

Dominique TESSIER, vice président de Art-Terre Mayotte, Mamoudzou
Sylvia DEVESCOVI, Élodie WALLERS et Teddy DUSAUSAYE, Cycle Terre, Sevran
Rodrigo FERNANDEZ et Laurent de WURSTEMBERGER, Terrabloc, Genève

REFERENCES

Préfecture de Mayotte, *Océan Indien / Mayotte. Patrimoine du XXe siècle. Une architecture mahoraise*, Coll. Les patrimoines cachés, éditions Galia, 2016, p. 67.
PUCA, Action Logement, *Un toit pour tous en Outre-mer*, catalogue des propositions, 2022, 86 p.
Ministère des Outre-Mer, *Plan logement Outre-mer 2019-2022*, rapport, 2019.
En ligne : <https://www.ecologie.gouv.fr/plan-logement-outre-mer-2019-2022>
Rapport du Sénat, *Délégation sénatoriale aux Outre-mer*, table ronde sur le logement à Mayotte, février 2021.
En ligne : http://videos.senat.fr/video.2127207_602e11d359d2f.table-ronde-sur-le-logement-a-mayotte
Ministères du Logement et des Outre-Mer, *La rénovation et la construction de plus de 8 000 logements financés en 2020*, rapport, 22 mars 2021, 5 p.
Rapport de la mission interministérielle sur le développement du logement social à Mayotte, janvier 2011, 145 p.
Loi Letchimy du 23 juin 2011, LOI n° 2011-725 du 23 juin 2011 portant dispositions particulières relatives aux quartiers d'habitat informel et à la lutte contre l'habitat indigne dans les départements et régions d'outre-mer.

LA FRUGALITÉ CRÉE LA RESSOURCE

1. ARCHITECTURE TROPICALE ET BRIQUE DE TERRE COMPRESSEE (BTC) : DES HISTOIRES CROISEES.



Figure 1 - Logements SIM LLI à Mroualé village de Combani, commune de Tsingoni (Mayotte).

Au travers des siècles et sur l'ensemble de la planète, on identifie des constructions en terre crue ou cuite. Les anciens ne s'y trompaient pas, ils ont transformé leurs terres sous maintes formes pour construire des défenses, des temples, des habitats. Cette logique qui a fait évidence pendant des siècles a été progressivement abandonnée au profit de techniques délocalisées, concentrées en filières nationales et internationales. Pourtant, depuis 40 ans, des pionniers de l'architecture écologique moderne ont expérimenté et démontré la pertinence du Bloc de Terre Compressée (BTC) comme matériau de construction contemporain en s'appuyant sur un savoir-faire séculaire¹. C'est aussi une singularité importante à relever que le premier territoire sur lequel des constructions d'envergures, à la fois contemporaines et en BTC sont nées, est situé en région tropicale humide, précisément dans l'archipel des Comores.

Les prémices de ce développement commencent de 1975 à 1978 aux Comores sous l'égide d'Ali Soilih Mtsas-hiwa² qui avait eu vent de la possibilité de fabriquer des BTC avec une presse simple et facilement réparable.

« Il décida que les bâtiments publics de la nouvelle république indépendante seraient construits avec ce matériau et fabriqué par les citoyens. Des bâtiments furent effectivement construits mais dès sa chute, les habitants s'empressèrent d'oublier ces presses symboles de travail forcé³. »

Peu après, c'est Pierre-Yves Perrot, démographe et géographe, premier directeur de la Société Immobilière de Mayotte (SIM) qui va « déterrer » une presse aux Comores pour la rapatrier à Mamoudzou. Celle-ci déclencha les rires des ingénieurs des Travaux Publics de l'Etat (TPE) fraîchement débarqués de métropole... Pas du tout technicien, P.-Y. Perrot se rend en 1979 à l'école d'architecture de Grenoble rencontrer les auteurs de l'ouvrage *Construire en terre* de l'association CRAterre et déclenche une longue collaboration avec Patrice Doat, Hugo Houben et leur équipe. Résultat, au XX^e siècle, Mayotte est le seul territoire français où le BTC a connu un développement à grande échelle avec la production de plus de 40 000 000 de BTC pour réaliser environ 20 000 équivalent logements⁴. C'est de cette aventure que le BTC est devenu une référence en termes de conjugaison de l'architecture moderne et de la terre. L'impact de l'expérience mahoraise et quelques autres exemples étrangers a été mondial avec de très nombreuses applications et de nouvelles initiatives en Europe, en Afrique, en Asie et en Amérique latine.

Depuis cette époque et bien que le « tout béton » ait conquis les majors du BTP ainsi que leurs sous-traitants PME et TPME en métropole aussi bien qu'en Outre-mer, on relève néanmoins que la construction terre moderne persiste et est toujours soutenue par des politiques publiques. Les actions et des moyens de l'Etat ont été récurrents, rappelons quelques dates clés⁵ :

³ Pierre-Yves Perrot in *Construire en terre mahoraise*, V. Lietar et D. Tessier, ed. CRA

⁴ Vincent Lietar, Dominique Tessier, *Construire en terre mahoraise*, Villefontaine, éditions CRAterre, 2021, 121 p.

⁵ Hubert Guillaud, *Architectures en terre de France: repères de l'histoire, patrimoine traditionnel et modernité*, Méditerranée, Architecture de Terra, 1996. [hal-01868776]

¹ En Mésopotamie, il y avait trois types de briques : l'adobe-brique, les briques vitrifiées et les briques rouges. Les dimensions des briques dans les années 3600-3200 ANE allaient de 80x40x15 cm à 10x19x34 cm.
² https://fr.wikipedia.org/wiki/Ali_Soilih

- A la fin des années 1970, le Secrétariat des Missions de l'Urbanisme et de l'Habitat (SMUH) édite un numéro spécial sur la construction en terre dans sa revue *Planification Habitat Information*. Parallèlement, il traduit et diffuse largement un ouvrage des Nations Unies intitulé *Le béton de terre stabilisé, son emploi dans la construction*.
- 1978-1979 - Le Centre Technique des Tuiles et Briques (CTTB) engage des travaux sur l'argile stabilisée à froid et publie *Construire en terre*, du CRAterre. Le Plan-Construction (programme ministériel de recherche-développement et expérimentation) lance un appel d'offre de recherche national sur les « Techniques exportables en bâtiment et VRD » où la réponse terre sur le volet bâtiment allait être significative d'un renouveau d'intérêt des chercheurs.
- 1980 - L'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Rennes, lance ses recherches sur le Stargil qui donnent lieu à la mise au point de composants de construction en argile stabilisée extrudée.
- 1981 - Exposition *Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire* présentée au Centre Georges Pompidou à Paris puis dans les plus grandes capitales du monde. Elle allait dynamiser l'émergence d'un débat d'idées international en faveur du développement de la recherche et des opérations expérimentales. La revue *H*, organe d'information de la société nationale des Habitations à Loyer Modéré (HLM), publie un numéro spécial intitulé *La terre, matériau d'avenir*. Le programme interministériel REXCOOP – avec le Plan-Construction et les ministères Recherche, Technologie, Industrie, Affaires Etrangères, Culture et Communication et d'autres agences nationales de l'Etat français (ANVAR, AFME, ACTIM) – va largement contribuer au développement de la recherche, à la multiplication des applications exemplaires menées en France et dans le cadre d'actions de coopération.

- 1982 - Lancement d'un programme de recherche scientifique sur le matériau terre par le CSTB. Un appel d'offre conjoint Rexcoop, Plan Construction et Anvar, lancé sur le thème *Matériels adaptés à la construction en terre* permettra la mise au point de nouveaux types de presses à blocs de terre, de malaxeurs à mortier et de banches pour le pisé. Lancement du programme pilote du *Domaine de la Terre* de l'Isle d'Abeau (65 logements sociaux), qui concrétise la faisabilité technique et économique de la construction en terre. Le projet, issu d'un concours d'architecture national (10 architectes et 12 entreprises associées à des équipes universitaires, au Centre Scientifique Technique du Bâtiment (CSTB), aux bureaux de contrôle de la construction nationale, à des compagnies d'assurances), est lié à la réalisation d'un colloque national, *Actualité de la construction en terre*, qui se tient à l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'État (ENTPE) de Lyon.
- 1984 - Le CSTB associé au CRAterre développe son programme d'identification du matériau terre, dispositions constructives, analyse du réseau terre, comportement hygrométrique du matériau terre. Un « Centre de Terre » est créé à Lavalette, près de Toulouse (arch. J. Colzani), permettant d'accentuer la réalisation de projets à l'échelle régionale.
- De 1984 à aujourd'hui, de nombreux programmes ont été engagés dans plusieurs pays étrangers qui mobilisent la participation des chercheurs, des architectes et des entrepreneurs. Parmi les réalisations architecturales exemplaires, on peut citer quelques-unes en milieu tropical parmi les 40 finalistes⁶ du 1^{er} prix mondial des architectures contemporaines en terre crue parmi lesquels : la cité-jardin de Cota en Colombie (arch. : Mauricio Sanchez

⁶ https://www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/terra_award_dp_fr.pdf

et Juan Pablo Urbina) ; le centre pour le bien-être des femmes à Ouagadougou, Burkina Fasso (Arch : Riccardo Vannucci, FARE studio) ; la bibliothèque publique d'Ambepussa au Sri Lanka (Architectes : Robust Architecture Workshop).

- Depuis 2000, l'Etat a été le principal financeur des démarches de certification menées par la Société Immobilière de Mayotte (SIM) puis par l'association Art-Terre Mayotte qui ont conduit à la norme AFNOR XP P13-901, à l'Appréciation Technique Expérimentale (ATEX) A 2599 du CSTB (2018) et aux règles professionnelles AQC du 1^{er} juillet 2022. Le projet Cycle terre a été soutenu et financé principalement par l'Union Européenne (fond FEDER), le Groupe Quartus⁷, l'ECT⁸ et la ville de Sevrans (93) ; on y comptabilise 13 partenaires⁹ en tout.

2. VERTUS DE LA CONSTRUCTION EN TERRE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le secteur de la construction est le premier consommateur d'énergie au monde. En France, il représente 44% de l'énergie consommée, loin devant le secteur des transports (31,3%), de l'industrie (21%) et de l'agriculture (3%). D'après l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), chaque année, le secteur du bâtiment émet plus de 123 millions de tonnes de CO², ce qui en fait l'un des domaines clés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la transition énergétique. Pour opérer cette transition, il est nécessaire de travailler sur la complémentarité des matériaux traditionnels et des matériaux bio-sourcés et géo-sourcés. Pour rendre les bâtiments plus durables, respectueux de l'environnement et économes en énergie, des normes de plus en plus strictes en termes de construction et de consommation d'énergie, sont progressivement mises en œuvre pour les bâtiments neufs.

⁷ <https://www.groupe-quartus.com>

⁸ <https://www.groupe-ect.com>

⁹ <https://www.cycle-terre.eu/cycle-terre/les-acteurs/>

En métropole, la Réglementation Thermique actuelle (RT 2012) impose la construction de bâtiments bas carbone (consommation limitée à 50 kWh/m²) par une meilleure isolation thermique. La Réglementation Environnementale 2020 (RE 2020), plus ambitieuse, prend en compte l'approche carbone de l'énergie grise embarquée dans la matière et sa mise en œuvre, la Réglementation Thermique Acoustique et Aération (RTAA DOM) sera appelée à suivre le même mouvement. A terme, la performance énergétique sera une injonction incontournable et l'adoption de matériaux à faible impact carbone, une nécessité. Il est donc primordial pour les acteurs du bâtiment de se saisir dès aujourd'hui des techniques et outils nécessaires à leur transition. L'intérêt de la terre comme matériau de construction des bâtiments est étendu quel que soit le territoire avec un avantage particulier pour les zones tropicales humides.

2.1 Contribution au développement durable - Ecologie

La terre est recyclable à l'infini. Elle peut être réutilisée comme matière première ou retourner « à la terre » sans générer de pollution lors de la démolition des bâtiments, à partir du moment où le matériau n'est pas stabilisé au ciment ou à la chaux. Elle ne nécessite pas de cuisson et peut sécher naturellement, tout en gardant de bonnes propriétés techniques. La disponibilité et la proximité de la terre en font donc un matériau de construction à très faible impact carbone. Elle peut également être issue du recyclage de déchets de chantiers de démolition ou de terrassement pour une réintroduction dans le marché de la construction neuve. Elle est également une réponse partielle à la problématique de l'engorgement des sites de stockage. Elle augmente des emplois en usine et valorise les métiers de maçon grâce à la mise en avant de leur réel savoir-faire.

2.2 Economie d'énergie

Utilisée dans la construction, la terre présente d'excellentes qualités d'inertie thermique : les murs en terre stockent ou déstockent l'énergie captée avec un déphasage journalier favorable. Ceci agit sur les températures intérieures et permet de lisser leurs variations en été comme en hiver. Elle participe de la réduction de l'énergie grise et de la protection du climat par une baisse importante des émissions de CO² par rapport aux matériaux conventionnels de construction.

2.3 Confort domestique et au travail

La terre est un bon régulateur hydrique : elle réagit rapidement aux variations d'humidité de son environnement et permet, en absorbant ou en relâchant celle-ci sous forme de vapeur d'eau, de réguler le taux d'humidité de l'air ambiant. La terre permet une régulation hygrothermique bien plus performante que celle obtenue avec le béton. Lorsque ce dernier absorbe environ 20 g d'eau par m², les enduits terre en absorbent environ 60 et les BTC jusqu'à 150.

En climat tropical, les parois en BTC associées à la ventilation naturelle traversante réduisent la consommation énergétique que nécessite la climatisation. Sur des îles, les constructions en terre permettent de réduire la consommation de granulats, d'acier et de ciment importés¹⁰.

2.4 Santé des habitants

La terre inerte ne comporte aucun produit chimique ni polluant. Cela garantit donc des constructions sans danger pour la santé des habitants et une bonne qualité de l'air intérieur, exempt de Composés Organiques Volatiles (COV). En complément des autres matériaux de construction, la terre crue offre la possibilité de bâtir des logements plus confortables, plus sains pour les occupants, et plus responsables pour l'environnement.

2.5 Contribution au tissu économique local

Indépendante des importations la terre supplante tous les matériaux issus de filières mondialisées et touche tout particulièrement les territoires ultramarins fortement impactés par l'élévation du coût des transports. Moins de plâtre, de briques ciment, ou de plaques de plâtre cartonné en provenance de l'étranger.

2.6 Autonomie logistique

Dans les territoires tropicaux éloignés de l'industrie des machines-outils, l'emploi de machines aux mécaniques robustes permet aux briquetiers de s'affranchir de l'ingénieur de maintenance et permet une autonomie logistique.

3. L'ECONOMIE CIRCULAIRE COMME STRATEGIE INDUSTRIELLE

Selon l'ONU, la population mondiale atteindra 10 milliards d'individus d'ici 2050 dont 70% vivra en ville et la surface occupée par les villes pourrait être multipliée par 6 d'ici 2100¹¹. Cette logique peu maîtrisée conduit à une croissance sans limite des sources d'énergie et matières premières. Ainsi ce qui est attendu aujourd'hui de la construction des bâtiments n'est plus seulement de répondre à la nécessité de loger, éduquer, travailler ou se cultiver, c'est aussi de s'inscrire dans des objectifs planétaires de réduction de la consommation dans tous les domaines. Or, le secteur de la construction en milieu urbain génère de forts impacts environnementaux, que ce soit par l'extraction de la matière, sa transformation en matériaux de construction et par son transport et sa mise en œuvre. Les villes sont actuellement dépendantes de ces matières au bilan carbone trop important. La construction en terre crue répond pleinement à ces enjeux, ainsi qu'à celui de la gestion des déblais.

Construire avec les terres locales, c'est réintroduire le naturel en ville face à l'artificialisation croissante de notre milieu de vie.

Mais comment construire et rénover dans ce contexte de raréfaction des ressources (fossiles, sable) en empruntant la voie de l'économie circulaire ? Comment gérer nos terres excavées, résultat de la construction de réseaux routiers comme par exemple pour le TCSP de Mayotte, ou à beaucoup plus grande échelle pour les tunnels et les chantiers de terrassement concernant le métro express du Grand Paris... sans les rejeter à la périphérie ? En réponse à ces défis urbains, la filière terre se positionne en alternative.

Cycle Terre à Sevrans (93), Terrabloc à Genève et Art-Terre à Mayotte proposent des solutions comprenant des points communs. Ces trois modèles techniques et économiques sont attachés à des territoires différents mais se rejoignent pour satisfaire à une commande environnementale exigeante. Leur rapprochement, comparaison, émulation dans la recherche et le développement ouvrent la voie à une transformation des logiques actuelles du BTP. Ils démontrent la résilience du matériau terre pour affronter le traumatisme de la raréfaction des matières premières et de l'indispensable diminution de la consommation d'énergie. Les expérimentations et démonstrations dans les divers territoires sont désormais aptes à démontrer aux maîtres d'ouvrage et constructeurs publics et privés l'efficacité du BTC comme solution à des architectures bas-carbonées. De récentes réalisations, des expositions et des publications montrent la qualité d'insertion des écritures architecturales produites.

3.1 Cycle Terre à Sevrans

Première fabrique de BTC à caractère industriel en France, Cycle Terre se positionne pour une « nouvelle fabrique » de la ville et dans la ville en s'appuyant sur le concept « d'économie circulaire » ayant pour objectif de produire des matériaux de construction en terre crue à partir des terres excavées. Cycle Terre cherche à repenser de façon complémentaire la gestion des déblais et les manières de construire en réinvestissant la notion de « filière ». Cycle Terre développe un nouveau cycle de la terre excavée en construisant une chaîne de valeur avec trois fonctionnalités : récupérer, trier, valoriser. Un deuxième enjeu accompagne la croissance urbaine : la gestion des terres excavées. Par exemple, à lui seul, le Grand Paris Express devrait générer 45 millions de tonnes de terres excavées alors que le volume global de déblais généré par l'ensemble des constructions et aménagements du Grand Paris est évalué à environ 500 millions de tonnes d'ici 2030. Cette matière extraite est aujourd'hui évacuée des centres urbains et son inévitable prise en charge se révèle problématique dans un contexte où le foncier disponible se raréfie. Aujourd'hui, les déchets de chantier sont principalement déversés dans des Installations de Stockage des Déchets Inertes (ISDI), avec un coût élevé pour les maîtres d'ouvrage. Par ailleurs, ces sites empiètent souvent sur des terres agricoles et leur saturation est proche.

Cycle Terre répond à la nécessité de limiter les flux d'entrées et de sorties de ce schéma linéaire habituel en proposant une gestion circulaire. Les déblais des chantiers du territoire constituent la principale matière première de la fabrique. La fabrique Cycle Terre est située dans une zone d'activité proche de la gare Sevrans-Beaudottes, facilement accessible. L'intégration d'une activité de production au cœur de la ville est l'une des ambitions clefs du projet ; c'est pourquoi le projet architectural propose un bâtiment urbain, compact et qualitatif, bien intégré dans son environnement. Le bâtiment s'étend sur une emprise de 2 100 m² et comprend les espaces nécessaires au processus de fabrication : zone de livraison et de préparation, zone de production, tunnel de séchage et zone de stockage des produits finis. La zone de stockage des terres et fibres (matières premières) se trouve sur le pourtour de la fabrique.

3.2 Terrabloc

De son côté, en Suisse, Terrabloc récupère des déblais d'excavation terreux pour les transformer en briques de terre crues pour la construction de murs en maçonnerie. La capacité de Terrabloc à recycler ces déchets pour en faire une ressource pour la construction représente une réelle innovation et un modèle d'économie circulaire. L'entreprise détient deux accords de partenariat avec deux usines dans le canton de Vaud et Lucerne (Cornaz SA et Sebastian Müller SA) qui lui permettent de fabriquer de façon industrielle ses produits écologiques à l'échelle nationale. La capacité de production journalière est d'environ 20 000 blocs de terre par jour, équivalant à 360 m² de mur, ce qui lui permet de répondre à des commandes de grands volumes.

Terrabloc a un modèle d'affaire innovant : au lieu d'investir dans une infrastructure industrielle lourde, elle pratique le co-working industriel en louant les outils de fabrication et les ouvriers à ses usines partenaires. Elle réduit ainsi fortement ses charges d'investissement et d'exploitation. Terrabloc agit comme expert pour la reproduction de son modèle de co-working industriel en Europe et en Afrique, avec une première expérience au Luxembourg débutée en 2019, ce qui lui permet d'avoir une source additionnelle de revenu.

¹⁰ Inventaire et perspectives de valorisation des roches et minéraux industriels à Mayotte, rapport BRGM août 1999.

¹¹ <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-surface-villes-pourrait-etre-multipliee-six-ici-2100-34842/>

En Suisse, aujourd'hui, le marché est encore considéré comme un marché de niche, car les volumes des produits vendus (3 000 m² en 2021) sont négligeables en comparaison aux volumes de matériaux conventionnels vendus en Suisse annuellement (béton / terre cuite / silico-calcaire / plâtre). Cependant, la prise de conscience de la population sur les questions de santé et d'écologie, couplée aux mesures prises par la Confédération pour atteindre les objectifs de réduction de CO² d'ici à 2050, va permettre une augmentation constante du marché des produits écologiques.

Terrabloc prend le contrepied du monde virtuel dans lequel nous vivons pour proposer une aventure sensorielle à ses clients. Des visites d'usines ou de chantier sont organisées très régulièrement pour permettre aux clients de se rendre compte de la qualité des produits, de la diversité des applications, de l'ampleur des projets déjà réalisés. Le caractère local de la production est aussi extrêmement important car les acteurs (architectes / ingénieurs / clients) sont cloisonnés dans leur secteur d'activité et ne se rendent pas compte de l'impact de leurs choix constructifs sur l'économie locale. Des visites concrètes permettent aux clients de réaliser que les matériaux sont issus de nos régions, que les usines sont proches et qu'ils favorisent ainsi le développement du tissu économique local.

3.3 Art-Terre Mayotte

Le projet de renouvellement de la filière BTC impulsé par Art-Terre Mayotte se fonde sur :

- la diminution inéluctable de la ressource en granulat dans un territoire limité (375 km²), l'absence de sable et d'industrie, la pénurie d'eau ;
- l'élévation des coûts de transport maritime générant une marque carbone additionnelle au coût de fabrication des matériaux d'importation : ciment, acier, chaux, et autres ;
- la mise à disposition de déblais des terrassements pour la réalisation du TCSP, de la piste longue de l'aéroport, des ZAC et des grands équipements publics programmés.

Le projet vise aussi à reformuler architecturalement avec de nouvelles BTC (formats, fibres, mécanisation...) ce qui a été excellemment réalisé par la Société Immobilière de Mayotte (SIM) dans le secteur de l'habitat social individuel et l'habitat intermédiaire locatif pendant 20 ans (1980-2000). Cet objectif passe par la mise à disposition d'un terrain par l'établissement public foncier et d'aménagement de Mayotte (EPFAM) pour réaliser un nouveau site pour former des briquetiers et des maçons à une conception moderne et mécanisée de BTC certifiées et des briques de terre biosourcées expérimentales en veillant à conserver une totale autonomie logistique, c'est-à-dire non robotisée.

4. LA CERTIFICATION ET L'EXPERTISE TECHNIQUE

Un travail scientifique qui permet de s'affranchir de l'idée de la terre crue, produit « fragile » pour « les pays pauvres ».

La progression du matériau terre comme alternative au tout béton passe par un sérieux travail scientifique qui se traduit par des certifications. D'un côté à l'autre des frontières et des océans, Cycle Terre, Terrabloc et Art-Terre Mayotte ont en commun d'avoir mené jusqu'à leurs termes de nombreuses démarches de certification qui passent par un travail préalable en laboratoire d'essai, tests... La technicité apportée par la connaissance des matériaux et des processus de transformation permet de s'affranchir de l'idée de la terre crue comme d'un produit « fragile » pour « les pays pauvres ».

4.1 La certification et la reconnaissance de la terre en tant que matériau de construction

Malgré leur utilisation millénaire dans le monde entier, les techniques de construction en terre crue nécessitent d'être caractérisées (matériau, disposition constructive) afin de favoriser leur utilisation. La première porte d'entrée vers la certification a été la norme de fabrication de la BTC. Elle date de 2001 et a été initialement portée par la SIM. Son nom est Norme XP P13-901 : « Blocs de

terre comprimée pour murs et cloisons : Définitions - Spécifications - Méthodes d'essais - Conditions de réception ». Elle a été révisée en 2021 sous la coordination du Centre Technique pour les Matériaux Naturels de Construction (CTMNC)¹².

Pour ce qui concerne la mise en œuvre, l'entrée dans l'ATEX délivrée par le CSTB porte sur les performances d'un système constructif en évaluant trois aspects : la faisabilité, la sécurité et la durabilité. Cette évaluation repose sur la réalisation d'une campagne d'essais et de calculs de dimensionnement.

Cycle Terre possède trois ATEX de type A qui permettent l'application d'un procédé constructif sur plusieurs chantiers, par opposition aux ATEX de type B, plus couramment utilisées, dont la validité est limitée à un chantier précis.

Cycle Terre certifie ses produits au moyen de trois ATEX de type A qui bénéficient à tous les acheteurs des matériaux. Elles couvrent les procédés constructifs suivants :

- cloison simple et cloison séparative (par exemple entre deux logements) en blocs de terre comprimée avec mortier terre ;
- parement intérieur et extérieur protégé (par exemple avec débord de toiture) en blocs de terre comprimée avec mortier terre ;
- remplissage intérieur de façade en blocs de terre comprimée comme support d'isolant.

Les murs de BTC non stabilisés, hourdés et rejointoyés de 15 centimètres d'épaisseur sont résistants au feu (EI 240) et ont un affaiblissement acoustique de 43 dB sans doublage ni enduit.

Par ailleurs, six guides de bonnes pratiques pour les techniques de la construction terre crue viennent d'être publiés par un groupe d'associations nationales et régionales de professionnels. Cette initiative est dirigée par la Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages (DHUP) du ministère de la Transition écologique et solidaire ; elle concerne les techniques suivantes : le pisé, les enduits, le torchis, les terres

allégées, la bauge et les briques en terre crue. Les guides contribuent à faciliter l'acceptation de ces techniques par les bureaux de contrôle¹³.

Par ailleurs, la fabrique assiste les maîtrises d'ouvrage dans de nouvelles démarches de certification. Cycle Terre propose ainsi une mutualisation des demandes d'ATEX, et un travail de concentration des forces vives du domaine afin de permettre une reconnaissance progressive de la filière.

Les Fiches Déclaratives Environnementales et Sanitaires (FDES) des produits Cycle Terre sont disponibles sur la base INIES¹⁴, dans le cadre d'une démarche partenariale co-financée par l'Alliance Haute Qualité Environnementale (HQE) et l'ADEME. Ces documents présentent les résultats de l'analyse de cycle de vie de chaque produit et permettent de calculer la performance environnementale et sanitaire du bâtiment pour son éco-conception.

Grâce à cet effort de la filière, des fiches collectives pour les BTC et les enduits/mortiers existent depuis l'automne 2021 et peuvent être utilisées par tous les producteurs. Par le biais d'un moteur de calcul, Cycle Terre pourra également ajuster les paramètres aux spécificités de la fabrique et produire ainsi des fiches individuelles optimisées (automne 2022). Ces démarches encouragent initiatives et investissements, visent à fédérer l'écosystème des acteurs de la terre crue à l'échelle de l'Ile-de-France, et favorisent à très court terme l'éclosion de cette filière innovante.

Terrabloc est extrêmement rigoureux dans son processus de fabrication pour garantir une excellente qualité de produit fini. Les produits sont également soumis à tous les tests réglementaires pour être reconnus par les ingénieurs et les autorités de contrôle : (tests feu / tests acoustiques / écobilans / tests mécaniques). En Suisse comme en France, l'entreprise Terrabloc recherche et développe constamment de nouvelles solutions plus écologiques et économiques pour répondre au besoin futur de l'industrie de la construction. Elle peut compter sur de solides collaborations académiques avec le Laboratoire d'Essais

¹² Le document, disponible sur le site de l'AFNOR, a une portée universelle et reste la référence avec la norme allemande DIN 18945 (Blocs de terre - exigences, essai et étiquetage, oct. 2013, 30 p.). CTMNC : http://www.ctmnc.fr/pages/cat_1.php

¹³ Disponibles sur <https://www.astere.org/les-guides-de-bonne-pratique/>

¹⁴ INIES est la base de données nationale de référence sur les données environnementales et sanitaires des produits et équipements de la construction.

de Matériaux et Structures (LEMS-HEPIA) à Genève ou encore avec le Laboratoire des Matériaux de Construction (LMC-EPFL) à Lausanne. Plusieurs projets de développements sont actuellement menés dans ces écoles avec le soutien financier de plusieurs partenaires institutionnels. Avec les privés, elle vient de conclure un nouvel accord de partenariat avec un industriel de la terre cuite pour développer des produits extrudés non cuits. En Suisse des initiatives politiques récentes vont favoriser le choix des produits locaux et écologiques. Comme exemple, le conseil d'Etat Genevois a voté en décembre 2021 un changement de loi sur l'Energie qui permettra aux autorités de fixer un critère d'impact environnemental des bâtiments au stade des autorisations de construire. Ces mesures vont directement favoriser les produits écologiques et locaux.

Le BTC de Mayotte dispose désormais de multiples certifications. Ces certifications sont le résultat d'un travail constant de Art-Terre Mayotte associée à CRA-Terre¹⁵ de l'école d'architecture nationale supérieure de Grenoble depuis 2008 et qui a été démontré sur une grande variété de bâtiments et de systèmes constructifs.

Art-Terre Mayotte, avec l'appui du CRAterre, a instruit et rédigé l'ATEX A n° 2588 et les « règles professionnelles Blocs en Terre Comprimée (BTC) Mayotte » qui ont été acceptées par la C2P/AQC en mai 2022 et publiées en juillet 2022. Au total le travail de certification pour ce territoire est composé de :

- la norme de fabrication AFNOR XP P13-901 « norme Mayotte » 2001 ;
- Art-Terre Mayotte a réalisé l'ATEX A n° 2588 entrée en vigueur en mai 2018 pour une durée de trois ans et applicable au territoire ;
- les règles professionnelles AQC validées par la C2P le 1^{er} juillet 2022 avec suivi d'expériences ;
- ATEX du lycée des métiers Murs non porteurs sur structure acier / murs non porteurs sur structure bois / (Encore Heureux, architectes).

Les visuels suivants illustrent la diversité des systèmes constructifs expérimentés à Mayotte : Métal-BTC, Béton armé-BTC, bois-BTC ; BTC porteuses.



Figure 2 - Logements LLI à Trevani, 2016.
© DT&A architectes



Figure 3 - SIM, square Papaye, Mamoudzou, 1983



Figure 4 - SIM rue Saharangué, Mamoudzou, 1983



Figure 5 - École élémentaire, Nyambadao commune de Bandrélé, 2008. © DT&A architectes



Figure 6 - Lycée de Kahani, métal et BTC, 2022.
© JV03 architectes & urbanistes

5. UNE DIVERSITE DE PRODUITS ET DE TECHNIQUES POUR REpondre AUX BESOINS

Les maçonneries de BTC apportent des matérialités uniques et sensuelles dans les bâtiments. Atteindre le côté affectif du client est essentiel pour accompagner sa démarche environnementale. Il peut faire un effort pour l'écologie, mais il doit pouvoir le montrer et s'en émerveiller. Un soin particulier est donc donné sur la qualité des murs et façades que l'on propose en accompagnant l'architecte en amont sur ces choix de produits et de rendus, mais aussi avec un accompagnement du maçon lors du démarrage de la maçonnerie pour s'assurer que l'aspect sera conforme aux attentes.

5.1 Cycle Terre

Trois lignes de production de matériaux en terre crue sont au cœur de la fabrique : des Blocs de Terre Comprimée (BTC) et des Blocs de Terre Comprimée Stabilisée (BTCS), des panneaux d'argile extrudée ainsi que de la terre à pisé, des enduits et mortiers (voir fiches produits depuis le site internet¹⁶). Ces cinq produits sont commercialisés :

- les BTC permettent la réalisation de tous types de parois verticales : murs, cloisons, doublages, parements ;
- les BTCS permettent les mêmes usages mais seront choisis pour des utilisations nécessitant une très grande résistance à l'eau et à l'abrasion ;
- les Panneaux d'Argile Extrudée (PAE) permettent la réalisation de doublages de murs sous forme de plaques à enduire fixées sur des montants d'ossature bois ou métallique ;
- la terre à pisé permet de réaliser des murs monolithiques porteurs ;
- l'enduit Mortier d'Enduit de Corps (MEC) permet la réalisation du corps d'enduit ou la finition des supports en terre crue. Il peut également s'appliquer sur d'autres types de supports : paille, maçonnerie conventionnelle, béton, plaque de doublage, etc. ;
- le Mortier de Pose (MP) convient pour la réalisation de maçonneries utilisant les blocs de terre crue comprimée, moulée ou extrudée (BTC, BTM ou BTE).

¹⁶ Consultez les fiches produits de ces matériaux pour davantage d'information sur leurs caractéristiques techniques sur le site de CycleTerre : www.cycle-terre.eu

¹⁵ <http://craterre.org/terre.grenoble.archi.fr/accueil.php>



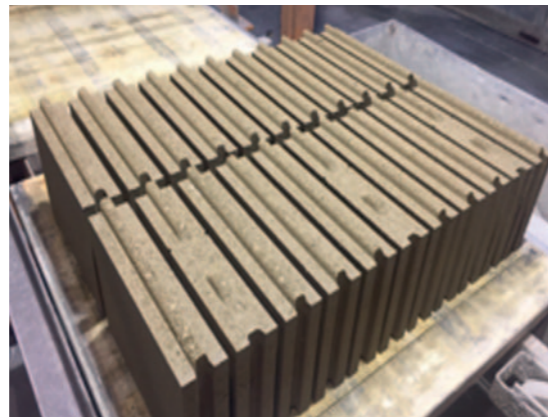
Figure 7 - Panneaux de terre extrudée - pose. © Amaco



Figure 8 - Panneaux de terre extrudée. © Amaco

5.2 Terrabloc

- plaque pour cloisons non-porteuses et enduites, épaisseur 8 cm : Terrapac® ;
- blocs pour murs et doublages apparents non porteurs, épaisseur 12 à 14 cm : Terrabloc® ;
- blocs pour murs porteurs apparents, épaisseur 20 à 30 cm : Terrapad® ;
- bloc « hourdis » pour dalle mixte bois-terre épaisseur 15 cm : Terrahourdis® (en développement).



Figures 9 - Plaques et blocs - Terrapad®

5.3 Art-Terre Mayotte

A Mayotte, dans les années 1980, la production provenait de 17 briqueteries différentes réparties judicieusement sur tout le territoire et disposant globalement de 32 presses Terstaram. La filiale BTC de Mayotte animée et contrôlée par la SIM jusqu'à la fin des années 1990 produisait des BTC de formats 95 x 140 x 295 et 95 x 220 x 220 et une variété de BTC spécifiques comprenant des extrusions pour les chaînages ou le passage de canalisations. Les BTC avait des colorations diverses de grise à rouge selon la provenance des terres et leur teneur en liants (pouzzolane, ciment, sable).

Aujourd'hui réduits à 8, les briquetiers se sont groupés en coopérative et produisent essentiellement des BTC 95 x 220 x 220 dont l'usage est dédié aux murs de façade et des BTC 95 x 140 x 295 dédiés aux cloisons intérieures.

La relance en cours de la filière à travers un partenariat entre l'association Art-Terre Mayotte, la DEAL 976, l'EP-FAM, Action Logement... a mis en projet la création d'une nouvelle briqueterie mécanisée et la mise au point de nouveaux modèles tels des BTC 95 x 140 x 295 rainurée pour des projets TOTEM¹⁷ et les BTC-fibres (mélange de terre et de fibres issue de feuilles de bananiers, feuilles de manguiers, fibre de coco) développées dans le cadre du projet TOMA-OMBRE¹⁸.

6. STRATEGIE DE PROMOTION

Quel que soit le stade de leur développement industriel et la stratégie adoptée, les trois modèles, Cycle Terre, Terrabloc, Art-Terre Mayotte ont des stratégies commerciales pour promouvoir les produits BTC qui se ressemblent. Elles s'exercent à développer des actions pour toucher en priorité des publics les plus sensibles ou les plus sollicités dans le cadre de l'effort vers la transition énergétique.

6.1 Les architectes

Ils recherchent des matériaux à fort caractère architectural avec impact environnemental bas. Ils sont les vecteurs du produit Terrabloc car ils sont généralement à l'origine des propositions de matériaux au client final. Ils sont essentiels dans le processus de sensibilisation aux produits écologiques.

6.2 Les collectivités publiques

Obligées de rénover et de construire de nouveaux logements dans une optique de développement durable, les collectivités publiques doivent montrer l'exemple et s'intéressent de plus en plus aux matériaux de construction sains. Elles sont capables, pour des projets d'infrastructure publique, de justifier quelques plus-values financières pour introduire des matériaux écologiques dans les nouveaux bâtiments.

6.3 Les bailleurs sociaux et coopératives d'habitation

Souvent les plus écologiques, ils sont les premiers à choisir leurs matériaux sains et les imposer à leur architecte. Ils sont acteurs de leur projet constructif et s'intéressent souvent aux alternatives locales pour construire.

6.4 Les clients privés

Ils sont de plus en plus, grâce à l'accès à l'information, à enquêter sur les matériaux et à se soucier de leur investissement immobilier pour vivre dans un climat sain et durable. Ils poussent parfois leurs architectes à trouver des alternatives durables.

¹⁷TOTEM, Un toit pour tous en Outre-mer, catalogue des propositions, ed. PUCA, 2022.

¹⁸TOMA (Terre d'Outre-Mer Améliorées) / OMBREE : <https://batiments-outremer.fr>

6.5 Les promoteurs immobiliers

Cette catégorie est plus difficile à convaincre, car les promoteurs sont des purs spéculateurs immobiliers qui doivent faire un maximum de rendement financier sur une opération de construction. Ils vont par conséquent chercher à faire des économies sur les matériaux, au détriment de l'écologie et des produits locaux. Cependant, certains réalisent que leur pratique est de plus en plus critiquée, et que construire écologiquement peut donner une plus-value importante au logement. Ils subissent aussi la pression de la population qui souhaite que l'industrie du bâtiment prenne au sérieux la question de la crise climatique.



Figure 10 – Grand Théâtre, Genève 2019 – [Arch. March]

7. LE ROLE DE LA FORMATION ET DE L'ACCOMPAGNEMENT DES MAÎTRES D'OUVRAGE ET DES MAÎTRES D'ŒUVRE

La France est en pointe dans le domaine de la formation universitaire spécialisée. En effet, l'École nationale supérieure d'architecture de Grenoble, propose une formation spécialisée de longue durée s'adressant aux architectes et ingénieurs. Cette formation CEAA-Terre [Certificat d'Études Approfondies en Architecture de Terre] a été inaugurée en 1984 avec l'appui de la Direction de l'architecture et de l'urbanisme du ministère de l'Équipement. Actuellement, on dispose de formations de 3e cycle (DESS - Diplôme d'Études Supérieures Spécialisées ; DEA - Diplôme d'Études Approfondies ; Doctorat), mis en place en partenariat avec les universités, où la construction et l'architecture de terre et plus largement l'enseignement de la construction, trouveront des lieux de formation et de recherche scientifique de plus en plus pointus. La formation professionnelle sera sans doute à l'avenir l'une des clés de l'expansion d'un

nouveau marché de la construction neuve et de la restauration du patrimoine qui exige la multiplication des compétences opérationnelles.

La compétence française est par ailleurs bien positionnée sur les actions de recherche-développement, notamment sur des projets de montage de « filière terre » dans beaucoup de pays où les matériaux de construction en terre sont valorisés dans le cadre de programmes d'habitat économique pour les populations à bas revenus. Ainsi, depuis trois décennies, de très nombreux projets ont été engagés dans les pays du continent africain, avec le soutien des institutions nationales, européennes et des grandes organisations internationales (onusiennes, notamment) : réalisation de programmes d'habitat ou d'équipement des communautés (écoles, centres sociaux et médicaux). Ils s'accompagnent de la création de centres de ressources régionaux importants, par exemple, au Nigéria (le CECTech, à Jos, Etat du Plateau) et au Portugal, à Serpa, une école spécialisée pour la formation des maîtres-maçons et des entrepreneurs.

Depuis 2021, la formation en ligne « Construire en terre crue aujourd'hui » est gratuite et disponible sur la plateforme MOOC bâtiment durable¹⁹.

La fabrique Cycle Terre propose également des accompagnements à la maîtrise d'œuvre et d'ouvrage, ainsi que des formations aux ouvriers du bâtiment, afin de fournir une main d'œuvre qualifiée aux chantiers franciliens en terre crue. Cycle Terre apporte également des réponses aux besoins de formation dans les Centres de Formation d'Apprentis (CFA) et notamment avec la Fédération Eco-construire.

Pour les concepteurs (architectes, bureaux d'études) :

- guide concepteurs en ligne sur www.cycle-terre.eu
- Webinaires en ligne sur www.cycle-terre.eu

Pour les maçons et autres artisans qui utilisent les matériaux

- guides de pose ;
- modules de formation pour les entreprises ;
- parcours de formation pré-qualifiants et certifiants pour personnes en recherche d'emploi/en reconversion professionnelle / jeunes en apprentissage.

¹⁹ <https://www.mooc-batiment-durable.fr/>.

En Suisse, Terrabloc développe également des formations. Les associés de Terrabloc, Laurent de Wursterberger et Rodrigo Fernandez, sont chargés de cours à la HEIA-FR²⁰ pour le séminaire annuel d'une semaine, intitulé *Redécouvrir la Terre* dans le cadre du Joint Master of Architecture de la HES-SO. Il s'adresse à 70 étudiants en master d'architecture. L'enseignement, par des cours, des séminaires et des visites aux étudiants des écoles d'ingénieurs et d'architectes de la région est une manière indirecte de sensibiliser aux produits écologiques disponibles. Les générations futures ont ainsi les informations nécessaires pour changer les pratiques, alors que certains dirigeants de l'ancienne génération ne souhaitent plus changer leurs habitudes.

A Mayotte, Art-Terre mène à la fois des actions de sensibilisation et des formations auprès des entrepreneurs, fabricants, maître d'œuvre et maître d'ouvrage. Avec l'appui de CRAterre, elle suit les expérimentations et en organise la restitution.

Partout, en raison de l'intérêt porté à la terre mais aussi du manque de connaissance des techniques, les producteurs – Cycle Terre, Terrabloc, Art-Terre – ont développé une assistance aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre pour transmettre les savoirs et accompagner les chantiers.

Cette dynamique de plus en plus consolidée associe étroitement la recherche scientifique et architecturale, l'expérimentation et le développement, la formation professionnelle et universitaire et le projet. Il se dessine un avenir concret des architectures de terre en France et outremer et au service de pays de plus en plus nombreux qui manifestent leur intérêt et qui en ont besoin.

Cet avenir est désormais lié à l'apparition d'un marché crédible et viable dans les domaines de la préservation du patrimoine mondial et de la construction pour le plus grand nombre. Il ne s'agit pas là d'entreprises concurrentielles participant au consumérisme mondial, mais bien de maillons de l'économie circulaire appropriés à des territoires et encore plus particulièrement adaptés aux îles.

BIBLIOGRAPHIE

- BESOMBES (Michel), PERROT (Pierre-Yves), *Habitat mahorais. Bilan des premières réalisations*, tome 3, Paris, éditions AGG, 1982, 139 p.
- BRESLAR (Jon), *Habitat mahorais. Une perspective ethnologique*, tome 1, Paris, éditions AGG, 1978, 236 p.
- CHEYSSIAL (Attila), CHATAIN (Bernard), avec la collaboration ARATI Françoise, *Habitat mahorais. Étude analytique et perspectives*, tome 2, Paris, éditions AGG, 1979, 236 p.
- DETHIER (Jean), *Habiter la terre. L'art de bâtir en terre crue. Traditions, modernité et avenir*, Paris, Flammarion, 2019, 512 p.
- GUILLAUD (Hubert), *Architectures en terre de France : repères de l'histoire, patrimoine traditionnel et modernité*, Méditerranée, Architecture de Terra, 1996. En ligne : hal-01868776
- LIETAR (Vincent), MISSE (Arnaud) [dir.], *Règles professionnelles Blocs de Terre Comprimée (BTC)*, Villefontaine, éditions CRAterre, 2022, 165 p.
- LIETAR (Vincent), TESSIER (Dominique), *Construire en terre mahoraise*, Villefontaine, éditions CRAterre, 2021, 121 p.
- Collectif Art-Terre Mayotte, *Ouvrages en maçonnerie de BTC. Blocs de terre comprimée*, dossier technique lié à l'ATEEx de type An°2588, Villefontaine, éditions CRAterre, 2019, 152 p.
- PUCA, *Un toit pour tous en Outre-mer*, catalogue des propositions, 2022, 86 p.

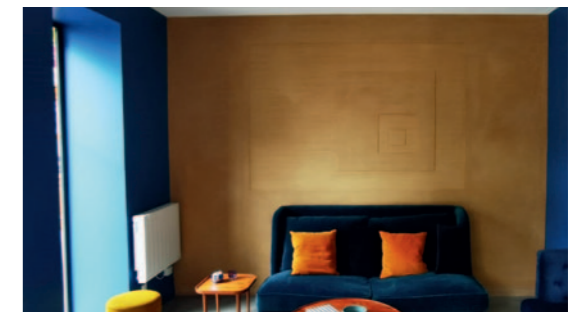


Figure 11 - Showroom Quartus, Paris 14. ©Cycle Terre

²⁰ Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg.