

## SYNTHESE TOMA

Le projet TOMA vise à réduire significativement la consommation électrique provenant de l'usage de la climatisation dans la construction de logements à Mayotte et en Guyane en s'appuyant sur la production de briques de terre compressée (BTC) et l'optimisation de l'enveloppe des bâtiments grâce à des bioressources locales. L'objectif est de conforter les solutions constructives proposées, valider leur pertinence, déployer significativement les solutions BTC + Biosourcés, et informer les utilisateurs potentiels et former les professionnels.

Les impacts attendus incluent une réduction de l'utilisation de la climatisation, une baisse des consommations d'énergie liées à la fabrication des matériaux et à leurs transports, une amélioration du confort et des performances environnementales, sociales et économiques des bâtiments construits, la création d'activités économiques et d'emplois, et la possibilité de duplication des modèles de production dans d'autres territoires.

Le projet se structure autour de quatre axes :

- l'identification des bioressources disponibles,
- l'optimisation technique des solutions constructives,
- l'analyse et l'optimisation des modèles économiques
- le déploiement des filières.

## Identification et sélection des bioressources

La première étape du programme est donc d'identifier les ressources locales mobilisables pour la confection de ces matériaux sachant que les deux territoires visés bénéficient de compétences dans la production de briques de terre compressée (BTC) et d'une végétation abondante et diversifiée susceptible de fournir des matières premières entrant dans la production de matériaux biosourcés dont on connaît les capacités hygrothermiques et leurs impacts sur le confort des bâtiments.

Les investigations menées, malgré l'impossibilité de recourir à des enquêtes de terrains à cause de la situation sanitaire prévalent lors de cette phase du projet, ont confirmé deux aspects essentiels sur les deux territoires :

- La disponibilité de ressources abondantes et diversifiées capables de répondre aux exigences techniques de la confection de matériaux de construction biosourcés ;
- Le peu de filières suffisamment structurées pour garantir une fourniture sécurisée tant qualitativement (notamment quant à l'homogénéité des matières) que quantitativement.

La possibilité de mettre en place des mesures pour faire face à ce deuxième constat est généralement dépendante de choix locaux mais aussi d'autres projets susceptibles de se mettre en place pour conforter les valorisations des filières.

En Guyane,

Les ressources locales sont abondantes et variées mais leur mobilisation dépend significativement de l'organisation et de l'équipement des filières. Dans la majorité des cas il faut envisager des aménagements ou des équipements spécifiques pour permettre l'utilisation des coproduits. Pour certaines filières – comme le wasaï – cela pourra faire partie de leur plan de développement et venir consolider les démarches. Pour d'autres il faudrait envisager des investissements, voire la création d'ateliers de transformation : comme, par exemple, pour les déchets textiles qui doivent être effilochés. Dans le cas de la filière bois, cela demandera des aménagements importants et sans doute des approches différentes. Pour les balles de riz, l'importation pourrait répondre à de nombreuses exigences.

Dans tous ces cas il conviendra de vérifier les coûts induits ne viennent pas contrarier la faisabilité économique.

**Dans ce paysage, la bagasse échappe à ces contraintes et a donc été retenue pour les travaux de TOMA en Guyane. Il sera toutefois pertinent d'approfondir les potentiels des autres ressources en concertation avec les producteurs.**

A Mayotte,

En l'absence d'une solution sensiblement plus pertinente que les autres, nous avons fait le choix de travailler avec trois ressources abondantes et facilement mobilisables - y compris à petites échelles pour les besoins du programme - : **les feuilles de manguiers, les fibres de coco et les feuilles de bananiers**. En fonction des résultats obtenus dans la suite du programme, il conviendra d'approfondir les exigences et la faisabilité d'une collecte et de la transformation de ces trois ressources.

Globalement, ces investigations et les analyses conjointes confortent la pertinence des objectifs de TOMA quant aux ressources existantes sachant que la mise en place de nouvelles filières demande l'implication d'acteurs locaux motivés et du temps.

## Élaboration et caractérisation des performances de matériaux de construction

Suite aux travaux menés dans l'Axe 1 du projet TOMA, différentes solutions constructives associant BTC et bioressources disponibles ont été développées.

Sur le territoire de Mayotte, ce sont plus de vingt formulations de Briques de Terre Comprimées Fibrées (BTCF) à base de fibres de coco, de feuilles de bananiers et de feuilles de manguiers qui ont été mises en œuvre et testées.

En Guyane, quatre typologies constructives ont été étudiées :

- Mélange terre-bagasse sous formes de briques (Adobe, BTCS) ou d'enduit isolant ;
- Système constructif associant sous formes de couches BTC et bagasse en vrac ou stabilisées ;
- Doublage isolant fibré et stabilisé (bagasse et chaux) ;
- Mélange terre-bagasse sous formes de mortier de rejointoiement et d'enduit de finition.

Les caractéristiques physiques (dimensions, masse volumique), thermiques (conductivité, diffusivité, capacité calorifique) et hydriques (isothermes d'adsorption) des différents matériaux mis en œuvre ont été déterminées, ce qui a permis de faire émerger trois formulations particulièrement prometteuses dans l'optique de futurs développements.

À Mayotte, ce sont les BTCF contenant respectivement un volume de feuilles de bananiers pour deux volumes de terre et un volume de feuilles de manguiers pour un volume de terre qui se sont avérées les plus intéressantes aussi bien pour leur bonne tenue mécanique que pour leur faible densité (0,84 soit environ deux fois moins qu'une BTC) et leur faible conductivité thermique sèche (0,149 W/m.K soit environ 2,5 fois moins qu'une BTC). Celle contenant des fibres de feuilles de manguiers est toutefois beaucoup plus sensible à la vapeur d'eau ce qui devrait limiter légèrement son impact sur la réduction des besoins en climatisation d'un bâtiment construit avec ce type de matériau.

En Guyane, l'isolant fibré et stabilisé constitué d'un volume de chaux NHL 3,5 et de cinq volumes de fibres de bagasse est nettement ressorti du lot. Sa très bonne cohésion mécanique, sa faible masse volumique (380 kg/m<sup>3</sup>), sa faible conductivité thermique sèche (0,117 W/m.K) et son fort potentiel hygroscopique font de lui un excellent correcteur thermique sur des solutions parpaing par exemple.

## Optimisation et caractérisation des performances de bâtiments bioclimatiques

Dans cette étude, l'influence de différentes typologies de parois, définies à partir de matériaux et de systèmes constructifs développés dans le cadre du projet TOMA, sur le besoin en refroidissement d'un bâtiment test bioclimatique a été évaluée au travers de simulations réalisées au moyen du logiciel de simulation WUFI® Plus.

Les différentes typologies de parois considérées dans cette étude permettent de réduire de 37 à 53% la consommation en climatisation du bâtiment en comparaison avec une paroi de référence en parpaings de 15 cm avec enduit ciment et finition peinture sur chaque face. En adoptant un comportement écoresponsable, c'est-à-dire en réglant la climatisation à 24°C au lieu de 20°C en période d'occupation et à 28°C au lieu de 24°C en période d'inoccupation, on peut même dépasser les 85% d'économies d'énergie dans notre bâtiment test.

En Guyane, l'usage d'un isolant en bagasse stabilisée en correction thermique (seulement 8 cm d'épaisseur) sur le mur en parpaings de référence permet de diviser par deux le besoin en refroidissement.

De même, à Mayotte, deux typologies de parois permettent de diviser par deux la consommation de climatisation : le mur BTC Fibré (feuilles de bananier) de 29,5 cm d'épaisseur et le double mur BTCS (BTC stabilisé au ciment) de 14 cm d'épaisseur / BTC fibré de 14 cm d'épaisseur. Le premier est légèrement plus performant que l'autre : sa résistance thermique sèche est certes 50% plus élevée mais la plus forte sensibilité à l'humidité du BTCF par rapport au BTCS conduit à une augmentation plus rapide de sa résistance thermique dynamique. D'ailleurs, il a été constaté qu'en remplaçant le BTCF contenant des fibres de feuilles de bananier par un BTCF comportant des fibres de feuilles de manguiers de même densité et même conductivité thermique sèche mais deux fois plus sensible à la vapeur d'eau, le besoin en refroidissement du bâtiment augmentait de 5 à 9% selon la typologie de paroi considérée.

## Analyse et optimisation des modèles économiques

La longue expérience de la filière mahoraise en terre crue repose sur des structures artisanales. En Guyane, sur un grand territoire, une seule unité industrielle a la capacité de livrer jusqu'à près de 200 kilomètres de distance. Sur les sites isolés guyanais seules les productions artisanales seront adaptées.

L'approche industrielle peut permettre des prix plus faibles mais reste très vulnérable au niveau du marché.

Au-delà des BTCS bien adaptées à la réduction des coûts d'une régulation thermique par climatisation les travaux menés sur la fibre ont permis de montrer des solutions à partir de végétaux locaux disponibles : **Briques allégées en fibre de coco ou feuilles de Mangue/bananier à Mayotte et panneau de Bagasse/chaux en Guyane.**

Au m<sup>2</sup> le surcoût financier de la construction peut varier de 3 000 à 5 000 euros pour 100m<sup>2</sup> de murs de façade. Les économies financières calculées sur le coût d'exploitation des logements s'assument en 3 à 5 ans. Sur le plan environnemental, le gain est important et immédiat pouvant aller jusqu'à la suppression de la climatisation l'essentiel du temps.

Les essais à échelle 1 confirment les tests réalisés sur les maquettes d'un mètre cube.

La fabrication à grande échelle des solutions travaillées nécessite encore des progrès et des adaptations pour rendre plus opérationnelle les techniques retenues ou sélectionnées.

L'intérêt de ces techniques complète la gamme des BTCS produites plus qu'elles ne les remplacent. L'intérêt est notamment présent pour la « rénovation » des constructions à base de parpaing ou béton banchés ou pour des constructions plus légères avec de la brique fibrée allégée.

**Les perspectives économiques de la terre fibrée sont intéressantes pour compléter l'approche artisanale ou industrielle de la BTCS, elles sont encore plus importantes sur le plan environnemental.**

Les étapes suivantes doivent être franchies :

- Le traitement des fibres reste à affiner afin de réduire le surcoût.
- Les process doivent être étudiés, travaillés et optimisés pour rendre opérationnels ces procédés.
- Les milieux scientifiques et les fabricants de matériaux doivent se rapprocher pour mettre en œuvre ces solutions et permettre d'utiliser les fibres disponibles sur chacun des territoires ultramarins.
- Tests à échelle 1 sur une année complète pour couvrir toutes les saisons.
- Obtention des marquages CE ou Atex sur ces produits reste un objectif nécessaire.
- Réalisation des ACV et FDES.

## Communication Valorisation

### Retour d'expériences

Après avoir testé tant à Mayotte qu'en Guyane les fabrications de BTCF avec compression, d'adobes fibrées de panneaux fibrés préfabriqués au sol, de panneaux fibrés banchés/coffrés, de panneaux fibrés projeté il ressort des difficultés et des succès.

Pour valider en pratique l'efficacité des solutions préconisées des maisons réduites d'environ 1m<sup>3</sup> ont été instrumentées. Par la suite un essai de panneaux fibré de bagasse a été réalisé sur une maisonnette de 20m<sup>2</sup> et comparée à une même réalisation en parpaing et à une autre en BTCS. Les résultats confirment l'intérêt de la solution pour effacer les températures élevées en milieu de journée et après midi. Cette opération de construction à échelle 1:1 a mis en exergue les difficultés constructives des solutions. Il n'a pas été testé la BTCS en ajout sur du parpaing ou dans une ossature bois.

Au-delà de multiplier les réalisations et d'étendre à d'autres techniques constructives il est apparu qu'il rester des travaux à réaliser sur la préparation des fibres, l'assemblage en panneaux préfabriqués.

- La préparation de la fibre nécessite des équipements et des techniques à améliorer ou valider.
- Pour les BTCF il reste à maîtriser la régularité dimensionnelle des blocs produits qui gonflent après démoulage.
- Pour les panneaux nous avons testé trois techniques qu'il convient de faire évoluer : Préfabrication, banchage et projection. Cette dernière technique donnant des résultats plus rapides.

### Communication

Des outils de présentation sont créés :

- Une présentation de diapositives pour conférence
- Une plaquette numérique de présentation diffusable sur les réseaux
- Présentation 16 novembre 2022 à Cayenne
- Vidéo courte

### CONCLUSION

Le programme ambitieux de TOMA nécessite d'être poursuivi afin de valoriser les résultats obtenus et afin de rendre duplicables les solutions vers les filières potentielles.

Grace au programme OMBREE, nous avons pu réaliser des progrès importants à Mayotte et en Guyane sur la connaissance et les effets des BTCF et des panneaux fibrés. Nous connaissons maintenant l'impact positif et le niveau de faisabilité. La prise de conscience de l'importance de disposer de BTCF allégée dans la construction est clairement acquise. Le marché de la rénovation/amélioration s'est également imposé comme une nécessité.

Les résultats de l'étude montrent que les objectifs initiaux de réduction de la consommation électrique des climatisations sont atteignables tant avec les BTCF qu'avec les panneaux fibrés.

**TABLEAU DES ECONOMIES ENVISAGEES GUYANE + MAYOTTE en milliers d'euros**

| Année  | 2023     | 2024       | 2025       | 2026         | 2027         | 2028         |
|--|----------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| Nombre de logements TOMA envisagés par an Guyane + Mayotte                     | 0        | 450        | 900        | 1350         | 1800         | 2250         |
| Gwh économisés annuellement  | 0        | 784        | 1 567      | 2 351        | 3 134        | 3 918        |
| Economie réalisée sur les logements construits pendant l'année (k€)            | 0        | 241        | 481        | 722          | 962          | 1 203        |
| <b>Economie cumulée sur l'ensemble des logements sur toute la période (k€)</b> | <b>0</b> | <b>241</b> | <b>722</b> | <b>1 443</b> | <b>2 405</b> | <b>3 608</b> |

Consommation d'énergie liée à la climatisation par logement/an : 2 902 kWh

Coût moyen production énergie : 0,307 €/ kWh

Économie visée par logement : 60% soit 1 741 kWh/logement/an soit 534,55€/logement/an

Le nombre de 450 correspond à 5% des logements à construire par an en Guyane et à Mayotte