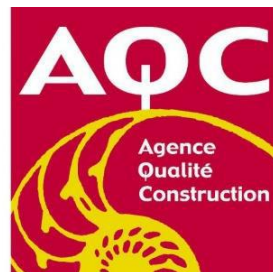




Programme inter-Outre-Mer pour des Bâtiments Résilients et Économes en Énergie

Porté par



A permis de présenter le projet



Terres d'Outre-Mer Améliorées

Réalisé par



Analyse et optimisation des modèles économiques

Rapport final

Résumé du rapport

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 est en 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 m² le surcoût financier de la construction peut varier de 3 000 à 5 000 euros pour 100m² 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.

Sommaire

1.	Introduction / Contexte.....	3
2.	Tâche 3.1 : Analyse et optimisation des modèles économiques	4
2.1	<i>Modèle Artisanal</i>	4
2.2	<i>Modèle Industriel.....</i>	10
2.3	<i>Modèle lié à la fibre en mode artisanal ou industriel</i>	17
2.4	<i>Forces et faiblesses de chacune des solutions</i>	18
2.5	<i>Scénarii et préconisations.....</i>	18
3.	Tâche 3.2 : Analyse et optimisation des coûts des constructions	20
3.1	<i>Rapport sur les analyses des performances économiques, sociales et environnementales</i>	20
3.2	<i>Cahier des préconisations et de proposition pour la conception des ouvrages</i>	21
4.	Conclusions	23

1.Introduction / Contexte

RAPPELS SUR LES OBJECTIFS DE TOMA

L'objectif global du projet TOMA est de déployer un système constructif permettant de réduire significativement (60%) l'usage de la climatisation en s'appuyant sur une solution technique qui a fait ses preuves (la BTC) et en optimisant ses performances par l'apport de matériaux locaux biosourcés.

Au-delà des réductions d'utilisation de la climatisation, le projet permet également des économies d'énergie par l'usage de matériaux à faible énergie grise et par diminution des importations – donc des consommations d'énergie liées aux transports qui sont de l'ordre de 10%.

OBJECTIFS DE L'AXE 3

Les partenaires locaux du projet (Art. Terre et la Brique de Guyane) développent, à ce stade pour la production de BTC, des modèles économiques sensiblement différents et complémentaires. Nous avons qualifié de « modèle artisanal » le projet mahorais qui s'appuie sur la multiplication de petites unités et de « modèle à tendance industrielle » le projet guyanais dont la production est assurée par une seule entité de dimension plus importante.

Le terme « modèle économique » englobe ici des valeurs de performances environnementales et sociales et il s'entend bien sûr que les appellations « artisanal » et « à tendance industrielle » ne préjugent en rien de la qualité des produits ou des vertus d'un système.

Ces deux modèles économiques sont susceptibles d'être reproduits dans les deux territoires : à Mayotte pour le « modèle à tendance industrielle » afin de faire face à une demande qui pourrait devenir trop importante pour des unités artisanales – comme certains projets le laissent entrevoir. En Guyane pour le « modèle artisanal » pour certaines zones du territoire difficilement accessibles à la production « à tendance industrielle ». Ce potentiel de répliquabilité vaut également pour d'autres territoires que la Guyane et Mayotte, qu'il s'agisse de territoires ultramarins, de territoires métropolitains ou de régions situées en dehors du périmètre national.

Il importe donc d'avoir une compréhension suffisamment fine de ces deux modèles tant pour en faciliter la reproductibilité que pour en **optimiser le fonctionnement tant sur le plan de la rentabilité économique que sur leur intensité environnementale et sociale** – notamment en termes de créations d'emplois.

Enfin, il s'agit de vérifier que les matériaux produits permettent d'obtenir des coûts de construction compatibles avec les réalités des marchés.

2. Tâche 3.1 : Analyse et optimisation des modèles économiques

2.1 Modèle Artisanal

2.1.1 LOGIGRAMME

Ce logigramme adapté à la production des BTCS doit être adaptée aux solutions fibrées. Au-delà de 2% de fibres la compression du bloc confère des effets différents au bloc : gonflement après pression, aspect... la technique doit être adaptée. Les fibres sont « élastiques » et reviennent partiellement à leur taille initiale. **La technique de l'adobe donc sans compression peut s'appliquer.** Le pressage est remplacé par le moulage/démoulage.

La réalisation de panneaux terre/bagasse/chaux répond à une logique complètement différente. Réalisation selon trois procédés : Moulage type adobe grand format, Coulage comme du béton de terre, **enduit avec couches de corps très épaisses**. Nous pensons que le dernier procédé est le plus abordable. Il est à la portée des poseurs mais ne peut se réaliser que sur site avec le mélange à réaliser à l'aide d'un malaxeur/bétonnière. La réalisation de panneaux isolants nécessite des développements importants qui dépassent le cadre de ces travaux.

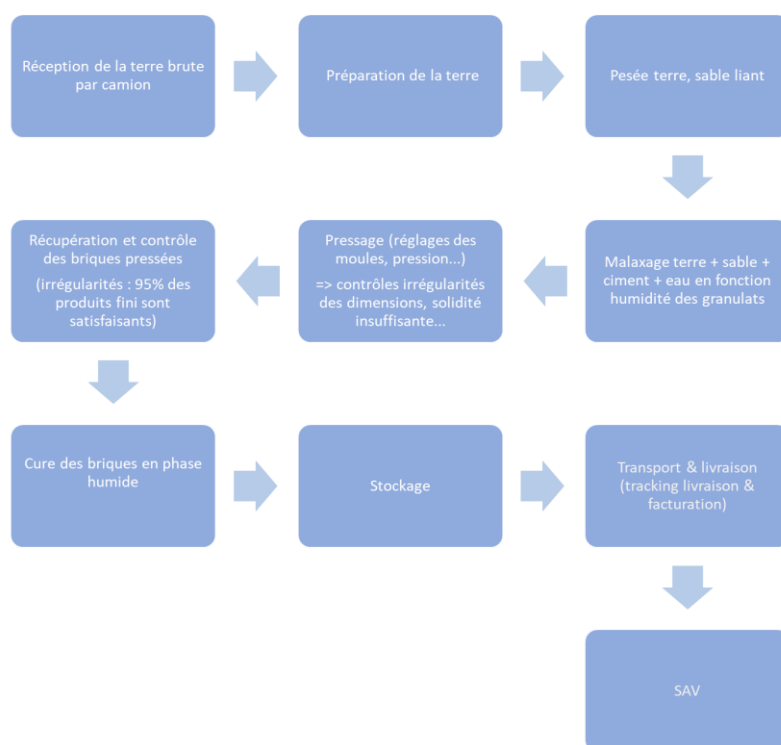


Figure 1 : Logigramme production BTCS Guyane et Mayotte

2.1.2 ANALYSE DE LA CHAÎNE DE VALEUR

2.1.2.1 INVESTISSEMENT BTCS

A Mayotte, une unité de production artisanale peut varier de 2 à 5 opérateurs, chargés de : 1) tamiser la terre et mesurer les quantités de matières premières, 2) mélanger les constituants (pelles et brouettes ou bétonnière), 3) mettre en forme le matériau (moulage à l'aide d'une presse manuelle TERSTARAM) et 4) le stocker pour la cure humide (**figure 2**). La ligne de production est manuelle à l'exception de l'étape de mélange qui peut s'effectuer *via* l'utilisation d'une bétonnière. Les rendements journaliers varient de 200-400 BTCS par jour selon l'effectif. Une équipe de 2-3 personnes représente le nombre moyen d'ouvriers produisant en moyenne 200 BTCS/jour à Mayotte.

La terre utilisée provient le plus souvent du terrassement de nombreux chantiers sur l'île, elle est livrée par camion. Ce qui pourrait être considéré comme un déchet est valorisé en un matériau de construction. Le processus de production commence alors par l'étape de tamisage et se termine par le stockage des BTCS produits comme indiqué **figure 2**.

Actuellement, nous n'avons pas assez de recul pour définir le coût d'investissement d'une ligne de production manuelle. Parmi les 8 unités artisanales existantes sur l'île, tous exploitent leur propre foncier. La surface de l'aire de production est plutôt faible, à l'exception d'un producteur couplant à la fois la production de parpaing et BTCS, et disposant d'une grande superficie pour produire ces matériaux à une échelle semi-industrielle.

Une analyse effectuée en 1983 par la SIM et CRATERRE reste encore d'actualité de nos jours. Cette étude basée sur une ligne de production manuelle (utilisations de petits matériels : seaux, pelles, brouettes, tamis, palettes pour stockage et 1 presse manuelle TERSTARAM => voir **figure 2**) et une production sur 1 mois (20 jours ouvrés) de 14.000 BTCS (soit 700 BTCS/jour) recommande une surface minimum de 140m². En calculant le coût d'investissement total (infrastructure + équipements), un minimum de 46K€ est nécessaire pour une unité de production de ce type (**tableau 1**).

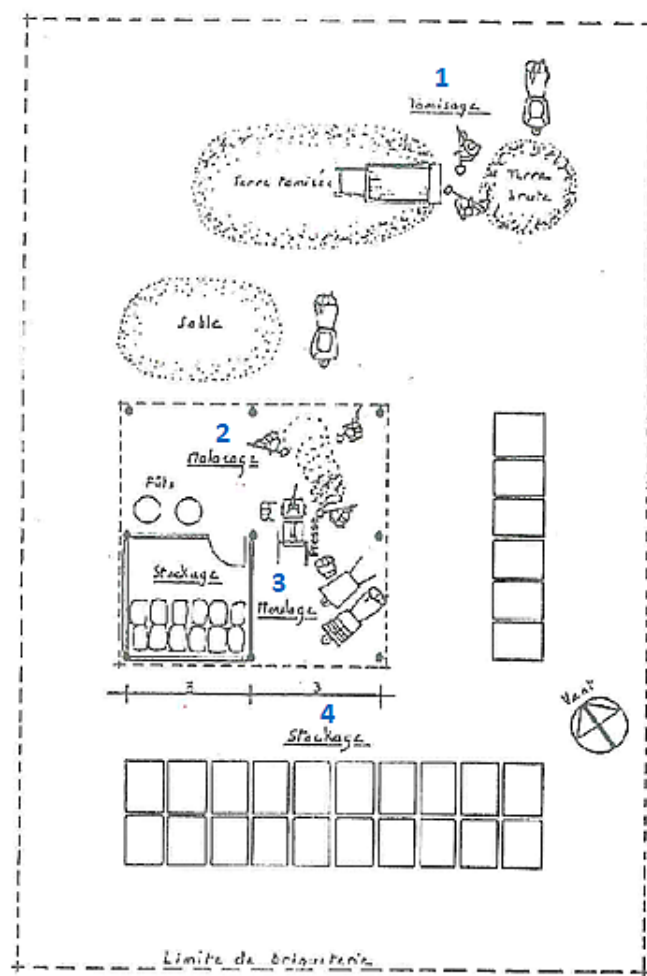


Figure 2 : illustration ligne de production manuelle (dessin de Serge Maini)

COÛT INFRASTRUCTURE			
Espace concerné	Superficie nécessaire (m ²)	Prix Unitaire m ² (€)	Prix total (€)
Stockage terre	60	250	15 000 €
Stockage sacs de ciment	2,5	250	625 €
Aire de tamisage	7,5	250	1 875 €
Aire de mélange	5	250	1 250 €
Aire de pressage	10	250	2 500 €
Aire de stockage et séchage sur palette ou sur sol aplani	55	250	13 750 €
		TOTAL INFRASTRUCTURE	35 000 €
COÛT EQUIPEMENTS			
Désignation	Prix (€)		
Presse manuelle TERSTARAM	10 000		
Petit matériels : pelles, sceaux, brouettes, grilles pour tamis	1000		
		TOTAL EQUIPEMENTS	11 000 €
INVESTISSEMENT TOTAL : 46 000€			

TOMA

En Guyane, une unité de production artisanale peut varier de 3 à 10 opérateurs. Les investissements diffèrent tant en m² nécessaires qu'en engins et équipements. Dans la plus petite unité, une presse manuelle sera utilisée pour une production de 600 blocs par jours. Avec une solution plus importante, la capacité de production peut atteindre 3 000 blocs par jour.

Le minimum d'investissement corporel est de 150/175K€ au minimum jusqu'à un montant de 600K€.

Prix du m ²	<u>Infrastructure</u>	355 m²	1 810 m²
	<u>Cout infrastructure</u>	76 K€	332 K€
	Terre	100 m ²	500 m ²
200		20 K€	100 K€
	Presse	75 m ²	200 m ²
200		15 K€	40 K€
	Cure	80 m ²	300 m ²
200		16 K€	60 K€
	Stockage	50 m ²	200 m ²
200		10 K€	40 K€
	Expédition	10 m ²	50 m ²
200		2 K€	10 K€
	Voies de circulation	20 m ²	500 m ²
100		2 K€	50 K€
	Bureaux	15 m ²	40 m ²
600		9 K€	24 K€
	Atelier	5 m ²	20 m ²
400		2 K€	8 K€
	Laboratoire	0 m ²	0 m ²
600		0 K€	0 K€
	Cout Engins	60 K€	150 K€
	Livraison	0 K€	30 K€
	Gestion de la terre	30 K€	60 K€
	Gestion palettes	30 K€	60 K€
	Cout Machines équipements	40 K€	95 K€
	Presses	10 K€	50 K€
	Malaxeurs	10 K€	20 K€
	Batch		
	Broyeurs	5 K€	10 K€
	Divers	10 K€	10 K€
	Découpeuse	5 K€	5 K€
	Laboratoire	0 K€	0 K€
	Investissement total	176 000	577 000

2.1.2.2 COUTS MENSUELS ET SEUIL DE RENTABILITE

Dans le contexte mahorais, une étude économique est prévue pour évaluer les coûts mensuels et le seuil de rentabilité. A l'heure actuelle, il paraît difficile de donner un chiffre. En Guyane, des seuils de rentabilité allant de 1,5% à 14,4% sont observés (**tableau 3**).

Ventes mensuelles	€	20 000	€	86 000	30 briques au m ² , 20j/mois
Prix au m ²	€	50,00	€	43,00	
Personnel mensuel					
Responsable	€	3 000	€	3 000	
Spécialistes : Labo-Mainten	€	-	€	2 500	
Manœuvres	€	5 400	€	14 400	
		3		8	
Charges sociales	€	1 260	€	2 985	
Cout social	€	9 660	€	22 885	
Matières premières	€	4 000	€	20 000	10€ au m ² , 20J/Mois
Consommables	€	900	€	2 500	
Energie	€	160	€	800	
Frais généraux	€	1 100	€	2 100	
Cout social structure	€	1 500	€	3 000	
Amortissements	€	2 089	€	5 928	
CA	€	20 000	€	86 000	
Couts variables	€	5 060	€	23 300	
Couts fixes	€	14 349	€	33 913	
Résultat mensuel	€	591	€	28 787	
%/investissement		0,0%		0,0%	
Pris de vente au m ²	€	50,00	€	43,00	
M ² vendus par mois		400		2 000	
Rentabilité par m ²		1,5%		14,4%	

Tableau 1 : Coûts mensuels et seuils de rentabilité de 2 productions artisanales en Guyane

2.1.2.3 VARIABILITE EN FONCTION DU TAUX D'ACTIVITE

Résultat mensuel	€ 591	€ 28 787
%/investissement	0,0%	0,0%
Pris de vente au m²	€ 50,00	€ 43,00
M² vendus par mois	400	2 000
Rentabilité par m²	1,5%	14,4%
Résultat mensuel Si Ventes inférieures de 25%	€ (5 199)	€ 5 087
M² vendus par mois	450	2 250
Résultat mensuel Si Ventes inférieures de 50%	€ (10 989)	€ (18 613)
M² vendus par mois	300	1 500
Résultat mensuel Si Ventes inférieures de 75%	€ (16 779)	€ (42 313)
M² vendus par mois	150	750
Résultat mensuel Si Ventes inférieures de 90%	€ (20 253)	€ (56 533)
M² vendus par mois	60	300

2.1.3 STRUCTURE DE PRIX DES PRODUITS ET SYSTEMES



Les données financières sont valables pour le littoral, en site isolé en Guyane les surcoûts sont très importants et le prix au m² sera plus que doublé pour compenser. Sachant que pour le parpaing et même le bois il en va de même. Il apparaît très aléatoire de chiffrer le surcoût de sites isolés guyanais. Cependant, dès lors qu'un prélèvement de terre sera localement possible, la solution BTCS sera plus avantageuse que les solutions parpaing, béton banché et même par rapport au bois.

L'équilibre financier repose sur un seuil de rentabilité suffisant. On peut penser qu'il existe une relativement faible variation de coût des matières premières en fonction de la quantité. Les contraintes seront souvent d'ordre financières avec des quantités minimum par livraison.

Les facteurs prépondérants seront la distance de la carrière par rapport au site de production. Sur un territoire comme la Guyane il est même probable que l'absence de carrière proche soit la règle quand ce n'est pas l'absence de carrière autorisée accessible. Des dérogations devront être demandées pour les lieux isolés comme Maripasoula/Papaïchton, Grand Santin, Saül...

Le recours à des déblais de chantier semble être une solution pour autant que la terre soit adaptée.

L'approvisionnement en liant est un autre point de vigilance : pour les sites isolés, le transport par voie fluviale (voire aérien) va multiplier son coût par 4.

2.2 Modèle Industriel

2.2.1 LOGIGRAMME

La **figure 3** illustre une ligne de production de BTCS à caractère industrielle. Cette échelle de travail n'est pas encore présente à Mayotte mais existe bel et bien en Guyane.



Figure 3 : Logigramme d'une ligne de production industrielle, cas de la Guyane

2.2.2 ANALYSE DE LA CHAÎNE DE VALEUR



2.2.2.1 INVESTISSEMENT PETITE ET MOYENNE INDUSTRIES

En considérant une ligne de production industrielle de taille moyenne, le minimum à investir à Mayotte hors taxes douanières serait d'un peu plus de 650K€ (**tableau 4**).

Espace concerné	Superficie nécessaire (m²)	Prix Unitaire m² (€)	Prix total (€)
Stockage terre	260	250	65 000 €
Stockage sacs de ciment	11	250	2 750 €
Aire de tamisage	32	250	8 000 €
Aire de mélange	21	250	5 250 €
Aire de pressage	43	250	10 750 €
Aire de stockage et séchage sur palette ou sur sol aplani	236	250	59 000 €
Aire d'expédition	200	250	50 000 €
Voies de circulation	1 000	250	250 000 €
Bureaux	50	250	12 500
Laboratoire	20	250	5 000
		TOTAL INFRASTRUCTURE	468 250 €
COÛT EQUIPEMENTS			
Désignation	Prix (€)		
Equipements machines (1 broyeur, balance, tamis manuels, malaxeur 500L, presse hydraulique et bande d'évacuation des BTCS)	130 000		
Equipements laboratoire	60 000		
		TOTAL EQUIPEMENTS	190 000 €
INVESTISSEMENT TOTAL : 658 250 €			

Tableau 2 : Coût infrastructure et équipements d'une ligne de production industrielle de taille moyenne à Mayotte (hors taxes douanières)



En considérant une ligne de production industrielle de taille moyenne et significative, le montant à investir à hors taxes douanières serait d'un peu plus de 1,2 et 2,5 M€ (tableau5).

Prix du m ²	<u>Infrastructure</u>	3 440 m²	7 860 m²
	<u>Cout infrastructure</u>	636 K€	1444 K€
	Terre	600 m ²	1 200 m ²
200		120 K€	240 K€
	Presse	300 m ²	500 m ²
200		60 K€	100 K€
	Cure	800 m ²	2 500 m ²
200		160 K€	500 K€
	Stockage	400 m ²	1 250 m ²
200		80 K€	250 K€
	Expédition	200 m ²	200 m ²
200		40 K€	40 K€
	Voies de circulation	1 000 m ²	2 000 m ²
100		100 K€	200 K€
	Bureaux	80 m ²	120 m ²
600		48 K€	72 K€
	Atelier	40 m ²	60 m ²
400		16 K€	24 K€
	Laboratoire	20 m ²	30 m ²
600		12 K€	18 K€
	Cout Engins	210 K€	360 K€
	Livraison	30 K€	60 K€
	Gestion de la terre	90 K€	150 K€
	Gestion palettes	90 K€	150 K€
	Cout Machines équipements	325 K€	680 K€
	Presses	100 K€	150 K€
	Malaxeurs	50 K€	90 K€
	Batch	15 K€	30 K€
	Broyeurs	10 K€	20 K€
	Divers	100 K€	300 K€
	Découpeuse	10 K€	20 K€
	Laboratoire	40 K€	70 K€
	Investissement total	1 171 000	2 484 000

Tableau 5 : Coût infrastructure et équipements d'une ligne de production industrielle en Guyane

2.2.2.2 COUTS MENSUELS ET SEUIL DE RENTABILITE

Ventes mensuelles	€ 140 000	€ 400 000	30 briques au m², 20j/mois
Prix au m²	€ 35,00	€ 30,00	
Personnel mensuel			
Responsable	€ 4 000	€ 5 000	
Spécialistes : Labo-Mainten	€ 6 000	€ 8 000	
Manœuvres	€ 21 600	€ 36 000	
	12	20	
Charges sociales	€ 4 740	€ 7 350	
Cout social	€ 36 340	€ 56 350	
Matières premières	€ 40 000	€ 133 333	10€ au m², 20J/Mois
Consommables	€ 4 500	€ 13 833	
Energie	€ 1 600	€ 5 333	
Frais généraux	€ 2 900	€ 4 500	
Cout social structure	€ 8 000	€ 12 000	
Amortissements	€ 12 450	€ 25 356	
CA	€ 140 000	€ 400 000	
Couts variables	€ 46 100	€ 152 500	
Couts fixes	€ 59 690	€ 98 206	
Résultat mensuel	€ 34 210	€ 149 294	
%/investissement	0,0%	0,0%	
Pris de vente au m²	€ 35,00	€ 30,00	
M² vendus par mois	4 000	13 333	
Rentabilité par m²	8,6%	11,2%	

Tableau 5 : Rentabilité unités industrielle Guyane

2.2.2.3 VARIABILITE

CA	€ 140 000	€ 400 000
Couts variables	€ 46 100	€ 152 500
Couts fixes	€ 59 690	€ 98 206
Résultat mensuel	€ 34 210	€ 149 294
%/investissement	0,0%	0,0%
Pris de vente au m ²	€ 35,00	€ 30,00
M ² vendus par mois	4 000	13 333
Rentabilité par m ²	8,6%	11,2%
Résultat mensuel Si		
Ventes inférieures de 25%	€ (1 190)	€ 56 294
M ² vendus par mois	4 500	15 000
Résultat mensuel Si		
Ventes inférieures de 50%	€ (36 590)	€ (36 706)
M ² vendus par mois	3 000	10 000
Résultat mensuel Si		
Ventes inférieures de 75%	€ (71 990)	€ (129 706)
M ² vendus par mois	1 500	5 000
Résultat mensuel Si		
Ventes inférieures de 90%	€ (93 230)	€ (185 506)
M ² vendus par mois	600	2 000

Tableau 6 : Sensibilité selon volume vendu en Guyane

2.2.3 STRUCTURE DE PRIX DES PRODUITS ET SYSTEMES



Le prix de la BTCS reste comparable à celui du parpaing si l'on considère l'absence d'enduit et de peinture. Au surplus à Mayotte une aide de l'EDM (Electricité de Mayotte) permet un crédit de 15 euros du m² pour les façades exposées. Ce qui n'est pas encore le cas en Guyane.

La pose peut cependant être plus élevée sur la Guyane qui n'a pas l'habitude des BTCS surtout avec des **modèles à emboîtement et donc en joints minces**. A Mayotte, malgré une chute d'activité les années précédentes, le coût est similaire au parpaing.

Jusqu'à présent, les BTCS de Guyane se posaient avec un joint mince dont la technique n'est pas répandue. **La production de BTCS sans emboîtement permet dorénavant de poser en joints épais ce qui fera baisser le coût de pose.** L'objectif en Guyane est d'atteindre 100 à 110 euros du m² de mur posé en 15cm d'épaisseur.

En Guyane, en pratique le coût du transport (50 euros par palette pour 200Kms vers Cayenne et alentours) ajoute 20% au prix de vente sorti d'usine (10% vers Saint Laurent du Maroni située à 60 Kms).

Dans l'analyse du prix de chaque composant dans le prix de vente donne en site industriel : 1/3 pour la main d'œuvre, 1/3 pour les matières premières et le troisième tiers couvre les frais généraux et de structure et la marge. Dans les matières premières, le coût du liant hydraulique correspond à 40% soit presque autant que les granulats.

Le coût de la fibre en atelier est important mais est difficile à chiffrer par rapport à un coût industriel dans la mesure où le traitement est encore embryonnaire et le modèle n'est ni stabilisé ni modélisé. Un surcoût de 20% des blocs fibrés est cohérent et vraisemblable. Sur les panneaux de bagasse/chaux la mise en œuvre sur site est préconisée.

Dans un mur, l'essentiel du coût provient de la pose. Il est donc important de ne pas se focaliser sur le produit. La pose **représente entre 50% et 70% du coût total du mur**. Les BTCS sont souvent pénalisées lors de la pose par :

- Blocs plus petits jusqu'à 50 unités au lieu de 10 parpaings au m².
- Risque de détérioration ou salissures des BTCS posés
- Manque d'habitude des BTCS à emboîtement et joints minces
- BTCS cassées qui ne peuvent être posées
- Pas de possibilité de se rattraper à l'enduit
- C'est nouveau, peu de concurrence et freins habituels
- Majoration des prix en méconnaissance du produit

2.3 Modèle lié à la fibre en mode artisanal ou industriel



L'intégration de fibre modifie le process et la chaîne de valeur de la fabrication des BTCS : l'adjonction du végétal constitue une étape supplémentaire et transforme l'opération de pressage des BTCS. Au surplus les caractéristiques, notamment mécaniques, sont modifiées. Le comportement mécanique des fibres est très différent de celui de la terre : compressibilité, propension à revenir partiellement au volume initial, absorption d'eau... Or, la compression des BTCS nécessite de fortes pressions pour un produit stable et fixe avec un retrait très faible et pas ou peu de gonflement. Au-delà d'un taux de 2% de fibres dans un mélange pour BTCS, la cohésion est remise en cause, des strates apparaissent et le volume gonfle rapidement après l'extraction du

moule. Les briques obtenues sont très hétérogènes quant aux dimensions obtenues. L'aspect est également complètement différent et nécessite un enduit ce qui ajoute au coût.

Avec un taux élevé de fibres (>20% par rapport aux granulats), le constat pousse à se détourner des BTCS pour aller vers l'adobe. Ce sont des équipements différents et plus simples.

La réalisation de panneaux de fibres en atelier repose sur une production complètement différente. Un peu dans le principe d'un adobe de très grande taille (60cm x 80cm pour une épaisseur de 8 à 10cm). **Le temps de séchage est particulièrement long avec la bagasse qui absorbe une quantité très importante d'eau. Une durée de séchage de plus de 15 jours est alors nécessaire.**

Cette considération conduit à de très grandes zones de séchage ou de rayonnage pour une production importante. **La surface nécessaire est de 2 à 5 fois plus importante que pour une production de BTCS** stockée généralement en palettes sur 4 à 6 niveaux.

La réalisation de panneaux de fibres sur site nécessite un malaxeur sur place mais dispense des étapes de fabrication en atelier et autorise ainsi le séchage sur place. Dès lors deux possibilités pour la mise en œuvre : couler avec des banches ou équivalent et de façon alternative par réalisation d'enduit de corps épais sur une paroi préexistante. Le temps perdu par le malaxage avec des équipements plus petits sur le site qu'en atelier est compensé par une application directe sur site. Le banchage devient alors un point clé du coût de pose.

Un enduit de finition terre/sable/chaux s'est révélé nécessaire après pose des couches de Fibre/chaux/terre.

Sur les deux techniques de pose du mélange fibré la solution en deux couches de corps de 4 centimètres est la plus rapide.

La composition du mélange fibre : Chaux 1, bagasse5, bagasse3, eau 1 (ou 1,5 si la bagasse est sèche)

La composition de l'enduit : Chaux 1, Sable 2, Terre 3, eau 1 ou plus selon plasticité souhaitée.

Dans tous les cas le volume d'eau initial est mélangé à l'eau avant ajout des autres éléments.

Le prix de la chaux en Guyane rend plus élevé le coût du mélange du fait de son absence en Guyane.

Le coût matière reste identique à celui produit en usine. Le coût main d'œuvre est certes un peu plus élevé (moins de machine mais moins d'étapes et de livraison) mais l'économie se situe dans

l'absence des infrastructures d'une usine ! La réalisation sur place sera donc pertinente notamment pour les petits chantiers. Cette solution est à privilégier tant qu'une usine de panneaux fibrés (ou BTC fibrés) ne sera pas opérationnelle.

Des solutions de thermo pressage seraient à étudier pour peu qu'un liant de collage soit identifié. Le coût reste à identifier.

2.4 Forces et faiblesses de chacune des solutions



La rentabilité et le prix au m² sont plus intéressants dans l'approche industrielle pour autant que le marché soit présent.

Sur un marché en recherche de son équilibre, l'approche industrielle est coûteuse voire dangereuse. Avec un coût d'engagement mensuel supérieur à 100 000 euros, la non-vente nécessite des capacités financières importantes au-delà de l'investissement lui-même.

Les coûts de transport militent pour des unités de production proches des lieux de construction. Plus le territoire est grand, plus il faut augmenter le nombre de sites. Paradoxalement, l'unique site Guyanais est industriel avec ses 86 000Km² et les sites artisanaux sont à Mayotte avec ses 375Km². Il est certain que les sites isolés comme celui de Maripasoula devront être alimentés par des sites artisanaux.

La filière BTCS est encore en phase de mise en place que ce soit sur le plan réglementaire ou technique. La capacité d'investissement dans la recherche trouve une meilleure réponse dans une démarche industrielle. Cependant, le regroupement au sein d'une association comme Art. Terre est une solution efficace au service des artisans. A ce jour, la recherche de stabilisants ou de fibrage des BTCS se réalise via des thèses CIFRE ou universitaire en Guyane.

L'aspect réglementaire est maintenant calé à Mayotte avec les règles professionnelles et dans une moindre mesure avec l'ATEX de La Brique de Guyane.

En cas de baisse d'activité, la vulnérabilité des sites de production est différente mais l'approche artisanale permet de conserver quelques producteurs en période de vaches maigres ce qui n'est pas le cas d'un site industriel qui disparaîtrait après un creux prolongé d'activité. A Mayotte, la réduction prolongée des marchés a réduit considérablement la filière mais ne l'a pas éteinte.

2.5 Scénarii et préconisations



Les résultats réalisés en Guyane sur site montrent que l'essentiel de l'efficacité thermique est atteint par les BTCS. L'ajout de fibres réside dans un complément de gamme pour offrir des briques allégées et des solutions esthétiques par des enduits minces ou épais.

C'est le marché de la rénovation des constructions, déjà réalisées avec du béton banché ou en parpaing, qui peut être amélioré par l'ajout de couches de fibres liées (enduits ou BTCS allégées en doublage). Le coût de la climatisation peut être réduit grâce à ces adjonctions qui apporte la régulation hygrométrique et un peu d'inertie et d'isolation.

Le marché spécifique des BTC fibrées et allégées a du sens dans les cas où le poids est un handicap. En Guyane, les projets avec pieux battus en bois auront besoin de cette gamme de produits.

Le développement industriel de panneaux de fibres nécessitera des travaux plus importants sur quelques années avec l'appui du monde de la recherche.

L'essentiel est de faire comprendre aux maîtres d'ouvrage que le recours aux matériaux naturels terre et fibres utilisés séparément ou ensemble constitue le choix préférentiel par rapport aux solutions béton tant l'écart du coût financier est assez faible pour un gain environnemental important. Mais surtout, l'occupant augmentera son bien être de façon considérable. Malheureusement, il n'existe pas de modèle numérique qui modélise le bien être. C'est donc par les démonstrateurs, les exemples et beaucoup de communication que la conviction sera acquise pour le plus grand nombre.

Bien que déjà très intéressantes les techniques doivent aussi évoluer, les points d'amélioration et les pistes de travail sont les suivantes :

- Le recours à des déblais de chantier semble être une solution pour autant que la terre soit adaptée. Cette préconisation est indispensable en site isolé ou situé à plus de 100Kms de la carrière.
- Recours à des briques à joints épais ou **mince en fonction des compétences disponibles**
- S'appuyer sur les ATEX (Guyane) et règles professionnelles (Mayotte).
- Travailler en réseau (Art. Terre à Mayotte)
- Augmenter la taille des blocs pour réduire le coût de pose.
- Adapter la taille des outils en fonction de la demande en parallèle de la montée en puissance de la demande d'où un besoin fort de coordination avec l'ensemble de la chaîne de valeur (CERC, Maître d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, formation, poseurs, administrations, financement...)
- Veille nationale (AQC, CSTB, etc.)
- Recherche : l'avance relative des outremers peut permettre de faire progresser les produits
- Tests : REI par exemple, autres liants
- Intégrer la démarche BTCS dans le mode constructif : Bois/brique, **vendre des murs et non des briques.**
- Valider les avantages de la brique : thermique, durée de vie, ACV, coût carbone, énergie grise, résilience territoriale...
- Bien que déjà compétitif, le facteur prix doit s'analyser en coût complet (Carbone, énergie grise, coût d'exploitation, confort)
- Recherche d'appui par les investisseurs en Certificat d'Economie d'Energie ou par les fonds verts.
- Elargir aux autres procédés basés sur la terre : enduits, bétons de terre, pisé, fibre& terre... **La piste ouverte par le projet OMBREE doit être poursuivie vers des BTCS allégées et des panneaux isolants.**

3. Tâche 3.2 : Analyse et optimisation des coûts des constructions

OBJECTIFS :

- Analyser les coûts des constructions utilisant les solutions élaborées dans le projet et les comparer à ceux de constructions recourant aux matériaux « conventionnels » - notamment les matériaux « importés ».
Ces analyses seront faites sur les coûts de livraison des constructions ainsi qu'en coût global.
- Identifier et quantifier les externalités positives : économie d'énergie, émissions de gaz à effet de serre, prélèvements de ressources difficilement renouvelables, création d'emplois et d'activités économiques, etc.
- Proposer des solutions constructives permettant d'optimiser les coûts des constructions utilisant ces matériaux tout en en garantissant le confort et les performances techniques et environnementales ;
- Valider les performances économiques, sociales et environnementales des solutions élaborées et conforter leur crédibilité.

3.1 Rapport sur les analyses des performances économiques, sociales et environnementales



En Guyane

Nous avons expérimenté à l'échelle 1 deux techniques constructives comparées à la construction courante en Guyane (Parpaing de 15cm enduit sur les deux faces, plafond PVC et couverture en tôle ondulée). La première est en BTCS avec lame d'air 12,5 cm de BTCS/ 12,5 cm de lame d'air/12,5 cm de BTCS, la seconde sur la base de parpaing enduit coté extérieur recouvert en intérieur par 8/10 cm de bagasse liée à la chaux avec un enduit de finition de terre.

Les coûts constructifs par rapport à la construction courante peuvent être évalués à :

- Solution BTCS doublée : 80 € supplémentaires par m² en raison essentiellement de la seconde cloison. - enduit et peinture intérieurs et extérieurs : -50€ **soit surcoût financier net 30€/m²** (3 000 euros pour une maison)
La solution de BTCS de 15cm sans lame d'air permet d'éviter les surcoûts.
- Solution Bagasse : Couche bagasse coulée : 60€/m² + Enduit terre de finition : 15€/m² - économie enduit et peinture intérieurs : -25€ **soit surcoût financier net 50€/m²** (5 000 euros pour une maison)

La solution d'enduire directement des couches de corps épaisses en lieu et place de la bagasse coulée est manifestement plus faible et peut être estimé à 25€/m²

Carbone et GES :

Sur le plan environnemental, le coût carbone des BTCS est 2,5 fois moindre que celui du Parpaing et 6 fois moins que la brique cuite. La couche supplémentaire permet l'économie du coût carbone de l'enduit et de la peinture.

Exploitation :

La solution BTCS doublée permet la quasi-suppression de la climatisation et autorise une ventilation importante sans craindre la montée en température des murs. En considérant un coût de climatisation de 1€/m²/J (pour 5 heures d'utilisation quotidiennement économisée) et une surface de 40m² climatisée (On ne climatise pas toute la maison) l'économie mensuelle est comprise entre 100 à 120 euros. Le gain de 5 heures par jour permet de gérer la déshumidification des pièces.

Avec 100 euros de climatisation par mois, le retour financier sur investissement se réalise entre 3 et 5 ans. Avec des murs de 15 cm en BTCS le gain est immédiat avec 4 heures de climatisation économisée soit 80 à 100€/mois.

Esthétisme :

L'accueil du public des murs en BTCS ou des enduits de terre est bien supérieur à celui du parpaing peint. Le ressenti et le bien-être sont également incomparables.

Le test échelle 1 s'est achevé en fin de saison sèche. Les relevés de température n'ont pu commencer qu'avec des températures plus basses et la pluie. Aussi les résultats sont moins discriminants qu'en pleine saison chaude. La tendance reste cependant claire.

Sur une plus longue période les tests dans les « cabanes » d'essai ont montré l'efficacité des dispositifs terre et fibres comparé au parpaing « classique »

3.2 Cahier des préconisations et de proposition pour la conception des ouvrages

Porosité des façades

Végétalisation aux abords des entrées d'air pour rafraîchir les flux d'air entrant

Massifier les pièces de jours et les murs exposés au soleil levant et couchant

Favoriser les avancées de toit

Ventiler les combles

Privilégier la ventilation et la régulation hygrométrique



TOMA

4. Conclusions

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 est en 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 m² le surcoût financier de la construction peut varier de 3 000 à 5 000 euros pour 100m² 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 complètent 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 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.