil standard (Cf. Figure 1) ;
- Détection et localisation des vides, des fissures et d'autres défauts (Cf. Figure 2) ;
- Estimation automatique de la vitesse d'impulsion.

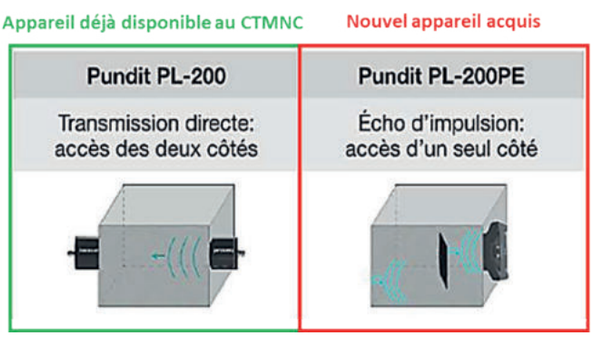
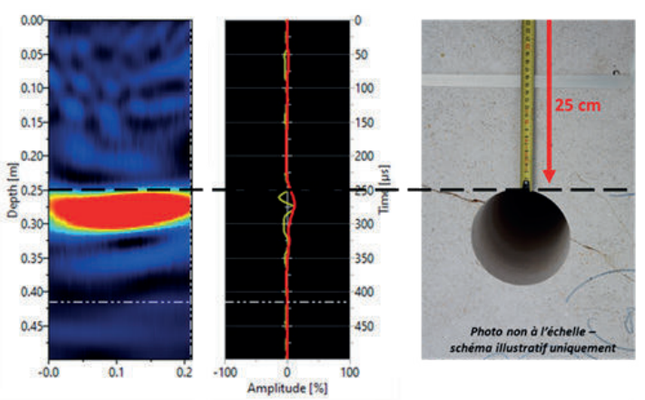


Figure 1 - Complémentarité entre l'ancien équipement et le nouvel appareil de mesure de la vitesse de propagation du son acquis en 2021

Figure 2 - Dispositif de mesure expérimentale à l'aide du « Pundit 250 Array » : détection de la profondeur et du positionnement d'une cavité dans un bloc de pierre



Détermination de la profondeur et positionnement d'une cavité (à partir d'un accès à une seule face)

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 20 03/05/2022 12:36

Le site Web « Lithoscope CTMNC » s'enrichit

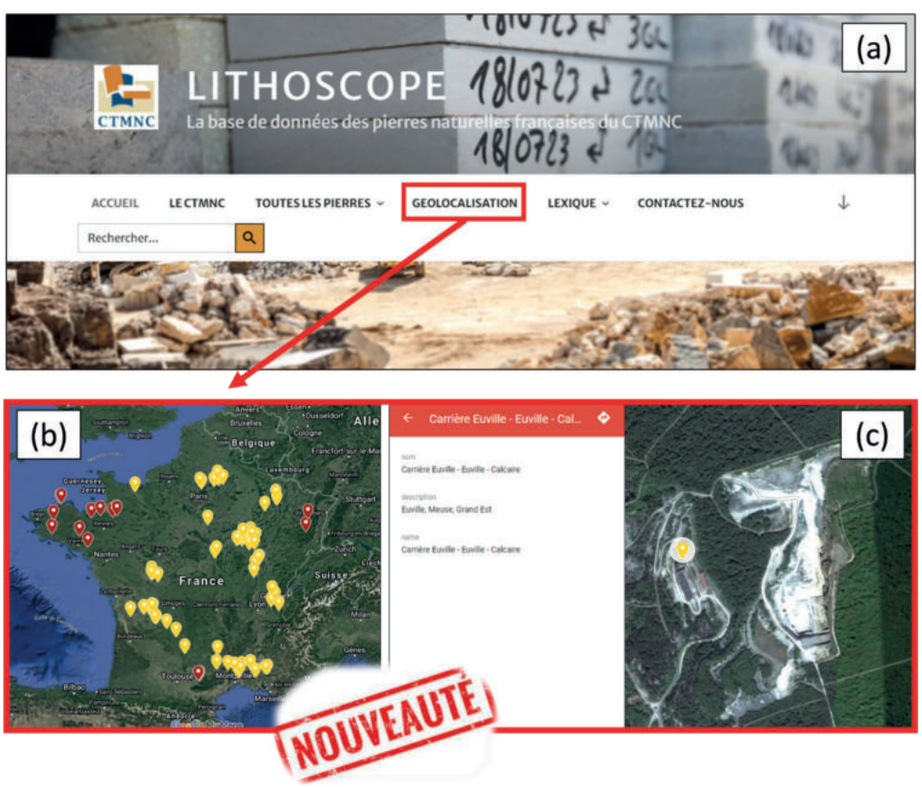
« Lithoscope® », la base de données des pierres naturelles françaises du CTMNC, fait peau neuve. Le site Internet, qui permet de la consulter librement, propose de nouvelles ressources, mais aussi de nouvelles fonctionnalités facilitant son utilisation.

Depuis 2019, la matériauthèque virtuelle « Lithoscope® », bien connue des producteurs et des prescripteurs de la pierre naturelle française, est accessible directement sur le site Web dédié (www.lithoscopectmnc.com), ou via le site www.ctmnc.fr.

Le site « Lithoscope CTMNC » se distingue, notamment, par les ressources et les fonctionnalités suivantes :

- Un lexique présentant des définitions utiles,
- Une explication des différentes méthodes d'essais, et des prescriptions d'emploi des pierres dans la construction,
- Un mode de recherche dans la base qui a été élargi : il est maintenant possible de l'interroger par nom de producteur ou par localisation de la carrière,
- Un téléchargement d'une fiche de caractérisation pour chaque pierre,
- Un géoréférencement des carrières, lié aux lieux-dits d'extraction : les nouveautés introduites en 2021 sont présentées sur la photo ci-dessous.

Des fiches d'informations sur les pierres sont régulièrement ajoutées, ou mises à jour, sur le site Web www.lithoscopectmnc.com.



Présentation des nouveautés 2021 de la base Lithoscope® du CTMNC :

(a) Page d'accueil du site Web
(b) Géoréférencement des carrières d'extraction françaises en activité : calcaires en jaune ; granits en rouge-bordeaux
(c) Détails et affichage des informations d'une carrière

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 21 03/05/2022 12:36

TERRE CRUE

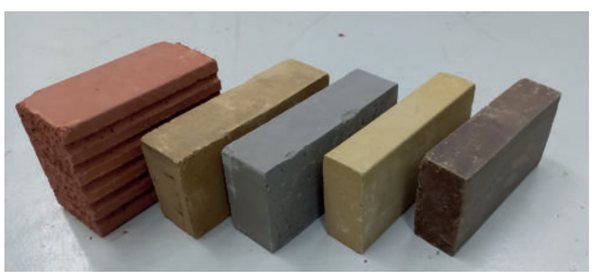
Une norme révisée et une première FDES pour rendre plus attractive la terre crue

Cette année 2021 marque, à nouveau, un regain d'intérêt pour la terre crue, au regard d'un nombre croissant d'ouvrages faisant appel à ce matériau en France. Afin de pérenniser le développement de cette filière, le CTMNC poursuit son accompagnement par le biais de ses différents projets et travaux, notamment la normalisation. La norme XP P13-901 « Briques et Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons - Spécifications - Méthodes d'essai » révisée vient d'être publiée en mars 2022, tandis que la FDES collective sur la brique de terre crue extrudée l'est depuis novembre 2021.

La révision de la norme XP P13-901 portant sur la brique de terre crue, qui a nécessité quatre ans de travail, a été finalisée. Au cours de l'été 2021, l'enquête publique a permis de faire remonter les derniers commentaires ; consolidés, ils ont permis de valider un texte fondé sur le consensus. En comparaison du texte original de 2001[29], certaines évolutions majeures peuvent être citées :

- Un domaine d'application élargi aux trois modes de fabrication des briques (extrusion, compression, moulage),
- Une déclaration par le fabricant de tous les ajouts qu'il intègre à sa brique crue (liants, fibres, granulats…),
- Des classes d'application (intérieure, extérieure), ainsi que de nouveaux essais de caractérisation (masse volumique, essai de tenue à l'eau liquide, résistance au gel).

Une norme révisée pour la brique de terre crue



Différentes briques de terre crue

L'engouement croissant pour le matériau terre crue a pour conséquence un travail de normalisation de plus en plus riche : tous les aspects techniques ont donné lieu à d'intenses discussions, de la définition du mot « terre crue » jusqu'aux protocoles d'essais. Les enjeux sont importants, d'une part pour garantir les performances des briques et, d'autre part, pour maintenir un savoir-faire séculaire, intimement lié au patrimoine bâti français.

Également en 2021, la première Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) collective pour les briques de terre crue extrudée a été publiée par le CTMNC dans la base INIES. Détenir une FDES est une obligation réglementaire pour les fabricants de produits de construction dès lors qu'ils souhaitent communiquer sur les qualités environnementales de leur fabrication. Cette FDES est le fruit de l'association de cinq briquetiers, qui ont bénéficié d'une aide financière de l'ADEME et de l'Alliance HQE-GBC.

Depuis le 1er janvier 2022, la nouvelle Réglementation Environnementale 2020 (RE2020) impose une Analyse de Cycle de Vie pour tout bâtiment neuf, ACV qui s'établit à partir de FDES. Disposant désormais d'une FDES prouvant ses qualités environnementales, la brique de terre crue extrudée s'impose désormais comme un matériau très attractif pour répondre aux nouvelles exigences environnementales.

29 Norme XP P13-901 du 14/09/2001 : « Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons : définitions - Spécifications - Méthodes d'essais - Conditions de réception ».

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 22 03/05/2022 12:36

DEVELOPPEMENT DURABLE

Gestion des sédiments et loi sur l'économie bleue

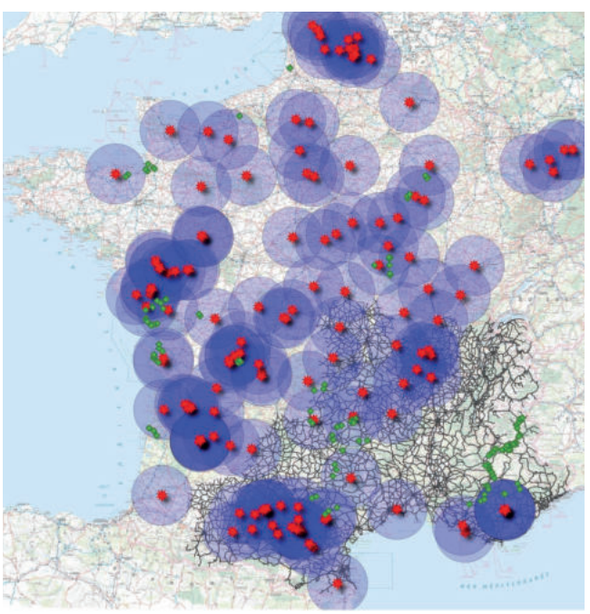
La loi sur l'économie bleue[30] instaure l'interdiction du rejet en mer de sédiments, à partir du 1er janvier 2025. Elle encourage ainsi diverses voies de valorisation des sédiments qui, une fois déposés à terre, prennent le statut de déchets.

La filière Terre Cuite avait signé avec l'Etat, en janvier 2020, un Engagement pour la Croissance Verte (ECV) relatif au potentiel d'utilisation de sédiments de dragage argileux pour la fabrication de produits de construction en terre cuite. Cet ECV repose pour une partie sur le projet « SEDIBRIC »[31]. Le projet, porté par le Grand Port Maritime du Havre, a mobilisé les laboratoires des universités de Caen et du Havre, l'Ecole des Mines de Paris (Centre de Géosciences - ARMINES), l'entreprise Circoé et le CTMNC. Il avait pour objectif de valoriser des sédiments portuaires, et s'est achevé en mars 2021 avec le lancement d'une campagne de communication.

En 2021, le CTMNC et la FFTB[32], avec l'appui du Centre de Géosciences, ont cherché à capitaliser l'ensemble des informations dans une base de données, qui se veut souple, robuste et évolutive. Elle est reliée à une cartographie dynamique dans le but d'obtenir un SIG (Système d'Information Géographique), qui connecte une base de données à une carte, afin de pouvoir y intégrer l'ensemble des informations. Cette cartographie peut superposer plusieurs couches d'informations simultanément.

L'ensemble des données récoltées pour chaque atterrissement d'argiles a ainsi été intégré : les propriétés minéralogiques et chimiques, les comportements céramiques, et les taux de polluants. La base permettra à ses utilisateurs de connaître les caractéristiques d'une source de sédiments de manière simple et rapide.

Parallèlement, l'étude technico-économique du projet « SEDIBRIC » a montré qu'un des paramètres économiques critiques est la distance entre un point d'atterrissement et une usine pouvant utiliser cette matière première secondaire. De ce fait, la carte intègre les diverses voies (terrestres, fluviales) entre un atterrissement et un site industriel, et affiche également les atterrissements autour d'un site industriel de terre cuite, dans un rayon fixé par l'utilisateur. Cette cartographie est destinée à être régulièrement enrichie, de sorte que l'on aboutisse à un outil le plus complet possible à la fin de l'ECV « Argile renouvelable ».



Cartographie des atterrissements d'argiles dans le cadre de l'ECV « Argile renouvelable »

30 Loi n° 2016-816 du 20 juin 2016 pour l'économie bleue.
31 Projet « SEDIBRIC - Valorisation de sédiments en briques et tuiles », cofinancé par l'ADEME et la Région Normandie, fut mené à l'échelle régionale depuis 2018.
32 FFTB : Fédération Française des Tuiles et Briques.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 23 03/05/2022 12:36

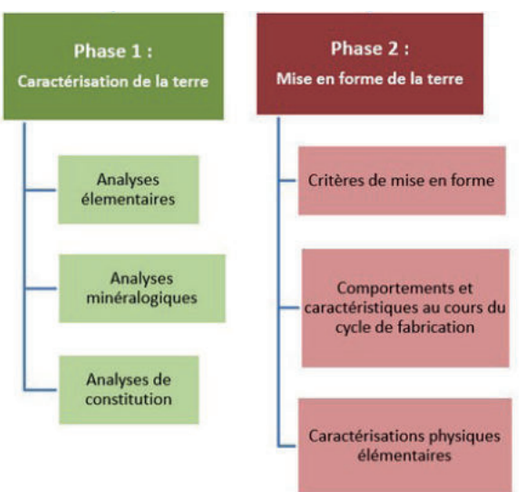
Valorisation de terres excavées : un potentiel pour la filière

Les chantiers de construction urbains, de création de voies de circulation ou de communication, ainsi que l'accroissement du nombre de bâtiments construits, conduisent à devoir valoriser les terres excavées dans des productions industrielles, comme matière première ou comme constituant d'un mélange de fabrication.

Les terres excavées, selon leur nature et leur provenance géographique, peuvent être utilisées dans la fabrication des produits de construction en terre cuite, terre crue, argile expansée, béton ou ciment, mais aussi dans d'autres secteurs d'activité, tels que le carrelage, les produits réfractaires, le mobilier urbain, ou comme charges minérales.

Au vu de leurs caractéristiques et de leurs propriétés, elles pourraient servir de matière première ou de substituts de composants entrant dans la composition des mélanges destinés à la fabrication de matériaux de construction en terre cuite. Ainsi, l'emploi des terres excavées pourrait permettre de pérenniser ou de prolonger l'exploitation des carrières d'argiles. L'apport de terres excavées dans la production locale de produits de terre cuite pourrait également favoriser la mixité des matériaux dans la réalisation d'ouvrages, comme renforcer l'économie circulaire et le Développement durable.

Dans ce cadre, le CTMNC a développé un processus, et son logigramme associé, en vue de qualifier, de caractériser et d'estimer le potentiel de valorisation et d'utilisation des minéraux argileux et/ou sableux dans la fabrication de produits de terre cuite. Cette démarche, en plusieurs phases, vise à valider la faisabilité de valorisation, pour conduire à une utilisation optimale des minéraux considérés : ils peuvent être extraits, excavés, constituer un co-produit ou un sous-produit, ou bien se présenter sous la forme de sédiments.



Processus de valorisation d'une matière première extraite d'un co-produit ou d'un sous-produit argileux ou sableux, d'une terre excavée, ou d'un sédiment

Les premières phases de l'étude, menées par le CTMNC, sont la caractérisation des gisements et des terres, comme de leurs comportements lors du procédé de préparation des produits de terre cuite. Cela permettra de définir si les terres pourront être utilisées seules dans un mélange, ou si des adjuvants devront y être incorporés, ou encore si elles viendront en substitution ou en complément dans un mélange déjà formulé. Leurs compositions chimiques élémentaires, leurs compositions minéralogiques et leur teneur en sels solubles serviront à prévenir les défauts éventuels de surface, et structurels, ainsi que les efflorescences, observables sur certains produits. Les émissibles (rejets de soufre, de fluor et de chlore dans l'environnement), ainsi que les taux de carbone total et organique, et de carbonates, possibles lors de la phase de cuisson, pourront également être contrôlés, dans le cadre de la déclaration des quotas de CO_2 de la Directive européenne ETS (Echange de quotas d'émission).

Des analyses élémentaires sont menées sur les terres et les gisements, telles que la détermination de la répartition granulométrique, la teneur en eau, la masse volumique apparente, ou les pouvoirs calorifiques (inférieur et supérieur) permettant de déceler la présence d'organiques, et les besoins ou les apports en énergie, lors des différentes étapes du cycle de fabrication des produits de terre cuite.

Enfin, une étude est conduite pour évaluer les critères de mise en forme des produits, ainsi que le comportement de la terre façonnée au cours du cycle de fabrication.

Avant d'orienter la terre ou le gisement vers un possible usage (selon les critères définis précédemment), des caractéristiques physiques élémentaires sont validées, sur tessons secs et cuits, aux températures propres aux différentes familles de produits, comme la masse volumique absolue, le taux de porosité ouverte, l'absorption d'eau et la résistance mécanique en flexion et en compression.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 24 03/05/2022 12:36

Emploi des produits de terre cuite en fin de vie

Une étude, initiée en 2020 par le CTMNC, avait permis de mieux caractériser les produits de terre cuite en fin de cycle de vie. Ces travaux ont été poursuivis en 2021.

La loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire du 10 février 2020 a instauré la mise en place d'une filière à Responsabilité Elargie du Producteur (REP) pour les déchets du bâtiment, à compter du 1er janvier 2022. Dans le cadre de la REP, les fabricants de produits de construction doivent prendre en charge, notamment financièrement, la gestion de la fin du cycle de vie de leurs produits commercialisés.

Tri des matériaux de construction sur un chantier de démolition

En 2020, en vue d'accompagner la filière Terre Cuite sur cette voie, le cabinet Elcimaï avait été mandaté par le CTMNC pour une estimation et une analyse des déchets issus des produits de construction en terre cuite.

En 2021, l'étude a été complétée par un travail d'identification et de documentation sur les filières de valorisation des produits en fin de vie. Ainsi les filières identifiées pour le recyclage (filières des granulats recyclés, des aménagements d'espaces verts) et pour la réutilisation ou le réemploi (ressourceries, assistance à la maîtrise d'ouvrage) ont été questionnées sur leur traitement des matériaux de terre cuite arrivés en fin de première vie en œuvre.

Réemploi des produits de terre cuite : une opportunité pour la filière et le CTMNC

Dans le cadre du développement de l'économie circulaire, les produits de terre cuite, comme la tuile et la brique apparente, confirment leur bonne aptitude au réemploi.

En 2021, fort de son expertise des matériaux de terre cuite et de ses veilles techniques et normatives, le CTMNC a développé différentes méthodologies de diagnostic de réemploi des tuiles et des briques apparentes, après démolition des ouvrages où elles étaient mises en œuvre.

Par des observations et des essais non destructifs, ces méthodologies permettent de caractériser l'homogénéité d'un gisement de matériaux de réemploi sur un site donné. Cette homogénéité déterminée, le CTMNC détermine la capacité de réemploi des matériaux issus de la déconstruction, par le biais d'essais réalisés suivant des méthodes normalisées, ou par des corrélations établies entre les essais in-situ et ceux réalisés en laboratoire.

Ce besoin de réemploi des matériaux constitue donc une véritable opportunité pour le CTMNC de développer ses compétences et de proposer de nouvelles prestations.

Dépose des tuiles pour le réemploi

Réalisation d'un essai non destructif pour évaluer l'aptitude au réemploi des briques

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 25 03/05/2022 12:36

Propriétés hygrothermiques et environnementales de composants de bâtiments en pierres calcaires

Financée notamment par le CTMNC, la thèse intitulée « La pierre naturelle dans un contexte d'évolution réglementaire environnementale de la construction, étude des transferts hygrothermiques au sein de composants d'enveloppes de bâtiments », a été soutenue le 8 octobre 2021[33]. Les axes d'étude ont été repris et développés en 2021 par le CTMNC.

Le thème de recherche de cette thèse s'inscrit dans le contexte des changements climatiques amenant nos sociétés à trouver des solutions pour limiter leur impact sur l'environnement, et donc dans celui de la Réglementation Environnementale 2020 qui, en particulier, renforce aussi les exigences en matière de confort des occupants de bâtiments neufs en période estivale.

L'inertie thermo-hydrique des pierres calcaires de construction

L'étude des propriétés hygrothermiques des pierres calcaires a démontré que certaines d'entre elles peuvent échanger une grande quantité de chaleur et d'humidité avec leur environnement ambiant, contribuant ainsi à amortir et à déphaser les variations de température et d'humidité. Par ailleurs, la capacité thermique volumique de ces pierres naturelles, qui correspond à leur potentiel de stockage de la chaleur, est élevée par rapport à d'autres matériaux, tels que les isolants thermiques ; cependant elle reste du même ordre de grandeur que celle des autres matériaux structurels denses.

À partir des résultats d'essais réalisés au sein du CTMNC[34], une étude statistique a permis de créer une classification des calcaires, en fonction de leurs propriétés physiques. Les pierres caractérisées ont, par la suite, été intégrées à la classification pour fournir des valeurs tabulées sur les propriétés hygrothermiques (Cf. Figure 1). D'autres types de roches, tels que les grès, les laves, les granites et les schistes, pourront faire l'objet d'études similaires. L'ensemble de ces travaux vient enrichir la base « Lithoscope » du CTMNC, qui permettra d'alimenter plus finement les modèles de simulation des transferts de chaleur et/ou d'humidité.

Classe statistique selon les propriétés mécaniques	Classe 3 : 1980 < Masse volumique ≤ 2250	Classe 4 : Masse volumique ≤ 1980 Porosité ouverte ≤ 36,3	Classe 5 : Masse volumique ≤ 1980 Porosité ouverte > 36,3
Résistance à la flexion [MPa]	6,8 ±0,4	3,6 ±0,2	1,8 ±0,1
Résistance à la compression [MPa]	17,9 ±3,2	9,0 ±1,3	4,1 ±1,4
Conductivité thermique [W/m.K]	1,19 ±0,2	0,86 ±0,1	0,61 ±0,1
Capacité thermique [J/kg.K]	707 ±21	730 ±26	733 ±21
Perméabilité à la vapeur d'eau [s]	4,82E-12	1,28E-11	1,33E-11
Capacité hydrique [g/m².%HR]	0,27 ±0,1	0,53 ±0,2	1,29 ±1,1

Figure 1 - Principales propriétés physiques des pierres calcaires selon leurs classes

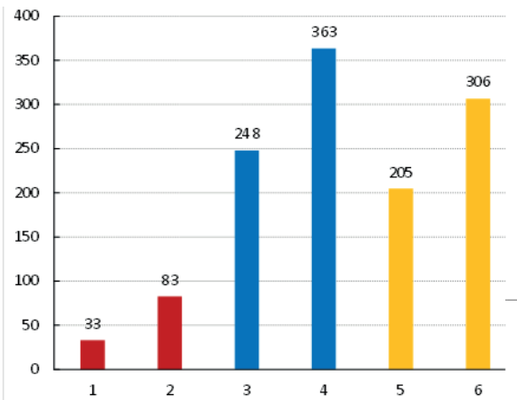
33 La thèse de Tristan Pestre, soutenue au sein de l'Université d'Artois/LGCgE (financement CIFRE, ANRT et CTMNC), est téléchargeable à l'adresse suivante : https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03521752.

34 Résultats d'essais présentés dans la base de données de la pierre du CTMNC « Lithoscope », consultable en ligne à l'adresse suivante : www.lithoscopectmnc.com.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 26 03/05/2022 12:36

L'impact environnemental des produits en pierre naturelle

Le CTMNC œuvre à quantifier le « poids carbone » des produits issus de la filière des Roches Ornementales et de Construction (ROC). Il étudie ainsi, par le biais d'Analyses de Cycle de Vie (ACV), l'impact environnemental de tous types de produits en pierre naturelle : maçonneries massives, pierres attachées, revêtements de sols et de voirie, etc. Les résultats de ces ACV sont principalement utilisés pour estimer l'impact environnemental de bâtiments sur l'ensemble de leurs cycles de vie.



Source des données :

Ecoinvent 3.7.1 mars 2021
Méthode NF EN 15804+A2
Logiciel SimaPro 9.2.0.2

	Transport routier [km]	Transport maritime [km]
1- Produit local	200	0
2- Produit français	500	0
3- Produit importé d'Europe proche	1 500	0
4- Produit importé d'Europe lointaine	2 200	0
5- Produit importé d'Inde	500	12 000
6- Produit importé de Chine	500	22 000

Figure 2 - Impact sur le réchauffement climatique lié au transport d'une tonne de produit (en kg CO_2 eq)

Dans le cadre de la RE2020, des données fiables et vérifiées de manière indépendante sont nécessaires. En effet, les bureaux d'études devront relier chacun des produits utilisés dans le projet à des données environnementales adaptées. En l'absence de FDES disponibles, des valeurs par défaut défavorables seront nécessairement retenues, dégradant de fait le bilan environnemental global. Le CTMNC incite donc les producteurs de pierre naturelle, et les fabricants, à faire évaluer leurs produits. Des aides financières de l'ADEME existent, tel que le programme « Tremplin pour la transition écologique des PME », qui peuvent contribuer à minimiser les coûts de l'opération.

Valorisation des coproduits et des matériaux de déconstruction

Un autre axe d'étude du CTMNC consiste à étudier les pistes de valorisation des coproduits et des matériaux issus de la déconstruction des ouvrages. Les statistiques européennes concernant les déchets du BTP montrent que 73 % des déchets sont valorisés. Pour la pierre naturelle, ces chiffres sont certainement plus élevés, mais restent à être estimés plus finement.

Les principales voies de valorisation sont le recyclage, notamment sous forme de granulats, et le réemploi ; il existe également d'autres pratiques, telles que le traitement par enfouissement, le réaménagement des carrières ou le remblaiement. Pour les coproduits, les pistes de valorisation dépendent de leur nature : les rebuts de carrières et les chutes de transformation peuvent également être recyclés en granulats, tandis que les boues de sciage peuvent être récupérées par différents secteurs d'activité, tels que l'agriculture.

Veille réglementaire et technologique - Accompagnement des professionnels

L'ensemble des études menées par le CTMNC permettent de confirmer la durabilité et les atouts hygrothermiques du matériau pierre, qui est un allié de taille pour répondre aux enjeux d'une construction « bas carbone ». Clarifier les exigences techniques, fournir des données environnementales et techniques sur les propriétés thermiques des pierres, conseiller les bureaux d'études sur des solutions constructives, travailler avec les architectes pour des conceptions énergétiquement optimisées, sont autant de prestations proposées par la filière ROC.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 27 03/05/2022 12:36

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Publication de la feuille de route « Décarbonation » de la filière Terre Cuite

La décarbonation est aujourd'hui la principale préoccupation de l'ensemble des industries françaises, dont celle de la terre cuite. En 2021, plusieurs secteurs d'activité ont publié leur feuille de route, et engagé des actions concrètes, pour répondre aux objectifs de réduction drastique des émissions de CO_2 fixés par l'Union européenne, puis pour atteindre collectivement la neutralité carbone du continent européen en 2050. La filière Terre Cuite a fait de même.

La feuille de route « Décarbonation » de la filière Terre Cuite, finalisée en 2019 sous l'appellation « Usine Bas Carbone », a été mise à jour au cours du second semestre 2021, et publiée. Sans modifier les axes prioritaires, elle prend désormais en compte diverses avancées technologiques pour satisfaire aux objectifs de la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC-2 du Ministère de la Transition écologique). Dans le processus de fabrication, la cuisson des produits est l'étape la plus émettrice de CO_2, et doit donc être décarbonée en priorité. Les émissions de CO_2 lors de la cuisson proviennent pour 75 % du combustible utilisé (gaz naturel) et pour 25 % des matières premières.

Le CTMNC travaille sur ces deux aspects à travers deux nouveaux projets de recherche collective :

- Projet « HYDETOP » pour la substitution du gaz naturel par de l'hydrogène,
- Projet « RECYCARB » pour la captation du CO_2 en sortie de cheminée.

Hydrogène combustible : le projet « HYDETOP »

Dans le cadre de la décarbonation de l'industrie de la terre cuite, le CTMNC pilote une étude sur l'intégration de l'hydrogène comme combustible. Baptisée « HYDETOP », elle est l'objet d'un partenariat entre le CTMNC, l'entreprise CLEIA, et le laboratoire de recherche CORIA.

Le consortium en charge du projet

Le nouveau projet « HYDETOP » (HYdrogène comme combustible pour la DEcarbonation de l'industrie de la Terre cuite : impacts sur les Organes de combustion et sur la qualité des Produits ») est issu d'un partenariat entre :

- Le CTMNC, porteur du projet,
- CLEIA, société d'ingénierie française, qui fournit des solutions de procédés « clé en main » pour l'industrie des tuiles et des briques,
- Le laboratoire CORIA (Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie), Unité Mixte de Recherche (UMR 6614) rattachée à l'Institut d'Ingénierie et des Systèmes (INSIS) du CNRS, à l'Université de Rouen Normandie, ainsi qu'à l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) Rouen Normandie ; ses domaines de recherche couvrent des études fondamentales et appliquées sur les écoulements réactifs ou non-réactifs (écoulements diphasiques, phénomènes de mélange turbulent, combustion, plasmas, etc.).

Le projet a obtenu le soutien de l'ADEME, dans le cadre de son appel à projets de recherche 2021 « Energie durable : production, gestion et utilisation efficaces ». GRDF et GRTGAZ soutiennent également « HYDETOP ».

Les logos des partenaires du projet « HYDETOP »

La décarbonation de l'industrie de la terre cuite

Recourir à des combustibles alternatifs décarbonés est une solution que les industriels de la terre cuite jugent davantage transposable à leurs procédés actuels de fabrication au gaz, que celle de l'électrification, autant techniquement que financièrement. Néanmoins, l'intégration de ce type de combustibles présente certains verrous, identifiés ou non. Ainsi, l'intégration d'hydrogène (H_2) leur est mal connue, notamment les impacts sur la cuisson et sur la qualité finale de leurs produits.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 28 03/05/2022 12:36

Evaluer les impacts de l'intégration d'hydrogène comme vecteur énergétique pour la cuisson

Le projet « HYDETOP » a pour objectif d'étudier les conséquences de l'intégration au gaz naturel de différents taux d'hydrogène, jusqu'à atteindre un taux de 100 %, dans la phase de cuisson des produits de terre cuite. La recherche portera sur le comportement des brûleurs (caractéristiques de la flamme et débits), grâce à des essais effectués dans un espace non confiné. L'acceptation des produits (en termes de propriétés et de couleurs) sera, quant à elle, étudiée via différentes cuissons réalisées dans une cellule à l'échelle semi-industrielle avec, simultanément, une analyse des teneurs des composés (NOx, H_2O) émis.

Parallèlement, une recherche fondamentale sera menée en laboratoire, visant à mettre en évidence le mode de stabilisation de la flamme d'un brûleur, et ses variations en fonction de la composition du mélange CH_4-H_2. Les résultats obtenus serviront à affiner le réglage des brûleurs existants pour atteindre les paramètres de cuisson attendus, et envisager les voies possibles de modifications pour atteindre des taux d'intégration d'hydrogène élevés.

Les aspects technico-économiques et la sécurité seront bien évidemment pris en compte, en vue de mieux comprendre et évaluer les enjeux et les opportunités d'usage de ce nouveau vecteur énergétique décarboné.

Capture du CO_2 et méthanation : le projet « RECYCARB »

Le CTMNC s'intéresse de près à la capture du CO_2 et à son utilisation (CCU Carbon Capture and Utilization). Une des voies de développement est la méthanation qui consiste à recombiner du CO_2 avec du dihydrogène afin de synthétiser du méthane (CH_4), principal constituant du gaz naturel. Le projet « RECYCARB » est dédié à cet axe d'étude.

Les technologies actuelles de capture du CO_2 nécessitent de disposer de quantités de CO_2 assez importantes, ce qui n'est pas le cas dans l'industrie de la terre cuite, mais les avancées dans ce domaine permettent désormais de capter efficacement des niveaux de CO_2 équivalents à ceux présents dans l'atmosphère.

Le CTMNC s'est rapproché d'une entreprise qui réalise la méthanation par voie catalytique et conçoit des réacteurs permettant de réaliser la réaction de Sabatier ($CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$).

Elle propose de livrer clé en main l'ensemble des unités nécessaires à la construction d'un site pilote :

- Une unité de captation du CO_2 en sortie de cheminée,
- Une unité de production d'hydrogène par électrolyse,
- Une unité de méthanation.

Le recours à cette technologie implique donc une modification en profondeur des installations industrielles, dans la mesure où il faudra intégrer toutes ces unités.

Cette entreprise a déjà fourni une installation similaire pour un site pilote au sein d'une autre filière et a, de ce fait, un premier retour d'expérience. Une étude de faisabilité financière a été réalisée, avec plusieurs scénarios envisagés. Afin de pouvoir rendre cette modélisation plus réaliste, les industriels l'ont alimentée par des données du terrain. L'étude révèle que le recours à cette technologie est économiquement viable. Il reste à sélectionner un site qui deviendra un démonstrateur, et à rechercher des aides financières pour supporter le projet.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 29 03/05/2022 12:36

La révision du BREF « Céramique » avance

L'année 2021 a permis d'entamer le processus de révision du BREF (Best Avalaible Techniques Reference Document) lié à la « Fabrication des céramiques ». Le questionnaire de collecte des données nécessaires a fait l'objet d'intenses négociations, pilotées par le CTMNC, avant qu'un document commun soit adopté par l'ensemble des parties constituant le Groupe de travail.

En février 2021, le travail collectif de révision du BREF « Céramique » a commencé, aboutissant à d'importantes décisions sur les polluants susceptibles d'être présents dans l'industrie de la terre cuite. L'année s'est poursuivie par l'élaboration du questionnaire de collecte des données essentielles pour la fixation des nouvelles valeurs limites d'émission de ces polluants. Les informations à recueillir sur le terrain étant propres à chaque fabricant, leur traitement a généré des échanges d'opinions divergentes, ainsi que trois versions du questionnaire. Le Groupe de travail, composé de représentants de l'Union européenne, d'associations environnementales et de l'industrie, s'est finalement entendu sur une version finale du document, en janvier 2022.

Pour la France ont été sélectionnés une douzaine de sites représentatifs du secteur des tuiles et briques, qui seront appelés à remplir le questionnaire entre février et avril 2022. Pour un bon déroulé des opérations, le CTMNC a été chargé de coordonner la collecte des données auprès des industriels concernés, ainsi que de les aider à bien remplir le questionnaire.

Solutions alternatives au $BaCO_3$ contre les efflorescences de séchage des produits céramiques

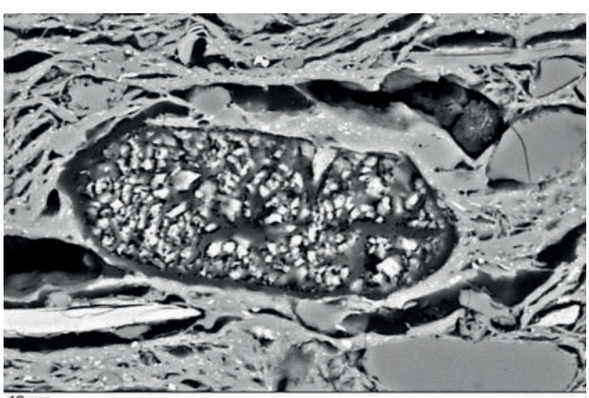
Le CTMNC poursuit ses travaux de recherche sur l'effet barrière de certains revêtements sur la migration en surface des sulfates de calcium solubles, appliqués avant séchage des produits.

Menée depuis 2019, l'étude vise à comprendre le rôle barrière de quatre composés (deux sirops de sucres et deux tensioactifs non ioniques) dans l'apparition des efflorescences de séchage. D'autres expérimentations ont été réalisées cette année 2021. La migration des sulfates dans l'épaisseur a été observée au microscope électronique à balayage (MEB) sur des éprouvettes cuites. Le couplage avec une cartographie par spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDS) a permis de localiser les éléments Calcium et Soufre dans cette épaisseur. Ces résultats ont été complétés, notamment, par des analyses de spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF) (dosage des éléments) et par des diffractions des rayons X (DRX) (identification des phases cristallines) réalisées sur les surfaces traitées, avant et après cuisson.

Ces différents essais ont permis de mettre en évidence un effet barrière des revêtements choisis, puisqu'ils empêchent les ions calcium (Ca^{2+}) et sulfates (SO_4^{2-}) d'atteindre la surface d'évaporation et de s'y concentrer, pour y former un voile blanc d'anhydrite ($CaSO_4$).

Les sucres, assez solubles, pénètrent très légèrement sous la surface de l'échantillon humide et semblent y bloquer les ions. Moins solubles, les tensioactifs restent en surface et limitent ainsi la migration des ions. Dans les deux cas, on observe une répartition homogène des sulfates dans l'épaisseur par le biais des capillaires, comme le montre la photo.

Ainsi mis en évidence, cet effet barrière des revêtements n'a cependant pas d'impact, ou peu, sur la cinétique de migration et d'évaporation de l'eau.



Grains de sulfates de calcium dans un capillaire

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 30 03/05/2022 12:36

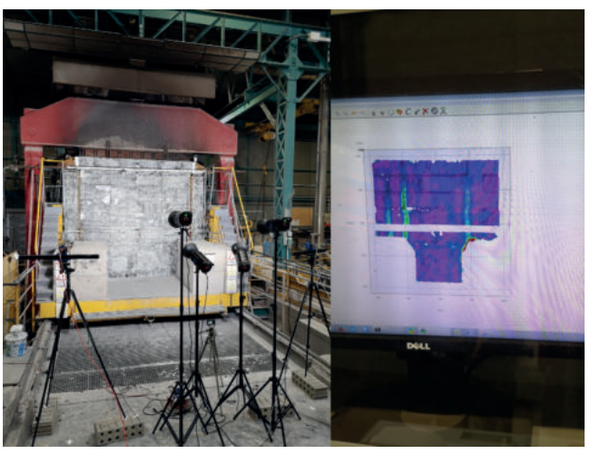
Convention CSTB-CTMNC sur la résistance au feu des maçonneries en pierres naturelles : premiers résultats de recherche

Une thèse de doctorat, co-encadrée par le CSTB[35] et le CTMNC, a démarré en octobre 2020 et se poursuivra jusqu'en 2023. Celle-ci fait suite à une première campagne d'essais réalisée dans les laboratoires du CSTB en 2019.

Le texte de référence pour le dimensionnement des structures en maçonnerie en pierre naturelle au niveau européen est l'Eurocode 6, dans lequel certaines valeurs forfaitaires sont données à titre indicatif. Néanmoins ces valeurs, très sécuritaires, rendent l'usage de la maçonnerie en pierre naturelle plus complexe, et ne reflètent pas la réalité de la résistance au feu sous charge des maçonneries en pierre.

Ainsi, l'objectif de la thèse est de proposer une méthode complète d'évaluation du comportement au feu des murs en pierre naturelle, à visée applicative pour l'ingénieur. Les résultats de la thèse enrichiront les connaissances sur le comportement au feu des murs en pierre naturelle. Ils fourniront une méthodologie de dimensionnement et des outils de calcul qui permettront au CSTB et au CTMNC d'élargir leurs prestations dans le domaine de l'Ingénierie de la Sécurité Incendie (ISI).

Partenaires de la thèse de doctorat :
CTMNC, CSTB et Ecole des Ponts ParisTech



Essai de résistance au feu (chauffage selon courbe ISO 834-1) réalisé au CSTB sur une maquette de mur (3 m x 3 m) maçonné en pierre calcaire tendre (fortement instrumenté pour l'acquisition et le traitement de données)

Premiers résultats de la thèse

En 2021, une première modélisation thermo-élastique unidimensionnelle du mur exposé au feu, prenant en compte l'évolution des propriétés thermo-mécaniques en fonction de la température, a permis d'obtenir la déformée d'un mur non chargé soumis à un feu ISO 834. Sur ce mur non-chargé, considéré homogène, cette première modélisation donne des résultats relativement proches de la déformée expérimentale observée (17 % d'écart entre le modèle et l'expérience après 30 minutes d'exposition au feu).

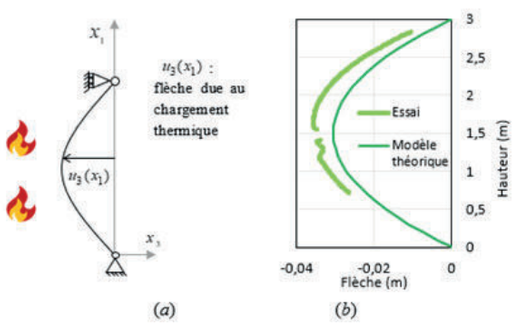


Figure (a) - Mur modélisé par une poutre exposée au feu d'un côté
Figure (b) - Comparaison des résultats du modèle aux résultats expérimentaux après 30 min d'exposition au feu

35 CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - Thèse d'Elodie Donval.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 31 03/05/2022 12:36

Avancées du projet « POSTFIRE - Stabilité et préservation des bâtiments du patrimoine culturel en maçonnerie de pierre après incendie »

Un financement ANR[36] a été accordé dans le cadre du projet « POSTFIRE » (2020-2024), impliquant plusieurs partenaires académiques et industriels. Une première thèse de doctorat a débuté en décembre 2020, suivie d'une seconde, lancée en novembre 2021. Ces thèses font suite à un précédent stage de Master 2 traitant de la même thématique, réalisé au L2MGC (Université de Cergy)[37] et financé par le CTMNC.

Le projet « POSTFIRE », démarré officiellement en décembre 2020, s'intéresse au comportement de la maçonnerie en pierre naturelle après une exposition à haute température à l'échelle du matériau, puis de la structure, en tenant compte des conditions réelles d'extinction d'un incendie (refroidissement sous eau).

Les différents partenaires du projet « POSTFIRE » : CTMNC, CSTB, Rocamat, CY Cergy Paris Université (L2MGC), Université d'Orléans (LAME) et LRMH

Les objectifs scientifiques et techniques de ces travaux visent à :

- Développer les connaissances scientifiques sur la maçonnerie de pierre exposée aux hautes températures. Il s'agit ici d'étudier les relations entre les phénomènes chimiques et physiques et les changements des propriétés physiques, thermiques et mécaniques des pierres, au moyen d'essais à l'échelle du matériau ;
- Créer une base de données pour 13 pierres calcaires françaises sélectionnées et étudiées après avoir été exposées à un incendie, et établir des modèles numériques dans ce domaine. La fiabilité de ces modèles sera vérifiée par des essais à l'échelle de la structure, ainsi que par une étude de cas (la cathédrale Notre-Dame de Paris) ;
- Proposer des recommandations pour l'évaluation après incendie des bâtiments du patrimoine culturel français en maçonnerie de pierre. L'objectif est de réviser les normes techniques, et aussi de diffuser, auprès des universitaires, des restaurateurs du patrimoine et des comités de normalisation nationaux et internationaux, les résultats pratiques de la Recherche.

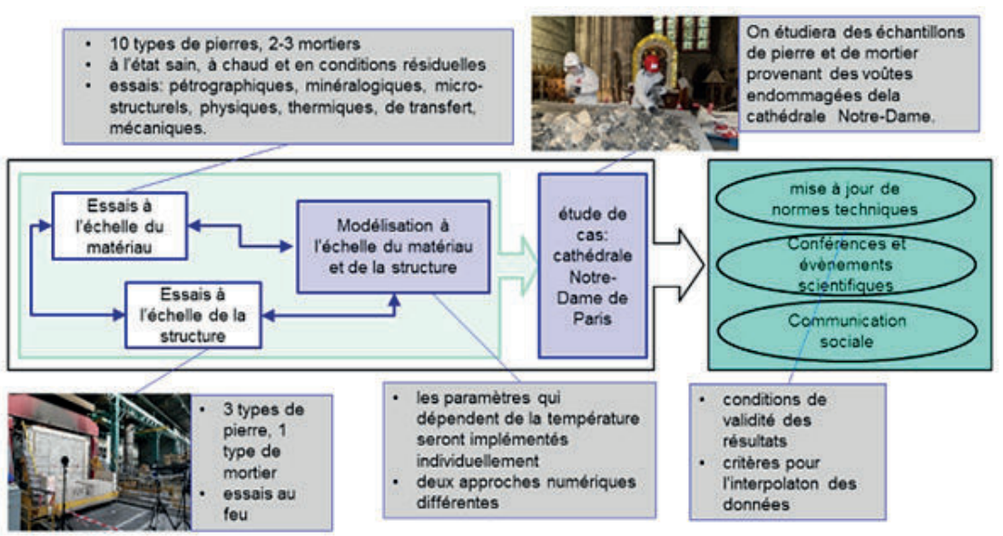


Schéma représentant les différents axes de travail du projet de recherche : campagne expérimentale, travaux de modélisation numérique, et diffusion/valorisation des résultats
Voir aussi sur : https://l2mgc.cyu.fr/version-francaise/navigation/anr-postfire

36 ANR : Agence Nationale de la Recherche.
37 L2MGC : Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil de CY Cergy Paris Université.

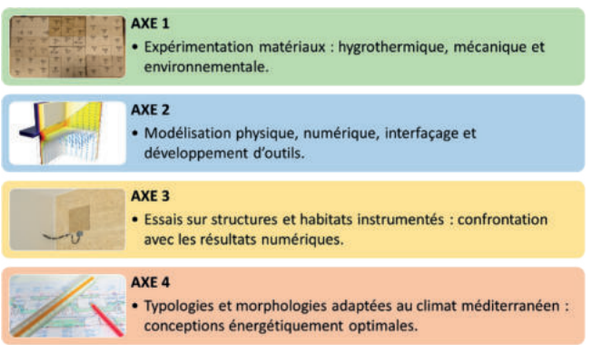
CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 32 03/05/2022 12:36

Poursuite du projet « OEHM - Optimisation Energétique de l'Habitat Méditerranéen »

Piloté par le CNRS, ce projet destiné à optimiser les performances énergétiques de l'habitat méditerranéen réunit, depuis son lancement en 2020, le CTMNC, des organismes de recherche et des entreprises locales.

Le projet de recherche « OEHM » repose sur quatre axes :

- Axe 1 : La caractérisation hygrothermique, mécanique et environnementale de matériaux locaux à différentes échelles ;
- Axe 2 : La modélisation physique et numérique des transferts de chaleur et d'humidité dans le but de développer un moteur de calcul ;
- Axe 3 : Vérification de la pertinence des modèles ainsi créés, en conditions réelles sur des bâtiments ou des parties de bâtiments instrumentés ;
- Axe 4 : Faire émerger des typologies et des morphologies architecturales permettant de minimiser les besoins énergétiques des bâtiments.



Les 4 axes de travail du projet « OEHM »

Le CTMNC a collaboré au projet, tout d'abord, en partageant certaines informations sur les pierres calcaires caractérisées auparavant dans le cadre d'une thèse[38]. En effet, celle-ci comporte des similitudes avec le projet, notamment en ce qui concerne les trois premiers axes cités.

Pour alimenter les modèles de l'axe 2, les acteurs du projet « OEHM » ont commencé par caractériser des matériaux locaux. Les résultats d'essais seront intégrés dans une base de données complète, où figureront *a minima* les propriétés hygrothermiques et mécaniques, ainsi que toutes les métadonnées liées aux types d'essais réalisés, dont la norme ou le protocole suivis, et les conditions particulières de réalisation du test. L'enjeu de cette base de données dépasse le cadre du projet, puisqu'il a déjà été envisagé qu'elle pourrait servir dans le cadre de la recherche académique, voire professionnelle ; elle devrait être développée dans le cadre du projet national « DOLMEN »[39].

En 2021, le CTMNC a également contribué au projet en échangeant sur la prise en compte de l'inertie thermique dans la simulation des besoins énergétiques, et dans l'étude du confort (hygro-)thermique des bâtiments. L'objectif était de vérifier si les hypothèses adoptées en matière d'inertie étaient suffisantes pour estimer fidèlement les besoins énergétiques des constructions à forte inertie, telles que les constructions en pierre massive. Une confrontation des résultats obtenus avec le moteur de calcul, développé dans le cadre du projet « OEHM », avec les retours d'expérience des expérimentations *in situ* pourrait aboutir à une meilleure considération des aspects inertiels.

38 Voir l'article dédié, page 26 de ce Rapport d'activités.
39 Voir l'article suivant, page 34.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 33 03/05/2022 12:36

Implication du CTMNC dans le projet national « DOLMEN - Développement d'Outils et de Logiciels pour la Maçonnerie Neuve et Existante »

Le CTMNC a intégré, depuis septembre 2021 le projet de recherche collective « DOLMEN ». Ce projet regroupe un grand nombre d'acteurs, dont des universités, des laboratoires, des bureaux d'études, et des collectivités territoriales.

Le projet « DOLMEN » porte sur les constructions en maçonnerie de pierre ou de briques de terre cuite, avec ou sans liant, et relevant du génie civil (ponts, soutènements, quais, digues, barrages, tunnels, canaux, conduites…).

L'objectif de l'étude 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 en vue de :

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

Dans ce projet, le CTMNC intervient, en tant que co-pilote, sur l'Axe 1 : « Caractérisation du matériau composite », 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 permettant d'obtenir ces données.

Pour ce faire, le programme de recherche mené par le CTMNC vise à réaliser :

- Une synthèse bibliographique des caractéristiques matériaux et des protocoles utilisés dans le domaine,
- 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 de l'homogénéisation théorique et expérimentale de la maçonnerie,
- Une mise en place et validation des protocoles expérimentaux et des normes associées,
- Des recommandations sur les essais (type, nombre, prélèvement…) à réaliser pour un diagnostic de dimensionnement.

DolmEn
Développement d'Outils et de Logiciels pour la Maçonnerie Existante et Neuve

IREX
Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil

Projet national de recherche « DOLMEN » (https://pndolmen.fr/), administré par l'IREX (www.irex.asso.fr)

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 34 03/05/2022 12:36

BIM

Le BIM et 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 s'appuyant, autant que possible, sur les propriétés natives des logiciels de conception de bâtiments.

Pour accompagner la filière, le CTMNC a établi la liste des propriétés pertinentes à intégrer au « matériau pierre naturelle » numérique BIM, à partir des données fournies par les essais d'identité et les essais d'aptitude à l'emploi présentés dans sa base de données en ligne « Lithoscope® ». Une correspondance entre les propriétés des matériaux en pierre naturelle et les propriétés couramment employées sous les logiciels « Revit® » et « ArchiCad® » existait déjà, mais certaines propriétés n'étaient pas représentées, et y ont donc été ajoutées en 2021 (étiquetage sanitaire, FDES, conditionnement des matériaux).

Le CTMNC collabore avec la société BIM&CO, chargée du développement informatique des objets génériques « pierre naturelle » dans ces deux logiciels, de leur création à leur intégration. Pour y illustrer la pierre naturelle, c'est une pierre calcaire qui a été choisie, et implémentée dans les quatre types d'ouvrages suivants :

- Un mur simple (Cf. NF DTU 20.1),
- Un mur double (Cf. NF DTU 20.1),
- La pierre naturelle mince collée (Cf. NF DTU 52.2),
- La pierre naturelle mince attachée (Cf. NF DTU 55.2).

Ces objets numériques sont disponibles en téléchargement gratuit, à partir de la bibliothèque du site Web de BIM&CO[40].

Exemple de projet BIM de construction de 150 logements à Puteaux (Architecte : A26 – Atelier BLM ; BET : Codibat) :
(a) Perspectives et modélisation du projet incorporant de la pierre naturelle
(b) Propriétés physiques de la pierre mises en œuvre sous le logiciel de modélisation BIM « Revit »

QUALITÉ

Le CTMNC poursuit le développement de son logiciel « LIMS »

Le CTMNC a souhaité se doter d'une solution informatique permettant de transmettre à ses clients les livrables de ses prestations de manière sécurisée, tout en respectant les exigences de qualité liées à ses activités. Ce besoin s'est donc traduit par l'acquisition d'un logiciel intégré de gestion de laboratoire ou LIMS (Laboratory Information Management System). Début 2021, le CTMNC a débuté le développement informatique de son nouveau logiciel.

La mise en production du logiciel n'ayant pu être réalisée en fin d'année 2021, celle-ci est prévue pour la fin du premier semestre 2022. Les utilisateurs du CTMNC pourront commencer à utiliser l'outil « LIMS » pendant l'été 2022 pour les éléments déjà intégrés. Parallèlement, tout au long de l'année 2022, l'équipe projet continuera d'alimenter la base de données avec de nouveaux éléments. L'objectif est que tous les services concernés au sein du CTMNC n'utilisent plus que l'outil « TEEXMA LIMS » pour la gestion des essais, des rapports, des habilitations et des autres documents techniques et administratifs.

40 Site Web de BIM&CO à l'adresse suivante : www.bimandco.com.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 35 03/05/2022 12:36

Le CTMNC garantit la qualité de ses prestations d'essais et de certification

Que ce soit pour un produit, un service ou même une personne, la « qualité » est généralement évaluée au travers d'un jugement ou d'une opinion fondée sur des critères propres à chacun. Le résultat de ce mesurande (grandeur que l'on veut mesurer) peut s'avérer ainsi totalement subjectif. En la matière, le CTMNC dispose de « preuves de Qualité ».

Pour garantir la qualité de ses prestations techniques, le CTMNC a travaillé à la mise en place d'un processus permettant de mesurer des attendus, tels que la compétence du personnel, la validation de la méthode, la maîtrise des équipements, le traitement des dysfonctionnements, ou la satisfaction des clients. Ces points sont régulièrement vérifiés en interne, mais également en externe via un organisme « tierce partie » indépendant, le COFRAC (COmité FRançais d'ACcréditation).

En 2021, ces évaluations externes ont abouti à des conclusions favorables et le COFRAC a donc renouvelé sa confiance envers le CTMNC quant à sa capacité de délivrer des prestations conformes aux exigences attendues.

Le renouvellement de l'accréditation COFRAC du CTMNC porte sur les prestations suivantes :

Essais :

Le processus Qualité mis en place pour les essais permet au CTMNC de répondre aux exigences du COFRAC, ainsi qu'à celles de la norme NF EN ISO/CEI 17025. Le respect de ces exigences autorise le CTMNC à réaliser des prestations d'essais en laboratoire, ou directement chez ses clients, sous couvert de l'accréditation COFRAC Essais.

Cinq unités techniques du Centre technique sont concernées par cette accréditation, ce qui représente plus de 30 prestations d'essais CTMNC accrédités COFRAC, dont l'intégralité se retrouve sur la « portée d'accréditation COFRAC n° 1-0143 »[41].

Certification :

Les activités liées à la délivrance de certificats Qualité répondent aux exigences propres au COFRAC, et s'ajoutent à celle de la norme NF EN ISO/CEI 17065.
Parallèlement à l'accréditation COFRAC, le CTMNC dispose d'une Notification ministérielle. La combinaison de ces deux éléments autorise le CTMNC à délivrer des Certificats de Contrôle de Production Usine (CPU) dans le cadre du marquage CE (système 2+) pour les produits de terre cuite des trois domaines suivants :

- Eléments de maçonnerie,
- Conduits de fumée,
- Systèmes de planchers à poutrelles et entrevous.

L'ensemble des prestations CTMNC de certification « Produits et Services » accréditées COFRAC se retrouvent sur la « portée d'accréditation COFRAC n° 5-0075 »[42].

41 et 42 Portées disponibles sur le site Web du COFRAC : www.cofrac.fr.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 36 03/05/2022 12:36

Auditer « 100 % à distance » en temps de Covid-19

Après une première année de pandémie de Covid-19, tous les organismes d'inspection ont ajouté le principe du fonctionnement à distance dans leurs référentiels. En 2021, le CTMNC a ainsi pu réaliser ses audits Qualité auprès des fabricants de produits de construction de terre cuite.

Si 2021 ne marquait pas un retour à la normale, l'année a cependant été bien placée sous le signe d'une vraie reprise d'activité. Il s'agissait, pour le CTMNC, d'assurer le maintien des certifications produits et procédés des fabricants, en revenant à des fréquences d'audits telles qu'exigées dans les référentiels des organismes d'inspection. Adopté en 2020, le principe de maintien *a minima* des audits, consistant à auditer chaque site industriel « au moins une fois dans l'année », ne pouvait, de fait, être reconduit.

En un premier temps, le CTMNC a réalisé des « Audits remaniés », composés de revues documentaires à distance et de présence sur sites limitée aux contrôles produits finis et contrôles procédés. Puis, dans un second temps, une procédure dite « Audit 100 % à distance » a été développée. Cette procédure s'appuie, avec l'accord du titulaire, sur la définition très détaillée, dans le plan d'audit, de chacune des exigences à examiner : quels moyens techniques de communication, quelles personnes doivent se rendre disponibles, où, quand, pour quelle durée, quelles préparations sont prévues en amont, etc. Ainsi il y a eu des réunions en visio-conférence, des vidéos et des interviews via smartphones, sur parc et dans l'usine, des documents échangés via messageries ou plateformes sécurisées.

De l'avis de tous, ces pratiques permettent effectivement d'assurer un audit complet et efficace, mais elles sont, *a contrario*, plus chronophages et éprouvantes pour les équipes et les auditeurs du CTMNC. Elles devraient donc rester une alternative si possible exceptionnelle.

Pour le CTMNC, les « audits 100 % à distance » ont été surtout réalisés en début d'année pour les premières visites, et ce à hauteur d'environ 15 % du nombre total d'audits effectués en 2021. Cela a permis d'assurer l'ensemble du programme annuel d'audits prévu, tout en garantissant une visite sur site au moins pour chaque titulaire, quelle que soit la certification concernée : « NF 063 Tuiles », « NF 046 Briques », « NF 554 Maçonneries montées à joint mince », ou marquage CE2+ pour les briques, les entrevous et les boisseaux.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 37 03/05/2022 12:36

VEILLE - COMMUNICATION

Un « Parcours Innovation » conçu par MECD pour le Congrès de l'USH

Du 28 au 30 septembre 2021 au Palais des Congrès de Bordeaux, l'Union Sociale pour l'Habitat (USH) a organisé son Congrès annuel. Afin de renforcer l'attrait de son « Pavillon de l'exposition », elle a confié à MECD[43] la mise en place d'un « Parcours Innovation ».

Maquette du système constructif « DEMODULOR » présentée sur le stand de MECD lors du Congrès 2021 de l'USH

A cette occasion, l'Union Sociale pour l'Habitat a gracieusement mis à disposition de MECD un stand lui permettant d'organiser, sur les thèmes de l'innovation et de la mixité, une animation permanente grâce à des écrans de démonstration, des échantillons, des maquettes, ainsi que des experts présents pour répondre aux questions des nombreux visiteurs.

Le « Parcours Innovation », conçu par MECD, proposait différents éléments pour illustrer principalement les thèmes suivants :

L'économie circulaire :

- Anticiper la démontabilité de parties d'ouvrages pour faciliter la valorisation des composants de bâtiments : présentation de la maquette « DEMODULOR » ;
- Prévoir en amont de la construction le réemploi des matériaux en fin de vie du bâtiment : mise à disposition de guides de diagnostic pour huit typologies constructives.

Réhabilitation - Extension de bâtiment :

Evaluer la faisabilité technico-économique de surélévation d'un ouvrage existant, en intégrant l'approche de la rénovation énergétique du logement, grâce à la réalisation d'un diagnostic pluridisciplinaire et à la préconisation de solutions d'accompagnement sur mesure : démonstrations de l'outil Web « LIGN2TOIT » (accessible gratuitement[44]).

Construction « bas carbone » et mixité des matériaux :

Dans le cadre de sa réponse à l'appel d'offres « Matériaux stratégiques pour la construction et la rénovation bas carbone et responsable » de l'ADEME, MECD a développé un corpus technique concernant les revêtements minéraux sur COB (construction à ossature bois) et panneaux CLT[45] :

- Présentation d'une maquette de tuiles de terre cuite en bardage sur COB et CLT ;
- Mise à disposition des Règles Professionnelles[46] dédiées à ce type de pose.

L'USH a apprécié ce « Parcours Innovation », mis en place par son partenaire MECD, comme une expérience concluante, puisque le stand a été très fréquenté par les visiteurs du Congrès, gage également de retombées pour le CTMNC.

Page d'accueil du site Web https://lign2toit.fr

Aperçu du stand MECD dédié au « Parcours Innovation » du Congrès 2021 de l'USH

43 Labellisé « Institut Carnot » depuis le 7 février 2020, MECD (Matériaux et Equipements pour la Construction Durable) regroupe quatre Centres Techniques Industriels (CTI) de la filière Construction, dont le CTMNC, ainsi que deux laboratoires de recherche universitaires, et le Réseau CTI.

44 L'outil « LIGN2TOIT » est issu de la collaboration, en 2020, du CTMNC, du CERIB, du CTICM et du FCBA, en partenariat avec AETIC Architectes et POUGET Consultants. Il est disponible à l'adresse suivante : https://lign2toit.fr.

45 Panneaux CLT : panneaux en bois lamellé-croisé (*Cross Laminated Timber*).

46 Voir l'article dédié, page 11 de ce Rapport d'activités.

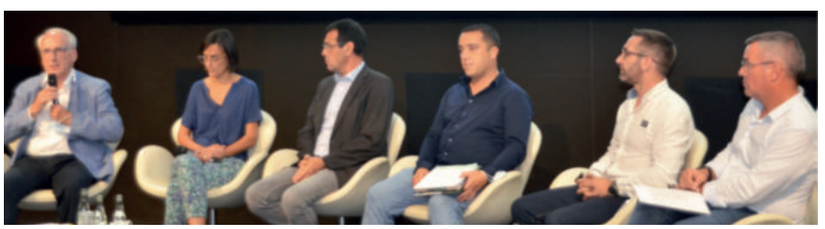
CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 38 03/05/2022 12:36

Journée de présentation du nouveau livre « Pierres naturelles - Conception et réalisation de voiries et d'espaces publics »

Cette Journée technique du 9 septembre 2021 a été organisée à Paris, dans les locaux de la FNTP[47]. Pour l'événement que constitue la réédition de cet ouvrage collectif, dix ans après sa première publication qui remporta un vif succès, le CTMNC a réussi à réunir plus de 120 acteurs de la filière Pierre Naturelle.

Cet ouvrage de référence, dédié principalement à la voirie en pierre naturelle, a été rédigé par quinze co-auteurs, dont le CTMNC, et douze autres contributeurs (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, fournisseurs, entreprises, exploitants et responsables de réseaux techniques). Le travail de rédaction a reçu le soutien de l'Association des Ingénieurs Territoriaux de France (AITF), de l'Association Professionnelle des Paveurs, et de Routes de France. La nouvelle édition du livre est à nouveau publiée par RGRA (Revue Générale des Routes et de l'Aménagement).

Tout au long de cette journée d'échanges, de nombreux spécialistes co-auteurs de l'ouvrage, ainsi que des maîtres d'ouvrages invités, ont explicité et témoigné des règles de l'art, mais également des nouvelles pratiques de mise en œuvre de la pierre naturelle en voirie et aménagement d'espaces publics.



Une des tables-rondes réunissant des professionnels de la pierre fournisseurs de produits de voirie

Didier Pallix, Directeur Général du Département ROC du CTMNC (à gauche sur la photo) et Jean-Pierre Christory, consultant dans le domaine de la voirie

Journée technique du CTMNC « La pierre massive au défi de la Réglementation Environnementale 2020 »

La 13ème édition de la Journée Technique organisée à Paris, chaque année, par le Département ROC du CTMNC a remporté en franc succès. Sur l'axe du « Bien construire en pierre naturelle dans le contexte de la RE2020 », l'événement a fait salle comble ce 14 octobre 2021.

Cette nouvelle Journée Technique ROC a été l'occasion, pour le CTMNC, de réunir plus de 90 professionnels issus de milieux différents : des producteurs de pierre naturelle, des entreprises de pose, des experts, des architectes, des représentants de bureaux d'études et de centres de recherche. Le regain d'intérêt pour la construction en pierre massive que manifestent les architectes et les prescripteurs, en France, est l'explication du succès de cette journée.

Cet événement a permis l'intervention de nombreux spécialistes de l'environnement et de la thermique, dont Tristan Pestre, qui a soutenu en 2021 sa thèse de doctorat financée par le CTMNC. Il a également été l'occasion de rappeler l'importance, pour la filière Pierre Naturelle, de la nécessité de promouvoir les atouts de ses matériaux : inertie, production « bas carbone », proximité possible du chantier de construction, etc.

Professionnels venus assister à la Journée Technique ROC du 14 octobre 2021

47 FNTP : Fédération Nationale des Travaux Publics.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 39 03/05/2022 12:36

NORMALISATION

Nouveautés spécifiques à la terre cuite

En 2021, l'activité de normalisation concernant les produits de construction de terre cuite est restée importante, et ce, malgré la conjoncture sanitaire liée à la pandémie de la Covid-19. Elle a sollicité de nombreux experts au sein du CTMNC.

Des sujets « émergents » en normalisation : les briques de terre crue et les plaquettes de terre cuite

Avec de plus en plus d'attention portée au respect de l'environnement, le marché des matériaux de construction a connu, ces dernières années, un engouement pour certains produits, tels que les solutions en terre crue et les plaquettes de terre cuite, notamment sur ETICS[48]. Cet engouement a accru le besoin de normalisation. La révision de la norme expérimentale XP P13-901 sur les briques de terre crue, pilotée par le CTMNC, s'inscrit dans ce cadre[49].

Concernant les plaquettes de terre cuite, la France dispose depuis 1995 d'une norme NF. Fin 2020, à la suite d'une consultation faite par l'AFNOR, il a été décidé de réviser cette norme. Parallèlement, au niveau européen, sous l'impulsion de la Belgique, des travaux de normalisation ont débuté à la mi-2021. En 2021, le CTMNC a donc concentré son activité normative sur les travaux européens. Lorsque la norme européenne sera publiée, de fait elle annulera automatiquement la norme française : il convient donc de s'assurer que les critères de performance décrits dans la norme française soient bien repris dans la future norme européenne, afin de garantir un même niveau de performances.

Mise en œuvre : la tuile en bardage bientôt inscrite dans le DTU 45.4

Le CTMNC a œuvré pour que la tuile de terre cuite soit en bonne place dans le DTU 45.4 « Systèmes d'isolation thermique par l'extérieur en bardage rapporté avec lame d'air ventilée », en proposant, très tôt, au BNTEC un document pour la prise en compte des tuiles. La partie 1-1-6 « Cahier des Clauses techniques - Parement extérieur en tuiles de terre cuite et béton » a ainsi été soumise à l'enquête en 2021, et sa publication est attendue en 2022. L'intégration dans le DTU permet de revendiquer la notion d'ouvrage traditionnel et facilite l'assurabilité de cette solution, et donc son développement.

Eurocode 6 : le CTMNC acteur de la révision de cet Eurocode clé pour la maçonnerie en terre cuite

En 2021, deux parties de cet Eurocode ont été mises en révision :

- **Révision de la partie P1-1 « Règles générales pour ouvrages en maçonnerie armée et non armée ».**
  Un projet de texte a été soumis à l'enquête publique jusqu'à fin 2021.
  Ce projet de révision intègre un certain nombre de changements, parmi lesquels :
  - La création d'un nouveau groupe 1S ;
  - L'introduction d'un coefficient de frottement caractéristique μ_f (pour remplacer le coefficient 0,4 devant la contrainte de compression perpendiculaire σ_d) ;
  - Une légère augmentation des valeurs tabulées de f_{xk1} et f_{xk2} pour la terre cuite.

  Une analyse détaillée de toutes les modifications apportées à cette P1-1, et impactant les produits de la filière, a été réalisée par le CTMNC et présentée aux industriels. La publication est attendue courant 2022.
- **Révision de la partie P3 « Méthodes de calcul simplifiées pour les ouvrages en maçonnerie non armée ».**
  L'enquête officielle a démarré en septembre 2021. Des problèmes techniques ont été identifiés, en lien avec la formule permettant de calculer la capacité résistante des murs de rive avec des planchers partiellement supportés.
- **Révision des parties P1-2 « Calcul du comportement au feu » et P2 « Conception, choix des matériaux et mise en œuvre des maçonneries ».**
  Approbation par le CEN/TC250/SC6 ; les enquêtes formelles sont prévues en septembre 2022.

Les normes harmonisées européennes au ralenti : vers une relance en 2022 ?

Malgré une activité soutenue de la filière en matière de normalisation, les travaux sur les normes harmonisées ont connu un quasi-arrêt, en 2021, au niveau européen.

Des incertitudes liées à l'application et à la révision du Règlement européen des Produits de Construction (RPC) expliquent cette stagnation. Une relance des travaux, d'une part sur les acquis, d'autre part concernant la révision du RPC, est attendue en 2022, lorsque la Commission européenne aura fait connaître son projet.

48 ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*) ou systèmes d'isolation thermique par l'extérieur.
49 Voir les articles dédiés, page 16 et 22 de ce Rapport d'activités.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 40 03/05/2022 12:36

Nouveautés normatives pour la pierre naturelle, et la terre cuite

P10B - « Maçonnerie - Miroir du CEN/TC 125 et CEN/TC 250/SC6 » :
L'Eurocode 6 (EN 1996) est en 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 » :
L'enquête sur 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 et donc les Avis Techniques correspondants ne sont pas reconduits. Les exigences sur les attaches doivent faire l'objet d'un amendement au NF DTU 55.2.

P72F - NF B 10-601 « Spécifications d'emploi de la pierre naturelle » :
La norme NF B10-601 publiée en septembre 2019 a fait l'objet d'une révision mineure. La nouvelle version a été publiée en août 2021.

CN AVEP - « Aménagements de voiries spécifiques » :
La norme NF P98-351 « Éveil de vigilance - Caractéristiques, essais et règles d'implantation des dispositifs podotactiles au sol d'éveil de vigilance à l'usage des personnes aveugles ou malvoyantes » révisée a été publiée en août 2021.

CNPS - « Parasismique » :
L'Eurocode 8 (EN 1998) est en révision. La nouvelle version est subdivisée en deux parties : EC8 P1-1 « Règles générales et actions sismiques » et P1-2 « Règles pour les nouveaux bâtiments ».

Règles CPMI :

Publication de l'Arrêté du 8 septembre 2021 modifiant l'Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la densification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».

CEN/TC 128 SC8 - « 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.
- Une nouvelle norme EN 12326-3 « Schistes et pierres schisteuses pour toiture pour pose en discontinu - Spécifications et méthodes d'essai » est prête pour l'enquête CEN.

CEN/TC 246 WG2 - « Méthodes d'essai pierre naturelle » :

- La norme NF EN 12372 « Détermination de la résistance à la flexion sous charge centrée » sera publiée en mars 2022.
- Le projet de norme prEN 16306 « Détermination de la résistance du marbre aux cycles thermiques et d'humidité » est au vote formel en 2022.
- Le projet de norme prEN 14579 « Détermination de la vitesse et propagation du son » est en révision.

CEN/TC 339 - « Méthodes d'essai sur la glissance » :

La norme d'essai NF EN 16165 « Détermination de la résistance à la glissance des surfaces piétonnières - Méthodes d'évaluation » a été publiée en octobre 2021.

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 17488 « Méthodologie d'évaluation des méthodes de nettoyage » a été publiée en juin 2021.
- Le projet de norme prEN 17655 « Essai d'absorption d'eau à l'éponge » sera au vote formel en 2022.
- NWI 00346056 « Dessalement des matériaux inorganiques poreux par application de compresses » - est en attente de l'enquête CEN.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 41 03/05/2022 12:36

FORMATION

La formation des professionnels de la filière Terre Cuite en 2021

Un nouveau cycle de formation CQP[50] « Technicien de maintenance » a démarré en septembre 2021, avec des salariés issus de quatre entreprises du secteur des tuiles et briques. Ces salariés se retrouvent, chaque mois à Paris, au Centre de formation ACFITEC, partenaire du CQP.

Jusqu'en juillet 2022, les participants à cette formation CQP suivront le programme, rénové en blocs de compétences :

- Repérage de dysfonctionnements ;
- Remplacement d'éléments mécaniques, électriques, pneumatiques, hydrauliques et automates programmables ;
- Maintenance préventive ;
- Capitalisation des actions de maintenance.

Ils sont accompagnés par un Responsable Maintenance de leur site industriel, qui joue le rôle de tuteur CQP.

Le CTMNC est « certifié Qualiopi »

Le CTMNC a été évalué et jugé conforme aux exigences réglementaires applicables aux organismes de formation pour la réalisation d'actions de formation. Le CTMNC, en tant qu'organisme de formation, a ainsi obtenu le certificat « Qualiopi » le 4 novembre 2021.

L'obtention du certificat « Qualiopi » permet aux entreprises clientes du CTMNC d'accéder à des financements publics.

Qualiopi
processus certifié
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

50 CQP : Certification de Qualification Professionnelle.

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 42 03/05/2022 12:36

LISTE DES MEMBRES

CONSEIL D'ADMINISTRATION – ANNEE 2021

Au titre des représentants des chefs d'entreprises

Laurent MUSY (Président) — **TERREAL**
Emeric de KERVENOAËL (Vice-Président) — **CARRIERES DE NOYANT**
Véronique BARTHEL — **WIENERBERGER SAS**
Gilles BERNARD — **BRIQUETERIES DU NORD**
Didier BROSSE — **UMGO-FFB**
Lionel DESPIERRES — **BMI-MONIER**
Frédéric DIDIER — **WIENERBERGER SAS**
Céline DUCROQUETZ — **GIE BRIQUE DE FRANCE**
Pascale ESCAFFIT — **BOUYER LEROUX**
Eléonore GROSSETETE — **EDILIANS**
Bertrand LANVIN — **EDILIANS**
Eric LE DEVEHAT — **CAPEB UNA PIERRE**
Adeline LEGER — **TERREAL**
Claudine MALFILATRE — **RAULT GRANIT**
Jean-Louis VAXELAIRE — **GRANITERIE PETITJEAN**

Au titre des représentants du personnel technique

Sylvie FEBVRET — **CFE/CGC**
Grégory BOURREL — **CFTC**
Laurent DELIAS — **CGT**
Serge GONZALES — **FO**
Marc VERDEIL — **CFDT**

Au titre des personnalités choisies en raison de leur compétence

Claire PEYRATOUT — **ENSIL-ENSCI**
Julien BEIDELER — **UMGO-FFB**
Jérôme DEGUEURCE — **CLEIA SAS**
Claude GARGI — **REVUE PIERRE ACTUAL**
François JALLOT — **CSTB**
Thierry TOFFOLI — **CAPEB-UNA MAÇONNERIE-CARRELAGE**

Au titre de l'État

Guglielmina OLIVEROS-TORO — **Commissaire du Gouvernement - MTE**
Rémi GALIN — **Représentant du Commissaire du Gouvernement - MTE**
Dominique BELLENOUE — **Adjoint au Représentant du Commissaire du Gouvernement - MTE**
Sylvie DONNE — **Contrôleure Générale Économique et Financier - CGEFI**

COMITES TECHNIQUES – ANNEE 2021

Comité Technique et Scientifique Tuiles & Briques

Martin PIOTTE (Président) — **TERREAL**
Stéphane DAUTRIA — **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**

Comité Technique et Scientifique Pierres Naturelles

Patrice BEAUFORT — **CAPEB UNA PIERRE**
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 BATIR**
Didier PALLIX — **CTMNC**
Philippe ROBERT — **LA GENERALE DU GRANIT**
Christian SCHIEBER — **CAPEB UNA PIERRE**
Jean-Louis VAXELAIRE — **GRANITERIE PETITJEAN**

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**
Dominique TESSIER — **RÉSEAU DES MAISONS DE L'ARCHITECTURE**
Isabelle DORGERET — **CTMNC**
Olivier DUPONT — **CTMNC**

CTMNC_M090_Rapport d'activité_2021_05.indd 43 03/05/2022 12:36

Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC

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

1, avenue d'Ester - Porte 16
87069 Limoges Cedex
Tél. : 05 19 76 01 40

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

cti réseau COMPÉTITIVITÉ TECHNOLOGIE INNOVATION

INSTITUT CARNOT MECD

PEFC 10-31-3162

IMPRIM'VERT®

Photos tous droits réservés : CTMNC et FFTB, sauf droits photo « Laurent Musy » : Lulu. Droits photos couverture : Pierre Actual / marché couvert de la ville de Saint-Dizier en pierre d'Euville Gevaux / architecte Christophe Aubertin et collectif Studiolada - CTMNC, photographe Laurent Farges.