

MARS 2024

FICHE MATERIAU BRIQUE DE TERRE COMPRESSÉE

QualITropic
la bioéconomie des Outre-mer



Les Tribunes de Cavani. SIM, 2012 Crédit : Ouvrage " construire en terre Mahoraise" - Art Terre.



FICHE MATERIAU : BRIQUE DE TERRE COMPRESSÉE - BTC

Volet Technique	2
• Descriptif du type d'ouvrage	2
• Rôle dans la construction	2
• Contexte de l'ouvrage à la Réunion	3
• Caractéristiques techniques	4
• Mise en œuvre	6
• Formation	8
• Entretien et Finition	8
• Fin de vie	8
• Impact environnementaux	9
Volet Ressources	10
• Localisation	11
Volet Industriel	12
• Formulation	12
• Matériel et coûts	12
• Séchage des briques	14
Volet Réglementation	15
• Règles de mise en œuvre et matériaux	15

VOLET 1

TECHNIQUE

Descriptif du type d'ouvrage

La **brique de terre comprimée, BTC**, est un matériau de construction fabriqué à partir de terre **argileuse crue** comprimée dans un moule. La BTC ne nécessite que peu ou pas de liants chimiques et est, selon l'usage, une alternative durable aux blocs de béton ou aux briques de terre cuite classiques. Elle présente des **propriétés thermiques et hygrothermiques** favorisant le confort dans les bâtiments. Sa fabrication locale consommant **peu d'énergie**, la BTC présente des impacts environnementaux réduits et est considérée comme un produit de construction **écologique et durable**.



Rôle dans la construction

La brique de terre comprimée peut être utilisée comme élément de maçonnerie porteuse, de remplissage d'ossature bois, métallique ou béton ou de cloisons. Son utilisation principale dans les territoires d'outre-mer, notamment à Mayotte, est aujourd'hui en tant qu'éléments de remplissage d'ossature bois ou béton. Il existe **4 classes de brique** en fonction de l'application prévue.

DOMAINE D'APPLICATION	CLASSE D'APPLICATION
Maçonnerie extérieur non enduite soumise aux intempéries	CL1
Maçonnerie extérieure enduite et soumise aux intempéries	CL2
Maçonnerie extérieure habillée et protégée contre les intempéries Maçonnerie intérieure (mur et cloison) protégée des venues d'eau liquide permanentes et accidentelles	CL3
Applications sèches intérieures, pose sans mortier sans risque de projection d'eau	CL4

Source : norme XP P 13-901

VOLET 1 : TECHNIQUE

Contexte de l'ouvrage et utilisation à la Réunion et Mayotte

La BTC est **très peu utilisée à la réunion** mais beaucoup plus répandue à Mayotte où l'histoire de la construction locale s'est construite autour de la terre crue. On y retrouve les principaux fabricants de BTC ainsi que des chantiers d'envergure, des milliers de maisons individuelles contemporaines et anciennes (depuis les années 1980), des bâtiments publics et autres établissements recevant du public (ERP).

Les acteurs de la BTC à Mayotte sont fédérés par l'association Art Terre Mayotte qui recense **3 producteurs de briques**. Même si les productions sont artisanales et peu industrialisées ces trois sites cumulent une capacité de production de **1600 BTC par jour**.

- Briqueterie d'ongojou
- Briqueterie de vahibé
- AC btp

Sur Mayotte, on retrouve la **BTC** à un prix entre **1.3€ et 2€**, prix supérieur au parpaing classique (**1.2€ - 1.5€**) pour un coût de **mise en œuvre d'environ 200€/m2 fini** contre 70€ à 150€/m2 pour la parpaing classique fini (en fonction du type de finition). Ce coût important pose un frein à l'utilisation massive. L'association Art Terre planifie de réaliser une étude comparative des coûts de pose des cloisons finies afin de mieux situer économiquement la solution BTC lors d'un projet de construction. Néanmoins, en **2023**, il est reporté plus de **4000m2 de BTC** en pose pour les différents projets en cours sur le territoire Mahorais.



Briqueterie Mahoraise - Crédit : www.art-terre-mayotte.org

VOLET 1 : TECHNIQUE

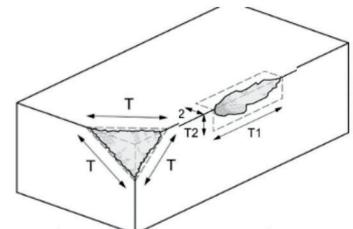
Caractéristiques techniques

Les caractéristiques présentées ci-dessous sont extraites de la norme XP P 13-901. Pour chacune d'elle, la norme détaille la méthode d'essai, incluant les appareillages et préparation des échantillons, le mode opératoire ainsi que la formalisation du rapport d'essai.

Forme

Parallélépipède, avec ou sans reliefs fonctionnels ou esthétiques.

Défauts tolérés :



Lieu du défaut	T	T1	T2
Longueur autorisée (mm)	20	30	5

Dimensions

Longueur (L) = 2 × largeur (l) + 1 × épaisseur du joint (1.5cm).

Blocs utilisés :

- **29,5 x 14 x 9,5 cm** - bloc rectangle
- **22 x 22 x 9,5 cm** - bloc carré

Masse volumique

La **masse volumique apparente** de la BTC est mesurée en **kg/dm³**, et est noté : **Mv X,X**. Avec X,X la masse volumique apparente. La classification existe jusqu'à 2,1 kg/dm³, au-delà, la BTC sera classée Mv 2,1.

Mv 1,7 = BTC ayant une masse volumique supérieur à 1,7 kg/dm³ mais inférieur à 1,8 kg/dm³

Résistance en compression

Les BTC sont classées selon leur résistance à la compression, mesurée en **MPa ou N/mm²** notée **Rc X**. Avec X la valeur de la résistance à la compression. La classification existe jusqu'à 6 MPa, au-delà la BTC sera classée Rc 6.

Rc 4 = BTC ayant une résistance à la compression supérieure à 4 MPa mais inférieure à 5 MPa.

VOLET 1 : TECHNIQUE

Comportement sous l'effet de l'humidité

Selon leur domaine d'application, les BTC doivent présenter une résistance suffisante à l'humidité. La norme présente aussi les essais relatifs au gel pour les zones géographiques concernées.

CLASSE	Essai en immersion Perte de masse (%)	Essai de contact
CL1	≤ 5	Aucune fissure, ni aucune déformation due au gonflement
CL2	≤ 5	Aucune fissure, ni aucune déformation due au gonflement
CL3	Pas d'exigence	Aucune fissure, ni aucune déformation due au gonflement
CL4	pas d'exigence	Aucune exigence

La stabilisation

La stabilisation de la brique est effectuée avec des liants majoritairement hydrauliques, type ciment ou chaux. **Le pourcentage de l'additif** stabilisateur est indiqué par rapport à la masse sèche de la brique.

S 5% = Brique stabilisée avec 5% massique de liant

Sécurité incendie

Le BTC et les mortiers de pose sont composés uniquement d'**éléments minéraux**, ils sont donc considérés comme des **matériaux incombustibles**. Un ouvrage de maçonnerie en **BTC est classé en catégorie A1** au regard de sa réaction au feu.

Ces caractéristiques techniques sont détaillées dans la documentation de la BTC lors de la fabrication. **La désignation technique d'une BTC** est alors rédigée avec le formalisme suivant :

MODE DE FABRICATION	CLASSE D'APPLICATION	RÉSISTANCE COMPRESSIO N	MASSE VOLUMIQUE	DIMENSION S (h x l x L)	STABILISATION (S x%)	RÉF. NORME
---------------------	----------------------	----------------------------	-----------------	-------------------------	----------------------	------------

EXEMPLE : BTC - CL1 - Rc4 - Mv 2.0 - 9.5x14x29.5 - S 5% - XP 13 901

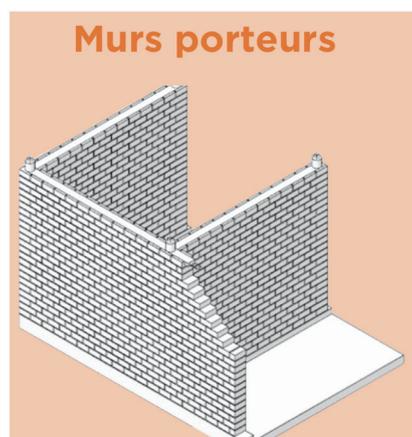
VOLET 1 : TECHNIQUE

Mise en œuvre

Les **règles professionnelles** validées en 2022 détaillent la mise en œuvre de la brique de terre compressée mais aussi de la brique extrudée et de la brique moulée. Ces règles professionnelles ayant été **acceptées par la (Commission Prévention Produits) C2P** avec suivi du retour d'expérience, ces techniques de mise en œuvre sont considérées **en « techniques courantes » par les assureurs**. La mise en œuvre concerne uniquement les BTC répondants à la norme XP P13-901 ainsi que les mortiers de pose décrits dans les règles professionnelles.

La mise en œuvre et le dimensionnement des ouvrages (pour tous type de constructions) présentés dans les règles professionnelles sont adaptés aux zonages :

- *Sismique zone 3 « modéré »*
- *Zone 5 effet du vent : cyclonique et tempête tropicale*



Murs porteurs

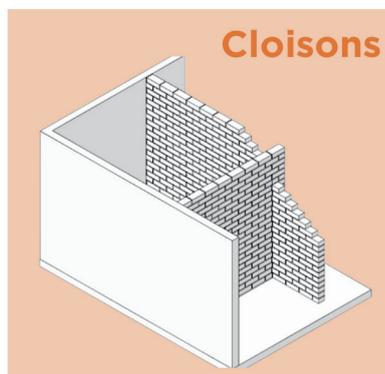
Épaisseur : **15cm minimum** (brut non enduit)
 Chaînages horizontaux et verticaux obligatoires
 Construction **R+3 maximum**
 BTC de résistance **Rc4 au minimum**
Élancement géométrique des murs ≤ 15
Épaisseur minimale des murs résistance au feu : **22cm**
 Notes de calcul structure : **Eurocode 6 et Eurocode 8**

Épaisseur : **9.5cm minimum**
 Pans de maçonnerie dans le plan des structures
Maintenues mécaniquement à l'ossature
Élancement géométrique des murs ≤ 20
 Ossature Béton : **R+5 maximum**
 Ossature bois, métal ou mixte : **R+1 maximum**



Remplissage d'ossature

VOLET 1 : TECHNIQUE



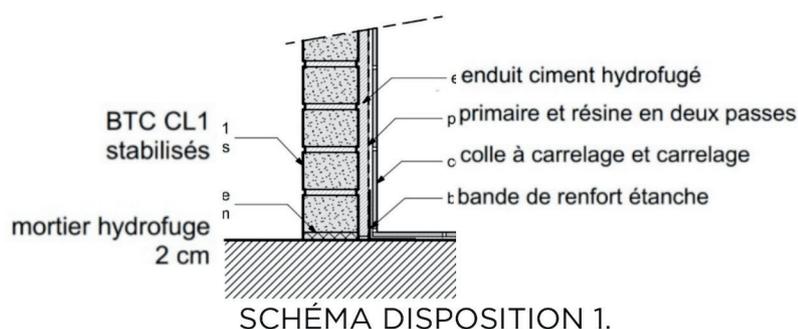
Épaisseur : **9.5cm minimum**
 Mur simple ou double (**2x9.5cm minimum**)
 Maintenues **mécaniquement** à l'ossature
Fractionnées à chaque étage
Élancement géométrique des murs ≤ 20
 Ossature Béton : **R+5 maximum**
 Ossature bois, métal ou mixte : **R+1 maximum**

La BTC est autorisée en mur apparent dans les locaux **classés EA et EB** (Faible et moyenne hygrométrie). Elle est autorisée dans les locaux **EB+** (salles de bains, sanitaires), **sous dispositions spécifiques** au choix, à savoir :

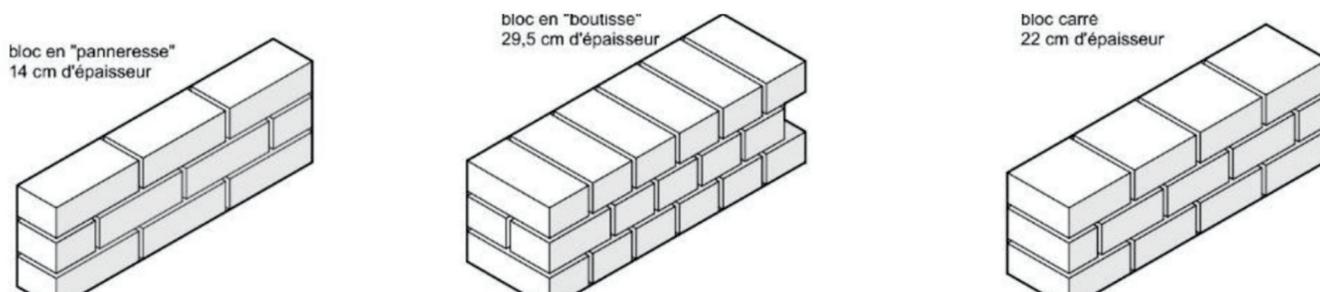
1. Avec application d'un enduit ciment hydrofugé + une étanchéité liquide + faïence

2. Avec un doublage plaque de plâtre hydrofuge + une étanchéité liquide + faïence

3. Avec un doublage bloc ciment ou briques cuites avec lame d'air + une étanchéité liquide + faïence



Pour la réalisation d'1m² de mur monté avec des briques standard (**29,5 x 14 x 9,5 cm**), les quantités nécessaires moyennes sont de **36 BTC** et **50kg de mortier**. Les principes de maçonnerie en BTC, détaillés dans les règles professionnelles indiquent les dispositions d'appareillage, de calepinage, et de recouvrement pour l'élévation des murs.



Les joints alignés verticalement **sont proscrits**, le **recouvrement** minimum est de $\frac{1}{4}$ de la longueur de la BTC entière ou est calculé selon l'eurocode 6.

VOLET 1 : TECHNIQUE

Formation

La technique de pose est **traditionnelle**, elle se rapporte à de la maçonnerie de petits éléments. Une formation classique (Brevet Professionnel BP, Certification d'aptitude Professionnelle CAP) en maçonnerie est requise, celle-ci peut être complétée par une formation spécifique aux techniques de pose de BTC détaillées dans les règles professionnelles.

En 2022, des journées de formations aux règles professionnelles ont été organisées à la DEAL Mayotte afin de présenter le contenu du document.

Entretien et Finition

Les règles professionnelles indiquent que les murs apparents en BTC ne doivent pas être nettoyés par utilisation d'eau sous pression, ni avec des produits d'entretiens agressifs alcalins ou acides chlorés.

La finition des murs en BTC doit être réalisée avec un produit/matériau **n'entravant pas les échanges de vapeur d'eau** entre le mur et son environnement. En effet la BTC étant un matériau hygroscopique, il absorbe et restitue l'humidité, il faut alors employer des éléments de finitions qui ne permettent pas la condensation de l'eau. Les murs peuvent donc recevoir :

- Des badigeons d'argile, de chaux ou de ciment
- Des peintures ou vernis minérales ou polymères poreux
- Des enduits, soumis aux règles professionnelles suivantes :
« Enduits sur supports composés de terre crue »

Le doublage en matériaux isolant étanche est proscrit.

Fin de vie

En fin de vie, lors de la déconstruction du bâtiment, les éléments maçonnés en **BTC peuvent être recyclés et réutilisés dans d'autres chantiers**. Le recyclage s'opère au cas par cas et est fonction des revêtements de finitions ayant été appliqués sur les éléments en BTC. La BTC ne subit que très peu de changements chimiques au cours de son utilisation, la terre est un matériau stable dans le temps, il est parfaitement recyclable.

VOLET 1 : TECHNIQUE

Impacts environnementaux

Les impacts environnementaux des briques de construction traditionnelles proviennent des étapes d'extraction de la matière, de sa préparation et de la fabrication en usine des briques/parpaing. Les briques classiques en béton, nécessitent l'excavation de gravats, le broyage, et le transport de matériaux très denses, ces étapes sont fortement productrices de gaz à effet de serre. **Le ciment utilisé** pour solidifier le béton provient de la cuisson à plus de **1200°C** des argiles et du calcaire, c'est l'étape **la plus polluante**. De plus, les usines de fabrications étant généralement très éloignées du lieu d'utilisation des briques, le transport des blocs de béton ainsi fabriqués vient alourdir le bilan environnemental total du cycle de vie des blocs traditionnels.

L'utilisation de la terre crue dans la construction en substitution du béton classique (pisé, enduit, adobe, bauge, brique extrudée, plaque, BTC) diminue grandement les impacts environnementaux des ouvrages.

En effet, **la terre est un matériau durable et abondant**, qui ne nécessite pas de concassage intensif. L'utilisation de sable et de ciment (ou de chaux) est grandement réduite pour la BTC stabilisée (2-3 fois moins que le béton) ou nulle dans le cas de la BTC non stabilisée.

Les fiches environnementales FDES sur les produits et système constructifs en terre crue existent et sont disponibles sur la base de données **INIES**. Il n'y a pas d'étude d'analyse du cycle de vie (ACV) comparative entre un bloc en béton classique et une brique de terre crue fabriquée et utilisée sur le sol réunionnais ou Mahorais. Cependant, les études réalisées en Europe montrent toutes l'intérêt écologique des produits en terre crue, la faible utilisation de ciment et le transport étant les facteurs influençant principaux.

La régulation hygrique, l'inertie thermique ainsi que **l'isolation thermique** et acoustique du bâti apportées par la BTC et les éléments de construction en terre participent au **confort général du bâtiment** diminuant ainsi ses besoins en énergie pour la ventilation, climatisation ou chauffage.

VOLET 2

RESSOURCES

Les constituants de la BTC **traditionnelle** sont uniquement de la **terre crue, du sable et de l'eau**, la BTC est alors qualifiée de « **non-stabilisée** ».

La **BTC stabilisée** est constituée de terre crue, de sable, d'eau et d'**un liant minéral** améliorant les propriétés mécaniques et la durabilité de la brique.

La maçonnerie composée de BTC est assemblée avec du mortier. Le mortier de pose des BTC peut être le mortier classique utilisé pour la maçonnerie de petits éléments et est couvert par le **NF DTU 20.1 P1-2**. Il peut incorporer, en plus, le même matériaux terre crue utilisé pour la fabrication des BTC.

Les liants minéraux les plus utilisés sont :

- Le ciment Portland (CEM I, CEM II, CEM III/A, CEM V/A)
- La chaux hydraulique (HL)
- Les chaux aériennes (CL, DL)

La terre crue pour la fabrication de BTC ou de mortier est composée de **gravier, sable, silt et argile**. Elle est jugée par sa granularité et sa plasticité dont les tests de caractérisation sont donnés par la norme **NF EN ISO 17892** et par la classification des sols selon la **nomenclature GTR : norme NF P11-300**. Les règles professionnelles détaillent sous forme de diagrammes les terres acceptables. La terre présentant des matières organiques à l'examen visuel ou olfactif n'est pas acceptable pour la construction.

A Mayotte, la terre utilisée est caractérisée par des matériaux fins avec une proportion d'argile importante. C'est pourquoi **l'ajout de particules plus grosses** comme du sable ou de la pouzzolane est généralement nécessaire, à hauteur de **20-30%**.

VOLET 2 : RESSOURCES

Localisation

A ce jour, le gisement de terre transformable pour la BTC n'est identifié dans aucun Schéma Régional des Carrières (SRC). A La Réunion, selon l'université, le gisement de terre crue est très faible, l'île est trop jeune pour que la transformation géologique du sol soit suffisante. L'étude précise du gisement réel de terre crue à La Réunion fait partie des activités de recherche de l'université qui seront conduites en 2024.

A Mayotte, le gisement est largement disponible et réparti uniformément sur tout le territoire et est exploité par les briqueteries. La terre peut aussi être prélevée directement sur le lieu du chantier lors de la préparation du terrain

VOLET 3

INDUSTRIEL

Formulation

Suivant les propriétés attendues pour la BTC, la formulation de sa composition varie. **Le dosage du liant** en particulier sera différent d'une classe d'emploi à l'autre mais **excède rarement les 8% massique**.

Matériel et coûts

La brique de terre comprimée est encadrée par la **norme XP P13-901**. Elle peut être fabriquée à l'aide de **presses manuelles** et de moules adaptés, mais aussi au moyen de **ligne de production industrielle ou semi industrielle**. La production manuelle, artisanale, étant répandue chez les fabricants actuels, nous détaillons ici le processus de fabrication semi industriel. L'équipementier « **Approtechno** », fournisseur des presses manuelles utilisées actuellement sur le territoire Mahorais, nous a communiqué le détail d'une ligne de production semi-industrielle adaptée à la demande de nouveaux logements à Mayotte.



*Exemple d'équipement semi-industriel de production de BTC -
Crédit : Approtechno*

VOLET 3 : INDUSTRIEL

Le site de production doit inclure **une zone de stockage** de la terre brute d'excavation, idéalement couverte qui va venir alimenter la ligne de production. Celle-ci comporte plusieurs sections.

1. Une station de broyage composée d'un broyeur, de doseurs et de bandes transporteuses **Coût : 35000€**

Cette section permet de transporter la terre crue de la zone de stockage vers le doseur qui va peser la quantité de terre envoyée au broyeur qui va briser et réduire la terre en poudre de granulométrie contrôlée.

2. Doseur digital à ciment **Coût : 27500€**

Le doseur à ciment, comme le doseur de terre crue, alimente la fabrication avec la quantité contrôlée de ciment entrant dans la composition de la brique fabriquée. Elle sera incorporée à la terre par le malaxeur.

3. Malaxeur TERSTAMIX 600 **Coût : 16200€**

Le malaxeur crée un mélange homogène entre les constituants de la brique. La terre et le ciment y sont mélangés et il est possible d'y incorporer, à cette étape des fibres ou des colorants naturels.

4. Presse semi TERSTAMATIQUE **Coût : 24450€**

La presse « semi-terstamatique » est l'équipement semi-automatique qui va presser le mélange provenant du malaxeur à l'intérieur de moules pour former les BTC.

5. Set de moules **Coût : env. 5000€**

Un jeu de moules pour fabriquer des briques de différentes formes, adaptées aux angles, passages des fers par exemple.

VOLET 3 : INDUSTRIEL

Les coûts présentés ici sont donnés en sortie d'usine de fabrication. Les frais d'importation doivent y être ajoutés ainsi que les équipements de transport et stockage des BTC sur site.

- **Un transpalette**
- **Camion d'approvisionnement**
- **Bâches de protection/stockage**
- **Groupe électrogène**

L'**assistance technique** et la **formation** des équipes de l'industriel par l'équipementier est à prévoir au coût minimum de **16.000€**.

Cette ligne complète motorisée permet de produire **30-50 logements** sur une base annuelle et nécessite **une équipe de 7 personnes dont 1 responsable de production**. Le besoin en main d'œuvre étant directement lié au niveau de formation et d'efficacité des ouvriers.

L'ESTIMATION HAUTE POUR UNE LIGNE DE PRODUCTION TOUTE ÉQUIPÉE, SEMI-AUTOMATIQUE, CAPABLE DE PRODUIRE 50 LOGEMENTS PAR AN EST DE 200.000€

Séchage des briques

Selon le type de BTC, stabilisée ou non, le séchage avant la mise en œuvre varie. **Les blocs non stabilisés** doivent **sécher** à l'air libre et à l'abri de l'eau pendant **8 semaines (56 jours)**. **Les blocs stabilisés** au ciment doivent respecter le **temps de cure de 28 jours minimum**, en atmosphère humide pendant les 7 premiers jours afin d'éviter les fissures et défauts dus au retrait trop rapide de l'eau.

VOLET 4

RÉGLEMENTATION

Règles de mise en œuvre et matériaux

L'année 2022 a vu la réédition de la **norme produit XP P 13-901** : « Briques et Blocs de terre crue pour murs et cloisons — Définitions — Spécifications — Méthodes d'essai — Conditions de réception » parue en mars 2022, ainsi que l'édition **des règles professionnelles en juillet 2022**. Ces travaux faisant suite à l'ATEX de type A parue en 2018, ils sont validés par l'Agence Qualité Construction (AQC) et posent un **cadre solide** pour la fabrication et l'utilisation de la brique de terre compressée mais aussi de la brique moulée et extrudée

Les types de constructions visées par les règles ont été mentionnées au chapitre « mise en œuvre » de ce document. Les règles professionnelles s'appliquent **au territoire Mahorais et sont adaptées, entre autres, aux contraintes climatiques et sismiques de ce territoire.**

La mise en œuvre dans **d'autres régions** devra faire l'objet de justifications techniques satisfaisantes au travers **d'un dossier technique déposé dans le cadre d'une demande ATEEx ou d'ATEc**. L'assurabilité des ouvrages sera tributaire de l'avis technique délivré et de son passage au statut de technique courante de construction.

Pour permettre l'assurabilité de construction en BTC à La Réunion, il faudrait idéalement prévoir une extension du domaine d'application des Règles Professionnelles Mahoraises, car celui-ci est limité au territoire de Mayotte.

EN SAVOIR + ...

Vous souhaitez **participer au développement** de ce matériau de construction ?

Etre **accompagné** sur un projet ?

Etre **mis en relation** avec les acteurs du secteur ?

Ou simplement avoir **plus d'informations** autour de ce matériau ?

CONTACTEZ-NOUS :

QUALITROPIC
la bioéconomie des Outre-mer

Le KUB

Bâtiment C
6 rue Albert Lougnon,
97490
Sainte-Clotilde

Tél. 0262 97 10 88

Fax. 0262 29 58 69

qualitropic@qualitropic.fr

Votre contact
Matériaux Biosourcés



Jim NOURRY

Ingénieur Matériaux

jim.nourry@qualitropic.fr