



Burundi

Analyse comparative des techniques de maçonnerie en terre

27 février – 8 mars 2019

Consultante : Eugénie Créte

Table des matières

1	Résumé exécutif	4
2	Présentation générale du contexte	6
2.1	Contexte géographique	6
2.2	Enjeux environnementaux.....	6
2.3	Aléas naturels.....	7
2.4	Contexte social.....	8
3	Les différentes techniques de maçonnerie au Burundi.....	10
3.1	Historique des différentes filières	10
3.2	Géographie des techniques et des ressources.....	11
3.3	Organisation de ces filières et processus de production / mise en oeuvre	12
3.3.1	Adobes	12
3.3.2	Briques cuites.....	14
3.3.3	Blocs comprimés auto-stabilisants.....	16
4	Objectifs et méthodologie de l'enquête	19
4.1	Objectifs	19
4.2	Méthodologie	19
4.2.1	Le déroulé de la mission, les sources mobilisées et les données recueillies....	19
4.2.2	Le scénario utilisé comme référence pour les évaluations financières et environnementales	19
4.2.3	Les grilles d'analyse	20
5	Etudes de cas.....	22
5.1	Analyse du VRI de Kigwena.....	22
5.1.1	Le projet	22
5.1.2	Analyse financière	24
5.1.3	Analyse environnementale	28
5.2	Analyse des maisons construites dans la province de Muyinga.....	29
5.2.1	Le projet	29
5.2.2	Analyse financière	31
5.2.3	Analyse environnementale	33
5.3	Quelle généralisation possible ?	33
5.3.1	Variabilité prévisible des indicateurs en fonction des zones d'étude.....	33
5.3.2	Variabilité prévisible des indicateurs dans le temps.....	34

6	Recommandations sur la production et la mise en œuvre des matériaux.....	35
6.1	Amélioration de la qualité de production.....	35
6.1.1	La zone de production.....	35
6.1.2	Le type de terre utilisée.....	36
6.1.3	La préparation du mélange	36
6.1.4	Le moulage et démoulage des adobes	37
6.1.5	L'importance de la cure des BTC.....	37
6.1.6	Le séchage des adobes.....	38
6.2	Amélioration de la qualité de mise en œuvre.....	38
6.2.1	Le traitement des abords.....	38
6.2.2	Les fondations	40
6.2.3	Le traitement du soubassement.....	40
6.2.4	Le positionnement et l'ancrage des portes.....	41
6.2.5	Le chaînage haut	42
6.2.6	Le renfort des angles.....	43
6.2.7	Le triangle supérieur du mur pignon	44
6.2.8	L'ancrage de la charpente.....	45
6.2.9	La charpente.....	46
6.2.10	Les débords de toiture	47
6.2.11	L'adhérence mortier / briques et le remplissage des joints.....	48
6.2.12	L'entretien	48
6.2.13	La gestion des extensions.....	50
6.2.14	L'alternative BTC maçonnés.....	50
7	Conclusions	53
7.1	Synthèse des analyses financières et environnementales	53
7.2	Synthèse des recommandations techniques.....	53
7.3	Réflexion sur les critères de choix d'une technique	55
8	Liste des acronymes	57
9	Bibliographie.....	58
10	Table des annexes	60

1 Résumé exécutif

Plusieurs programmes de construction de maisons à destination des plus vulnérables ont cours au Burundi. Les murs de ces maisons sont construits à partir de différents matériaux, principalement adobes, briques cuites et Blocs de Terre Comprimés (BTC). Si les deux premières techniques sont très présentes sur l'ensemble du territoire burundais, la troisième est encore peu pratiquée. Elle a toutefois été choisie par différents acteurs pour une application à de nombreux programmes, et en particulier pour la construction des maisons incluses dans les programmes de relogement de type Village Rural Intégré (VRI).

Cette enquête s'intéresse à ces trois techniques constructives d'un point de vue technique, économique et environnemental. Deux cas d'étude ont nourri cette analyse. Il s'agit de la construction en cours de maisons en BTC dans le VRI de Kigwena (Bururi), grâce à un financement du PNUD et avec la Croix Rouge du Burundi comme partenaire opérationnel. L'autre cas d'étude est un projet mené depuis 2013 dans la région de Muyinga grâce à un financement de la croix rouge luxembourgeoise et concerne la construction de maisons dispersées à destination des déplacés internes, retournés, rapatriés et vulnérables des communautés d'accueil.

Au point de vue économique, il y a un écart important entre les coûts de construction des maisons en adobes et briques cuites, d'une part, et les maisons en BTC, d'autre part, qui est encore plus marqué si l'on considère que les bénéficiaires participent bénévolement à certaines tâches de la construction¹. La part de budget qui couvre la rémunération de main d'œuvre est aussi plus élevée dans le cas d'une construction en BTC, car le besoin en main d'œuvre qualifiée et leur niveau de rémunération sont importants. Deux indicateurs sont utiles pour comprendre le soutien des projets à l'économie locale : l'argent investi à l'échelle nationale et l'argent investi à l'échelle locale. Si les sommes investies dans l'économie nationale sont sensiblement les mêmes pour les trois techniques, les sommes investies localement sont beaucoup plus fortes avec les techniques adobes et briques cuites (plus de matériaux locaux et de main d'œuvre locale).

Par ailleurs, un indicateur clef pour comparer l'impact environnemental de ces trois techniques est la production équivalente en CO₂.

Le tableau suivant synthétise ces résultats en fonction de la technique constructive sélectionnée, dans le cas d'un investissement de 100 000 000 FBU :

Budget investi (FBU)	Kigwena			Muyinga		
	Adobes	BTC auto-bloquant	B Cuites	Adobes	BTC auto-bloquant	B Cuites
100 000 000						
Nombre de maisons construites (sans apports des bénéficiaires)	37,7	15,6	31,9	33,4	14,4	30,1
Nombre de maisons construites (avec apports des bénéficiaires)	61,5	16,5	37,6	62,1	15,2	36,9
Rémunération de main d'œuvre (FBU)	16 067 884	38 288 656	22 583 524	14 269 325	35 295 479	20 532 066
Argent investi nationalement (FBU)	73 403 220	70 428 042	78 469 306	75 878 372	69 791 081	79 280 780
Dont argent investi localement (FBU)	58 586 810	13 012 565	65 200 548	63 039 854	13 121 661	66 368 479
kgéqCO ₂ émis	26 112	75 924	351 336	23 059	83 278	339 288

Cette analyse comparative est suivie d'un certain nombre de recommandations techniques formulées suite à la visite de différents projets et aux entretiens réalisés. Il est important d'améliorer le traitement des abords des maisons (relativement à la gestion des eaux de ruissellement) et d'intégrer des mesures relatives au risque sismique (chaînage haut, renfort des angles et construction du triangle supérieur des murs pignons en torchis).

¹ Apport de la terre nécessaire à la production des adobes et du mortier de maçonnerie, participation au chantier comme main d'œuvre non-qualifiée à hauteur de 90 jours.

Par ailleurs, il est conseillé de retravailler à la taille des adobes et aux modalités de cure des BTC ainsi qu'à la mise en œuvre des charpentes (positionnement des pièces et liaisons). Enfin, l'alternative technique que représente les BTC maçonnés (et non auto-bloquant) pourrait être intéressante dans le cadre de certains programmes.

On rappelle l'importance de ne pas juger des performances d'un matériau *per se*, mais selon les fonctions qu'il doit atteindre. Il peut en particulier être contre-productif d'utiliser un matériau très (trop) résistant et inaccessible à la majorité des habitants à un endroit où cela n'est pas nécessaire. C'est aujourd'hui le cas pour les BTC auto-bloquant, dont la mise en œuvre est par ailleurs très problématique au niveau des angles, ce qui peut s'avérer dangereux en contexte sismique.

Utiliser des matériaux ou des mises en œuvre accessibles (techniquement et financièrement) au plus grand nombre permet d'enclencher un effet levier à partir de projets qui ne couvrent qu'une très faible portion des besoins en logement : en 2018, on estimait à 440 000 les personnes nécessitant un relogement au Burundi.

Enfin, les programmes de construction à grande échelle ont des conséquences fortes sur leur environnement qui doivent être prises en compte dans un contexte tel celui du Burundi, pays dont le capital naturel – essentiel à la survie de l'écrasante majorité de la population – se dégrade inexorablement depuis plusieurs décennies. Cette prise en compte doit se faire au niveau local, avec une utilisation raisonnable de la ressource forestière et une amélioration de sa gestion, comme au niveau global, via une limitation des émissions de CO₂, fortement liées à la production des briques cuites et du ciment et au transport des matériaux.

2 Présentation générale du contexte

2.1 Contexte géographique

Le Burundi est un pays à forte prédominance rurale, avec moins de 20% de population citadine² et un habitat majoritairement dispersé en continuité de l'habitat traditionnel, isolé sur les collines, chacune constituant une unité sociale et administrative traditionnelle. Le regroupement en villages ou en agglomérations est un phénomène récent. La densité de population y est une des plus fortes en Afrique, avec 422 hab/km².

Les sols rencontrés sont assez variables. Dans la plaine de l'Imbo et les rives du lac Tanganyika, zone qui représente 7% de la superficie du territoire et abrite l'aire urbaine de Bujumbura et la région de Rumonge, on trouve des argiles noires tropicales, résultat de dépôts alluvionnaires récents³. Leur couleur provient de leur forte teneur en matières organiques, ce qui les rend peu propice à la construction en terre crue. Ces sols se fissurent ou gonflent rapidement selon l'évolution de leur teneur en eau.

La zone des plateaux centraux, qui comprend à son extrémité orientale la région de Muyinga, représente 52 % de la superficie du territoire national. La région est sillonnée par un réseau très dense de cours d'eau qui la découpe en une multitude de collines séparées par de larges vallées, dont le fond est occupée par des zones marécageuses. Les sols au sommet des collines sont généralement pauvres et peu épais. Dans l'ensemble, le type de sol dominant sur les plateaux centraux est constitué de sols lessivés, pauvres en silice et riches en fer, perméables, avec des argiles peu gonflantes en surface.⁴

Le climat est de type tropical, avec une saison des pluies qui s'étend de septembre à avril.⁵

2.2 Enjeux environnementaux

Le pays a connu une très forte dégradation de son capital naturel au cours des 30 dernières années. La croissance de la population et la recherche de nouvelles terres agricoles est une des cause principale d'une déforestation majeure. Alliée à des pratiques de cultures intensives sans gestion adéquate des terres, cette déforestation contribue à une forte érosion des sols⁶. Les principales conséquences en sont une perte importante de productivité agricole et la recrudescence de glissements de terrain lors des forts épisodes pluvieux.

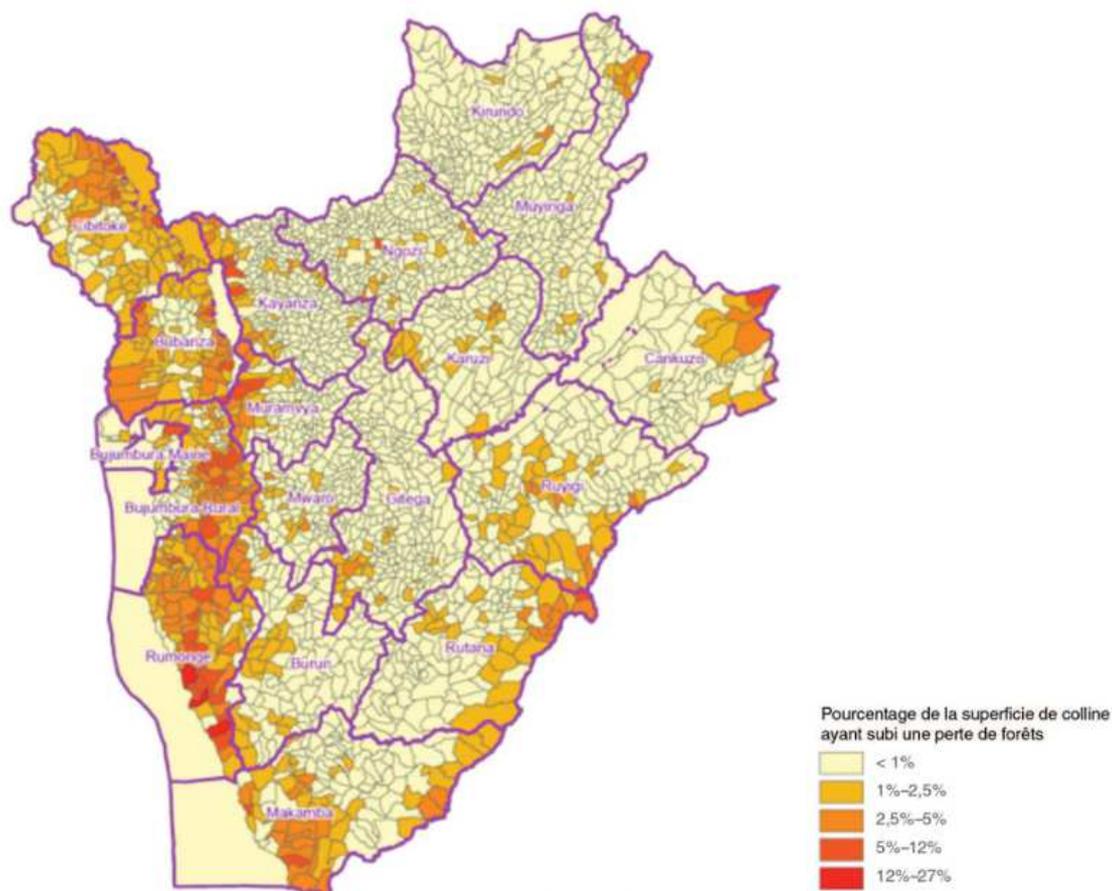
² La population urbaine était de 10% en 2008 selon le recensement national.

³ <http://bi.chm-cbd.net/biodiversity/presentation-du-burundi/aspects-physiques-du-burundi/geologie-et-pedologie-du-burundi>

⁴ <http://bi.chm-cbd.net/biodiversity/presentation-du-burundi/aspects-physiques-du-burundi/geologie-et-pedologie-du-burundi> et Fiche pays Burundi de FAO Aquastat, 2005

⁵ Fiche pays Burundi, FAO Aquastat, 2005

⁶ 38% des sols sont considérés comme très dégradés selon Addressing Fragility And Demographic Challenges To Reduce Poverty And Boost Sustainable Growth Systematic Country Diagnostic, World Bank, 2018



Taux de perte de la couverture forestière au Burundi entre 2000 et 2014 (taux annuel moyen) (extrait de World Bank et Terrafrica, 2017)

Par ailleurs, le pays connaît de graves problèmes de qualité d'air : en 2007, l'OMS estimait que 6% des décès au Burundi étaient liés à des maladies respiratoires⁷.

Les matériaux de construction utilisés exercent une contrainte importante sur ce capital naturel fragile. Les briques cuites et les tuiles proviennent de l'exploitation de zones marécageuses vulnérables et exigent une quantité de bois très importante pour leur cuisson, si bien que le gouvernement burundais considère leur utilisation comme très préoccupante et encourage l'utilisation de techniques alternatives⁸. Le bois est aussi directement utilisé pour la construction des charpentes et menuiseries, même si cette pratique pèse relativement peu dans le phénomène de déforestation (on estime à 95% la part de bois coupé pour une utilisation comme bois-énergie⁹).

2.3 Aléas naturels

Les fortes pluies provoquent régulièrement l'écroulement de murs dont les fondations ou le soubassement ne sont pas adéquats. Elles sont également à l'origine de glissements de terrain et d'inondations. Le risque d'inondations est présent sur une partie importante du territoire, mais reste généralement localisé aux fonds de vallées et lits de rivières. Les solutions techniques permettant de construire en zones inondables étant très

⁷ Burundi – Analyse environnementale du pays, World Bank et Terrafrica, 2017

⁸ Selon la ministre burundaise de l'Education et de la Formation technique et professionnelle, Janvier Ndirahisha (Burundi : validation de normes scolaires destinées à améliorer l'accès à une "éducation de qualité", www.frenchchina.org, 2018)

⁹ L'impact écologique des programmes de réfugiés / rapatriés soutenus par le Conseil Norvégien des Réfugiés au Burundi, Information, Counselling, Legal Assistance (ICLA) Conseil Norvégien pour les Réfugiés (CNR), 2008

onéreuses, il est préférable de ne pas construire dans ces zones. Il en est de même pour les zones exposées au risque de glissements de terrain.

Le risque sismique au Burundi est modéré à important, c'est-à-dire que l'on estime à 10% la probabilité qu'un séisme susceptible de causer des dommages importants sur les constructions survienne au cours des 50 prochaines années¹⁰. Ce risque doit donc être pris en compte lors de la définition et la mise en œuvre des programmes de construction. Les solutions constructives para-sismiques sont très onéreuses et il est nécessaire de faire appel à des entreprises très compétentes pour les mettre en œuvre.

2.4 Contexte social

Le Burundi a été une colonie allemande puis belge, jusqu'à son indépendance le 1er juillet 1962. Le pays a depuis connu plusieurs épisodes d'une extrême violence. En 1972, une première crise entraîne la mort de 100 000 personnes et la fuite d'environ 300 000 personnes vers les pays voisins, notamment vers la Tanzanie. En 1988, de nouveaux événements sanglants ont entraîné le départ de plusieurs milliers de Burundais. En 1993, le pays plonge dans une guerre civile d'une décennie : on estime à environ 300 000 le nombre de personnes tuées, à plus de 400 000 celles qui ont fui vers l'étranger et à environ 880 000 celles qui sont devenues des déplacés internes. Le peuple burundais a signé plusieurs accords de paix et cessez-le-feu entre 2000 et 2004. Depuis, de nombreux réfugiés rentrent au Burundi, volontairement ou contraints par la fermeture des camps qui les accueillent.

Certains de ces réfugiés ont quitté le territoire depuis de nombreuses années, voire sont nés à l'étranger. Une étude réalisée en 2008 auprès des réfugiés de 1972 revenus au Burundi montre que la plupart d'entre eux n'avaient pas d'accès à la terre : soit parce qu'ils avaient trouvé leurs terres occupées (54%) ; soit parce qu'ils n'avaient pas de terres avant leur fuite (20%)¹¹. Les besoins en relogement sont très importants et s'accumulent avec le retour progressif des personnes revenant de l'étranger et la réinstallation des personnes déplacées internes, et de nombreuses zones du pays sont concernées. Depuis 2004, le gouvernement, le UNHCR et de nombreuses ONG assistent les plus vulnérables en leur fournissant un encadrement technique à l'auto-construction, du ciment, des tôles et des clous, mais ces programmes ne couvrent qu'une faible proportion des besoins¹². En 2018, on estime à 440 000 le nombre de personnes nécessitant un relogement¹³.

En 2018, le revenu annuel moyen par habitant était de 270 \$ au Burundi, ce qui le positionnait comme l'un des pays les plus pauvres au niveau mondial. L'économie du pays est considérée comme très fragile, avec 85% de la population vivant d'une agriculture de moins en moins performante¹⁴. L'augmentation de la population et la baisse de productivité des terres agricoles obligent de nombreuses personnes à se tourner vers d'autres sources de revenus, en particulier les services de transport (à vélo ou à pied) et la fabrication de briques.

Les communautés locales sont relativement fortes et gèrent d'ores et déjà de nombreux aspects de la vie quotidienne. Il est aussi à noter que la Croix Rouge Burundi constitue un réseau très présent sur tout le territoire, avec plus de 600 000 bénévoles (soit plus de 5% de la population nationale).

¹⁰ Constructions scolaires pour l'École Fondamentale dans le contexte du Plan Sectoriel de Développement de l'Education et la Formation (PSDEF), Contraintes et Opportunités - Défis et pistes pour l'avenir, Serge Theunynck et Hervé Rabakoson Banque Mondiale, 2017 et selon la base de données Think Hazard (<http://thinkhazard.org/fr/report/43-burundi/EQ>).

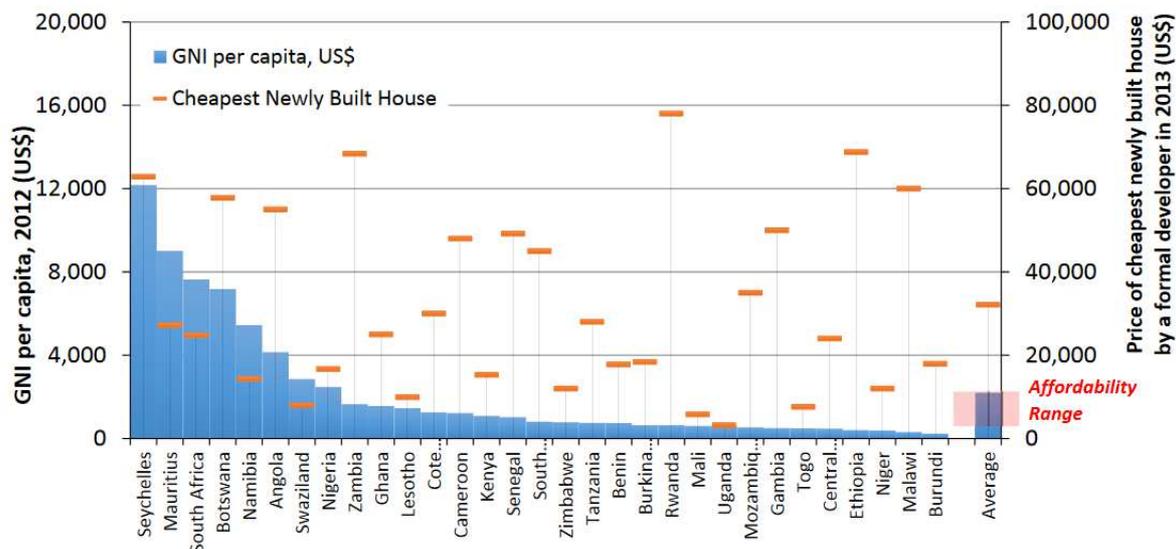
¹¹ Rapport d'enquête sur plusieurs types de villages et collines au Burundi 2006-2008, Information, Counselling, Legal Assistance (ICLA) Conseil Norvégien pour les Réfugiés (CNR), 2008

¹² On estime qu'entre 2002 et 2004, seuls 10% des besoins en relogement avaient été couverts, et les retours se sont intensifiés depuis. Source : Plan d'opération par pays – Burundi, UNHCR, 2006

¹³ Selon l'estimation de la Croix Rouge du Burundi (termes de référence de la mission).

¹⁴ Addressing Fragility And Demographic Challenges To Reduce Poverty And Boost Sustainable Growth - Systematic Country Diagnostic, World Bank, 2018

L'accès à un logement décent est très problématique : En 2013, la construction d'une maison neuve basique construite via le marché formel était estimée à 19 000 \$, ce qui est très largement au-dessus des moyens de la plupart des habitants¹⁵.



Source: CAHF 2013.

Relation entre le revenu par habitant et le prix de l'immobilier dans différents pays africains (extrait de Addressing Fragility And Demographic Challenges To Reduce Poverty And Boost Sustainable Growth - Systematic Country Diagnostic, World Bank, 2018)

Le gouvernement travaille au relogement des déplacés et rapatriés en particulier via la construction de Villages Ruraux Intégrés (VRI) : il existe actuellement 30 villages de ce type sur tout le territoire, qui regroupent chacun une centaine de maisons neuves. Les premières maisons du programme comprenaient 3 pièces et étaient construites en adobes. En 2013, le gouvernement a édicté de nouvelles règles de construction, portant à 4 le nombre de pièces de chacune des maisons et demandant l'utilisation de Blocs de Terre Comprimés Stabilisés auto-bloquant pour la construction des murs.

Ces maisons sont accompagnées de deux annexes constituant la cuisine et les latrines. Elles ont comme principales caractéristiques techniques¹⁶ :

- Mesures extérieures : 8m sur 5,6m ;
- Fondations en moellons maçonnés au ciment sur une profondeur d'au moins 40cm et une largeur d'au moins 35cm ;
- Soubassement en moellons maçonnés au ciment d'au moins 20cm ;
- Charpente bois et couverture en tôles, pente minimale de 15° ;
- Les maisons bénéficient de 5 portes et 4 fenêtres.

¹⁵ On estime qu'un foyer peut consacrer à son logement environ 3 à 4 fois son revenu annuel, soit l'équivalent de 1 000 \$ dans le cas du Burundi. Source : Addressing Fragility And Demographic Challenges To Reduce Poverty And Boost Sustainable Growth - Systematic Country Diagnostic, World Bank, 2018

¹⁶ Caractéristiques reprises par la suite pour l'élaboration des scénarii de comparaison des techniques de construction. Source : Standards techniques pour les Villages Ruraux Intégrés – Edition 2013

3 Les différentes techniques de maçonnerie au Burundi

3.1 Historique des différentes filières

Jusque dans les années 20, l'habitat était quasi exclusivement sous la forme de cases hémisphériques regroupées en *rugo*, construites à l'aide de perches plantées verticalement dans le sol et reliées par un réseau de roseaux, le tout recouvert d'une épaisse couche de chaume (*étape 1*). Une première étape d'évolution concerne la construction de murs en bambous ou torchis¹⁷ dans les années 20 (*étape 2*), puis l'évolution du plan qui devient rectangulaire dans les années 40, les toitures passant d'une forme cônique à une toiture à 4 pentes, toujours majoritairement couverte de chaume (*étape 3*). Ces toitures prédominent encore largement dans les années 80, avec une apparition des toitures à 2 pentes sur les rives du lac Tanganyika et dans le Mirwa¹⁸. Ce type de couverture s'est par la suite largement diffusé et est prédominant de nos jours.



Les adobes étaient déjà utilisées pour la construction de murs à la fin du 19^{ème} siècle¹⁹, mais c'est dans les années 50 que leur usage se diffuse largement sur le territoire burundais (*étape 4*).



Les briques et tuiles cuites ont été introduites au Burundi par les premiers missionnaires, au début du 20^{ème} siècle²⁰. Elles se sont par la suite largement diffusées dans certaines régions.



Face à la menace environnementale que constitue une production intensive de brique cuite artisanale avec des rendements énergétiques très mauvais et à une qualité de production très variable, plusieurs matériaux alternatifs ont été introduits dans les années 80, dont les Blocs de Terre Comprimés (BTC) et les adobes stabilisées au ciment, sans qu'il n'y ait de diffusion large²¹.



En 2004, le PNUD achète une dizaine de presses hydrauliques (presses Hydraform) puis manuelles pour la production de BTC auto-bloquant. Les presses encore en fonctionnement sont actuellement mises à la disposition des projets de construction en BTC par le PNUD. Le nombre de chantiers reste marginal, et l'expérience n'est pas plus concluante que dans les pays voisins²².

L'évolution de l'habitat au Burundi de 1900 à 1970 (d'après Acquier, 1986)

¹⁷ Les murs en torchis sont construits en appliquant un mélange de terre et de fibres humide sur un tressage de bois ou de cannes.

¹⁸ Le Burundi, Jean-Louis Acquier, Collection Architectures traditionnelles, Editions Parenthèses, 1986

¹⁹ Etude de la filière terre / terre cuite, Pascal Rutake et Faustin Musare, CURDES, Université du Burundi, 1987

²⁰ Etude de la filière terre / terre cuite, Pascal Rutake et Faustin Musare, CURDES, Université du Burundi, 1987

²¹ Construction en terre au Burundi – Conference paper « Earth construction technologies appropriate to developing countries », Frédérique Bizimana, 1984

²² En République Démocratique du Congo, des presses Hydraform avaient elles aussi été importées d'Afrique du Sud dans les années 2000, mais la plupart de ces presses sont à l'arrêt : le système constructif basé sur l'empilement des blocs sans mortier n'a pas réussi à convaincre les entreprises et les clients, pour des raisons techniques autant que financières (A.Douline, Misereor, 2015). L'expérience a suivi un cheminement similaire au Rwanda, avec une baisse de la qualité de production et des coûts trop élevés, aboutissant à l'arrêt du programme (CRAterre, 2012).

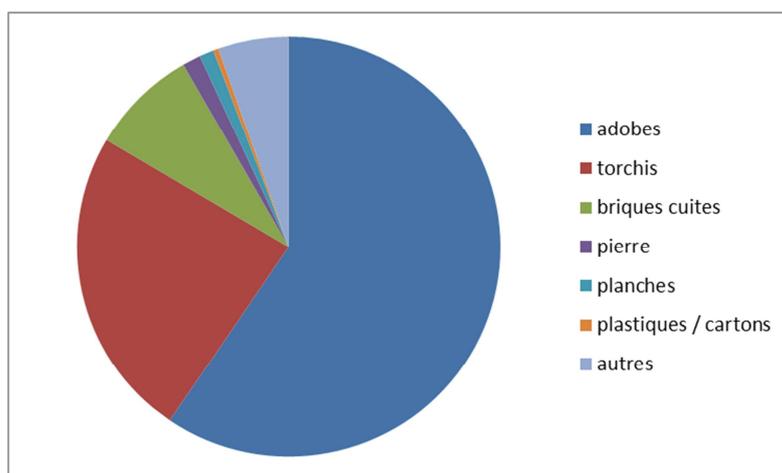
Depuis quelques années, le programme PROECCO vise, dans la région des Grands Lacs, à créer de l'emploi via la production de matériaux de construction respectueux de l'environnement, en particulier via la modernisation des fours utilisés pour cuire les briques et tuiles. Cette modernisation permettant par ailleurs d'améliorer la qualité des produits. Quatre fours améliorés ont été installés avec le soutien technique et dans une moindre mesure financier de ce programme. Plusieurs produits sont proposés, entre autres des briques pleines et des briques alvéolaires qui permettent la construction de bâtiments à plusieurs niveaux parasismiques. Le programme se concentre aujourd'hui sur ce type de constructions, principalement en zone urbaine et péri-urbaine. Un projet utilise actuellement ce système constructif pour la construction de 30 maisons à destination des plus vulnérables, dans la région de Bujumbura²³.

3.2 Géographie des techniques et des ressources

Selon le recensement de 2008, ce sont les constructions en adobes qui dominent largement à l'échelle du pays (59,5%)²⁴.

Les constructions en torchis sont encore bien présentes sur le territoire burundais (estimées à 24% à l'échelle du territoire), et particulièrement dans la région de Kirundo et dans celle de Muyinga. Mais il semble que leur proportion diminue avec la raréfaction du bois.

La construction en briques cuites représentait en 2008 8% des constructions à l'échelle du pays, avec une présence nettement plus marquée dans les régions de Bururi et Makamba.



Répartition des constructions en fonction de leur type de murs à l'échelle nationale selon le recensement de 2008

A quelques exceptions près, et notamment à proximité immédiate du lac Tanganyika où l'on rencontre des argiles noires, la terre locale permet de façonner des adobes de grandes dimensions sans fissuration au séchage.

La terre nécessaire pour les BTC doit être beaucoup plus sableuse, plus que ne le sont les terres locales. Elles nécessitent donc souvent l'ajout de sable pour leur fabrication.

La production de briques cuites exige des terres très argileuses, que l'on trouve généralement au niveau des marais. Cette ressource en argile se raréfie et les producteurs ont tendance à utiliser de plus en plus de terres

²³ Entretien avec l'équipe SKAT de PROECCO le 7 mars 2019 à Bujumbura.

²⁴ Ceci reste vrai à l'échelle régionale, sauf dans les régions de Kirundo et de Muyinga.

avec une teneur en argile moindre, entraînant une baisse de la qualité des briques cuites. Une cartographie des producteurs de briques a été réalisée par le programme PROECCO²⁵.

Les graviers et sables sont relativement faciles à trouver sur tout le territoire, moyennant un transport de ces matériaux sur une dizaine de kms. On les trouve principalement dans les lits des rivières et les plaines alluviales²⁶. On trouve généralement des moellons de qualité correcte dans les zones montagneuses, facilement dans les zones de Muyinga et Ngozi, plus difficilement vers Bujumbura.

Il existe une fabrique de ciment au Burundi (dans la région de Cibitoke), en fonctionnement depuis plusieurs années. Les roches carbonatées utilisées comme matières premières par cette usine proviennent principalement des pays voisins, même si une faible proportion est extraite de différentes régions du Burundi (Rutana, Ngozi)²⁷. On trouve ce ciment sur le marché burundais (marque BUCECO), au coté de ciments tanzaniens, kenyans ou ougandais. Il n'est toutefois pas de la classe de résistance souhaitée pour la fabrication des BTC hydraform (42,5 recommandé), mais suffit pour certains mortiers et enduits²⁸.

Il existe aussi une usine de recyclage d'acier produisant des fers à béton et clous locaux de qualité médiocre²⁹ et une usine de transformation de plaques d'acier importées en produits de construction à Musamba.

La majorité du ciment, des tôles, clous et des fers à béton sont donc produits dans les pays voisins et importés³⁰. Du fait de son enclavement et de l'absence d'accès maritime, les matériaux de construction importés arrivent au Burundi par transport routier à un prix élevé, en transitant majoritairement par Bujumbura³¹. Les durées d'acheminement sont longues et incertaines et les ruptures de stocks régulières³².

3.3 Organisation de ces filières et processus de production / mise en oeuvre

3.3.1 Adobes

Ce matériau très accessible techniquement et financièrement possède une résistance suffisante pour la construction d'une maison à un niveau. Il demande à être bien protégé des eaux de pluies concentrées (les eaux de pluies diffuses dues à une exposition à la pluie posent rarement problème) et remontées capillaires éventuelles³³. Il est donc primordial de soigner la base des murs et les rigoles d'écoulement des eaux autour de la maison, de prévoir des débords de toiture suffisants pour bien protéger la tête des murs, et de bien entretenir les abords de la construction et la toiture. Bien protégés, les murs en adobes ont une durée de vie comparable à celles de bien d'autres matériaux conventionnels, entre autres au Burundi³⁴.

²⁵ Disponible sur

<http://madeingreatlakes.maps.arcgis.com/apps/MapTools/index.html?appid=7e4e9a0bed1e4e65984559fdcaee5b54>

²⁶ Entretien avec Théodose Simuyeze le 4 mars 2019 à Bujumbura.

²⁷ Idem et entretien avec le gérant d'un site d'extraction de roches carbonatées le 5/03/19 à Ngozi.

²⁸ Entretien avec l'ingénieur CRB en charge du suivi du projet de construction de Kigwena le 4/03/19 à Bujumbura.

²⁹ idem

³⁰ Idem, et entretiens avec différents distributeurs à Rumonge, Muyinga, Ruzo.

³¹ Constructions scolaires pour l'École Fondamentale dans le contexte du Plan Sectoriel de Développement de l'Education et la Formation (PSDEF), Contraintes et Opportunités - Défis et pistes pour l'avenir, Serge Theunynck et Hervé Rabakoson Banque Mondiale, 2017

³² C'est la question de l'approvisionnement de ciment en quantité suffisante et à un rythme correct qui est d'ailleurs citée comme problème majeur par le chef d'antenne COPED à propos de l'avancement de la construction du camp de Nyakanda (Ruyigi) Source : <https://coped.org/2018/08/22/les-activites-de-construction-du-camp-nyankanda-sont-a-un-niveau-tres-satisfaisant/>

³³ Construction en terre au Burundi – Conference paper « Earth construction technologies appropriate to developing countries », Frédérique Bizimana, 1984

³⁴ L'impact écologique des programmes de réfugiés / rapatriés soutenus par le Conseil Norvégien des Réfugiés au Burundi, ProAct Network, 2009

Traditionnellement, les murs en adobe étaient relativement peu élevés et bien protégés par des débords de toiture importants. L'apparition de toitures à double pente (voire à pente unique) a entraîné l'augmentation de la hauteur de certains murs (murs pignons en particulier), sans que leur épaisseur ne soit revue à la hausse, les rendant de fait relativement instable. De plus, le prix de la tôle pousse les habitants à minimiser les débords, parfois même en les supprimant, exposant ainsi les têtes de murs à des ruissellements d'eau concentrés, alors que ces parties sont cruciales pour le soutien et la non-déformation de la toiture. Ces défauts de construction et d'entretien provoquent régulièrement la dégradation de ces constructions, parfois même leur écroulement. Enfin, la mauvaise accroche des enduits ciment posés sur les murs en terre sans préparation adéquate du support contribue à forger une image erronée de faible durabilité à ce matériau.



La toiture à une pente entraîne un élancement très important d'un des murs. Ici, les tôles ont été posées directement sur les murs et aucun débord de toiture ne protège les têtes de murs. Certaines adobes, en particulier celles utilisées en façade, ont été cuites.

Les habitants produisent généralement eux-mêmes les adobes, sans appui technique particulier, que ce soit pour la formulation, la production ou la mise en œuvre. L'opinion générale semble considérer que ce travail est physiquement pénible mais ne requiert aucune compétence technique, et que n'importe quelle terre convient³⁵.

La terre pour la fabrication des adobes semble être quasi systématiquement celle du site. Les multitudes de maisons construites sur tout le territoire montre que la terre locale convient bien souvent, moyennant une adaptation de la taille des adobes aux caractéristiques de la terre et aux modalités de séchage, étape de la production pas toujours prise en compte³⁶. Dans quelques rares cas, on peut y ajouter des fibres pour limiter la fissuration au séchage. On notera malgré tout que la terre noire à forte teneur en matières organiques présente au bord du lac Tanganyika et en particulier dans la zone du VRI de Bohomba ne semble pas adaptée à la production d'adobes de qualité sans précautions particulières.



Adobes produites par un habitant du VRI de Kigwena

³⁵ Entretiens avec le chef de chantier BTC et un habitant le 1/03/19 à Kigwena, et avec l'équipe de la CRB à Muyinga le 5/03/19

³⁶ Appui A La Definition Et A La Preparation D'un Programme D'infrastructures Scolaires Au Burundi – Rapport final, CRAterre, 2018 et entretiens avec le chef de chantier BTC et un habitant le 1/03/19 à Kigwena, et avec l'équipe de la CRB à Muyinga le 5/03/19.

Le mélange utilisé pour mouler les adobes ne repose pas après que l'eau ait été ajouté, alors que cette pratique, observée dans de nombreuses régions voisines ou plus lointaines, contribue généralement à l'obtention d'adobes de meilleure qualité. Ici, le mélange est malaxé (foulé au pied ou mélangé à la houe) puis les adobes moulées et mises à sécher en plein soleil. Les moules utilisés sont généralement en bois.

Dans le cadre des projets de la CRB à Muyinga, trois maçons réalisent les murs des maisons en adobes en une quinzaine de jours, durée variable selon l'aide fournie par les habitants ou bénévoles de la CRB. L'avancement du chantier est de toute façon contraint par une élévation maximale de 1m de murs par jour (en général suivi d'un temps de repos permettant séchage et tassement de 2 jours).

Les joints de mortier sont relativement épais (env 3cm), entre autres pour compenser le manque de régularité des adobes produites.

Les tailles d'adobes rencontrées varient beaucoup. Elles résultent en général d'un compromis entre efficacité de mise en œuvre, adéquation avec les caractéristiques de retrait de la terre (une terre riche en argiles actives ne permettra que de produire des adobes de tailles réduites) et modalités de séchage. Leurs dimensions sont aussi plus ou moins pertinentes selon l'épaisseur du mur construit, et gagneront à avoir des rapports permettant un calepinage efficace, y compris dans une maçonnerie mixte adobes / briques cuites. Il semble que dans les années 80, le module des adobes était de 10 x 15 x 30 et que les murs construits avec mesuraient 30cm d'épaisseur³⁷. Actuellement, la hauteur des adobes produites varie généralement entre 10 et 17cm, leur largeur entre 15 et 20cm, et leur longueur entre 30 et 35cm³⁸. Les adobes produites dans le cadre des projets de la CRB sont de dimensions plus importantes (40 x 20 x 20).

Les adobes peuvent éventuellement être achetées, même si cette pratique est relativement rare. Leur coût est d'environ 350 FBU pour les adobes de 40cm x 20cm x 20cm, à Muyinga³⁹.

Dans le cadre de cette enquête, on estime le coût de ces adobes (hors prix terre et main d'œuvre pour l'extraction de la terre) à 70 FBU/adobe⁴⁰.

3.3.2 Briques cuites

Les briques cuites sont produites dans de nombreuses régions du Burundi⁴¹. Leur production demande des terres très argileuses⁴², des savoirs techniques précis, des investissements initiaux importants et un permis d'exploitation des gisements d'argile délivré par les autorités en contre-partie d'une taxe annuelle⁴³. Elles ne peuvent donc être produites par les habitants dans des processus d'auto-production / construction. Les méthodes de cuisson actuellement en vigueur sont très peu efficaces : elles consomment de grosses quantités de bois⁴⁴, et produisent des briques cuites de qualité médiocre⁴⁵. Au manque de maîtrise de la technologie

³⁷ Construction en terre au Burundi – Conference paper « Earth construction technologies appropriate to developing countries », Frédérique Bizimana, 1984

³⁸ Valeurs issues de relevés lors de l'enquête terrain et du recensement réalisé par le IFRC-SRU en 2012.

³⁹ Entretien avec l'équipe de la CRB à Muyinga le 5/03/19

⁴⁰ correspondant au transport de l'eau, petit outillage et main d'œuvre de malaxage, moulage et démoulage, à raison de la production de 200 adobes par jour par équipe de 3 personnes non-qualifiées

⁴¹ Comme le montre le recensement effectué dans le cadre du projet PROECCO :

<http://madeingreatlakes.maps.arcgis.com/apps/MapTools/index.html?appid=7e4e9a0bed1e4e65984559fdcaee5b54>

⁴² 40 à 60% d'argiles minimum

⁴³ Lors de notre entretien le 6/03/19 avec des briquetiers à Muyinga, il nous a été indiqué une taxe annuelle de 1.600.000 FBU à l'Etat et de 100.000 FBU à la commune, auxquelles s'ajoutent une taxe de 3500 FBU / benne (soit 5000 briques) pour la commune.

⁴⁴ L'estimation varie entre 1,5 et 3 m³ de bois pour la cuisson traditionnelle de 1000 briques, ou 6 à 7MJ par kg d'argile. 60 à 90% de l'énergie de cuisson peut être économisée en améliorant le type de fours utilisés. Source : programme PROECCO et A. Douline, Misereor, 2015.

⁴⁵ On estime à au moins 25% la casse de briques à la production. De fait, de nombreuses briques doivent être recuites. Source : Alexandre Douline, Misereor, 2015 et entretien avec des briquetiers le 6/03/19 à Muyinga.

s'ajoute une baisse de qualité des argiles employées, en raison d'un accès de plus en plus difficile aux gisements⁴⁶. Les zones de production nécessitent des surfaces relativement importantes et sont souvent en concurrence avec les usages agricoles car à proximité des terres marécageuses utilisées par exemple pour la riziculture.

Le processus de production des briques est sensible et se fait généralement en cinq grandes étapes, qui sont⁴⁷ :

- l'identification et l'extraction de la matière première, qui exige une bonne connaissance du type de sol permettant d'obtenir des briques de qualité ;
- la préparation de la masse argileuse, son humidification et son malaxage (le mélange repose généralement plusieurs heures avant l'étape de façonnage) ;
- le façonnage des briques ;
- le séchage naturel des briques, pendant 3 à 7 jours ;
- leur cuisson en fours de plusieurs dizaines de milliers de briques, pendant 2 à 3 jours, étape qui requiert là aussi un savoir-faire très spécifique.

Les périodes de production sont généralement annuelles, mais avec une forte hausse pendant la saison sèche. La production est d'environ 800 briques par jour et par personne. Les briquetiers sont généralement payés à la brique produite, hors cuisson et transport, et la cuisson des briques est rémunérée au four⁴⁸. De nombreuses personnes sont affectées au transport de la terre et des briques, de leur lieu de séchage à leur lieu de cuisson puis de commercialisation. Ce transport est généralement effectué par les femmes qui porte plusieurs (dizaines de) kgs de briques sur leur tête⁴⁹.

Les briquetteries sont des lieux de production de poussières et de fumées et le travail y est très pénible avec des risques d'accident conséquents⁵⁰.

Partant de ce constat, le programme PROECCO travaille actuellement à l'amélioration des conditions de production des briques cuites avec l'implantation de fours améliorés et une valorisation de déchets agricoles comme source énergétique. Quatre fours ont été installés au Burundi, qui produisent des briques pleines, des briques alvéolaires et des tuiles. Les briques alvéolaires sont utilisées pour la construction de bâtiments parasismiques à plusieurs niveaux.

Les briques sont très généralement maçonnées à la terre et rejointoyées au ciment. Les dimensions des briques varient. Les plus petites (et plus courantes semble-t-il) mesurent 4 à 5cm de haut, pour 9cm de large et 15 à 17cm de long. Elles sont généralement utilisées pour la construction de murs de 17cm de large. Ces murs présentent des élancements très élevés et sont donc généralement instables, avec des risques accrus d'écroulement en chantier et dans le cas d'un séisme.

De grosses briques cuites ont fait leur apparition depuis quelques années. Il s'agit en fait d'adobes cuites de manière très approximative par les habitants. Leur qualité est généralement très mauvaise, les argiles centrales ne sont pas cuites, et leur cuisson demande une quantité très importante de combustibles⁵¹.

⁴⁶ Entretien avec Théodose Simuzeye le 4/03/19 à Bujumbura

⁴⁷ La production de 1000 briques par jour demande de 600 à 1000 m² Source : Rapport de l'étude sur « le genre et le travail dans le secteur de production des matériaux de construction », PROECCO, 2013

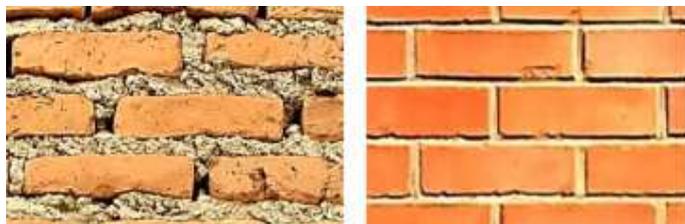
⁴⁸ Environ 4000FBU/jour par personne pour chacune de ces étapes en 2013, équivalent au salaire d'un maçon à l'époque (Source : Rapport de l'étude sur « le genre et le travail dans le secteur de production des matériaux de construction », PROECCO, 2013).

⁴⁹ Ce travail est très pénible physiquement et ne peut être effectué qu'un jour sur deux. Il est rémunéré environ 1600 FBU/jour, soit un revenu moyen de 800 FBU/ jour, ce qui est environ moitié moins que la rémunération comme aide-maçon à l'époque. Source : Rapport de l'étude sur « le genre et le travail dans le secteur de production des matériaux de construction », PROECCO, 2013

⁵⁰ Rapport de l'étude sur « le genre et le travail dans le secteur de production des matériaux de construction », PROECCO, 2013

Le prix des briques cuites varie selon les régions. Dans la région de Kigwena, il est estimé à 50 FBU. Dans la région de Muyinga, il est estimé à 45 FBU.

On peut estimer la part de main d'œuvre pour la production d'une brique à 15 FBU⁵², dont 5 FBU de main d'œuvre non-qualifiée.



Des différences de qualité majeures dans la production et la pose des briques cuites. Crédit PROECCO

Grosses briques cuites abandonnées suite à l'échec de leur cuisson (ci-dessous)



Les argiles au cœur des briques mal cuites gonflent en présence d'humidité et font éclater les briques



3.3.3 Blocs comprimés auto-stabilisants

Les BTC ont fait leur apparition sur le territoire burundais dans les années 80, sous la forme de blocs parallélépipédiques à maçonner, d'une part, et de BTC auto-bloquants, d'autre part (blocs prévus pour être posés sans mortier grâce à leur forme spécifique permettant leur emboîtement).

Les BTC auto-bloquants sont produits soit par presse hydrauliques (qui présentent toutefois de sérieux problèmes d'entretien limitant leur fonctionnement), soit par presses manuelles. Ces presses manuelles sont gérées par une association qui les transporte sur les lieux de construction, les entretient et fournit la main d'œuvre qualifiée nécessaire à leur fonctionnement. L'étape de compression est très pénible et nécessite 3 personnes par presse, qui doivent tourner régulièrement avec d'autres équipes de 3 personnes.



Les presses manuelles à Kigwena. Les artisans doivent creuser des fosses et lester les presses avec de nombreux sacs de terre pour qu'elles ne se soulèvent pas lors de la compression (trois personnes doivent combiner leurs forces pour arriver à atteindre les niveaux de compression nécessaires).

⁵¹ Entretien avec le chef de chantier BTC le 1/03/19 à Kigwena

⁵² La part de main d'œuvre peut être estimée à 8 à 10FBU par brique en 2013 (source : Rapport de l'étude sur « le genre et le travail dans le secteur de production des matériaux de construction », PROECCO, 2013), avec une augmentation d'environ 75% des salaires constatés entre 2013 et 2019.

Le mélange de terre, sable et ciment est effectué sur place manuellement, avec une terre qui est légèrement humide, ce qui peut nuire à l'efficacité de la stabilisation (voir paragraphe 6.1.3).

Les BTC auto-bloquant peuvent être posés en remplissage d'une ossature béton. C'est par exemple le cas de l'école construite à Busebwa, près de Rumonge. Ce chantier, qui a eu lieu en 2015, a bénéficié d'un fort encadrement technique. La qualité du résultat semble être satisfaisante⁵³. On peut toutefois s'interroger sur l'adéquation entre la grande taille des blocs et leurs très bonnes résistances à la compression, d'une part, et leur utilisation comme maçonnerie de remplissage non-porteuse, d'autre part.

Dans le cadre des projets de construction de maisons visités, les BTC auto-bloquant ne sont pas utilisés en remplissage d'une ossature béton mais sont posés en murs porteurs. Or, il n'est pas prévu de moule spécifique pour la réalisation des blocs angulaires. Ce qui signifie que les blocs utilisés pour construire les angles des maisons sont des demi-blocs dont on a partiellement cassé les parties mâles, afin de permettre leur mise en œuvre. Ceci est techniquement très problématique dans un contexte sismique, puisque les angles de la maison, parties essentielles à la bonne tenue de la maison lors d'un tremblement de terre, sont fragilisés par ces défauts d'emboîtement (voir paragraphe 6.2.6).

Cette technique a été proposée avec comme argument une meilleure maîtrise de la qualité des produits mis en œuvre. Or, les étapes de formulation et de cure sont essentielles à la bonne qualité du bloc, et une mauvaise maîtrise de ces étapes peut conduire à de très mauvaises performances du bloc fini⁵⁴. De plus, les longueurs des blocs sont légèrement variables (dans le cas de l'utilisation de presses hydrauliques) ou leurs hauteurs (dans le cas de presses manuelles), ce qui est problématique car l'absence de mortier ne permet pas de corriger ces défauts lors de leur mise en œuvre. Les artisans se retrouvent à devoir choisir avec soin les blocs à utiliser, de nombreuses tailles sont nécessaires (ce qui entraîne une perte de temps et de matières), et vérifier en permanence la planéité et l'horizontalité des lits de blocs, sous peine de devoir démonter la partie supérieure des murs.

Enfin, la pose des blocs sans mortier entraîne de légers jours entre les blocs. Lorsqu'ils en avaient les moyens, plusieurs habitants ont fait des enduits intérieurs ou ont rejointoyé les BTC au ciment.



La qualité de mise en œuvre dans les angles des maisons est problématique (visite du VRI de Bohomba) (ci-contre)

Maison en BTC auto-bloquant rejointoyés au ciment par un habitant du VRI de Bohomba (ci-dessous)



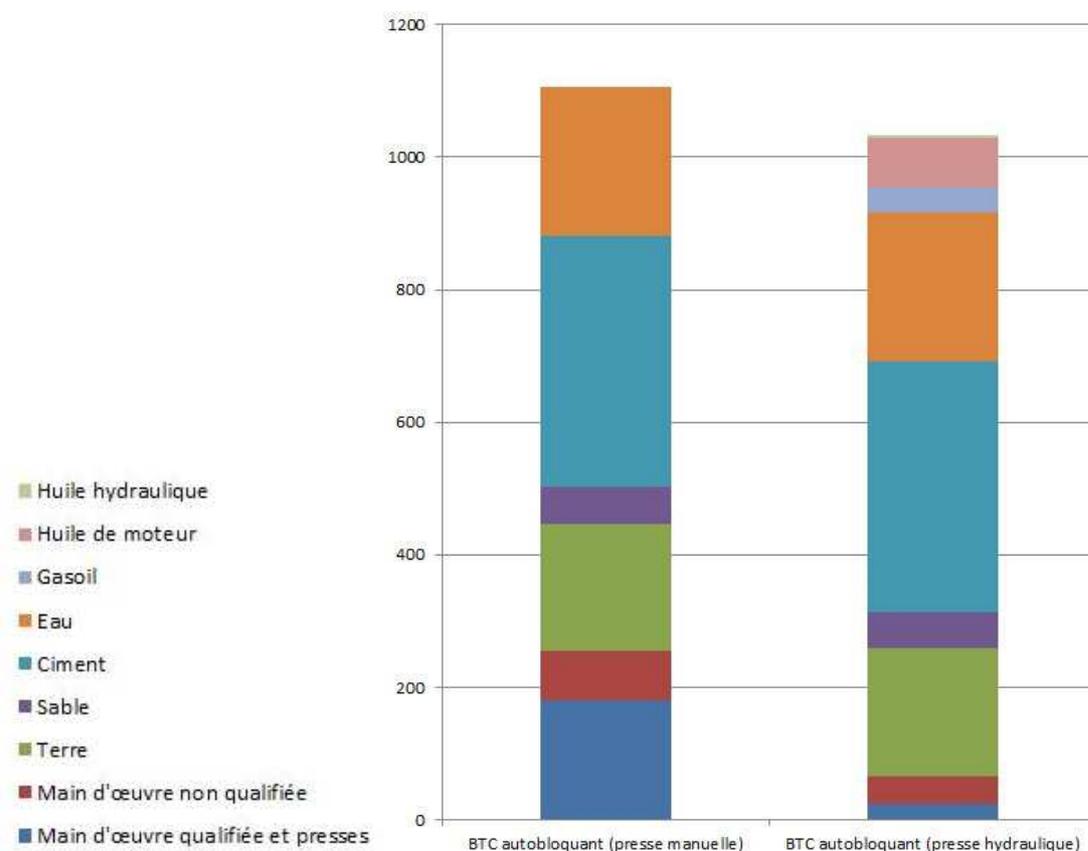
⁵³ Appui A La Definition Et A La Preparation D'un Programme D'infrastructures Scolaires Au Burundi – Rapport final, CRAterre, 2018

⁵⁴ Au point qu'un mois de production a dû être jeté ou utilisé à d'autres fins lors de la construction du VRI de Bohomba (Source : Entretien avec le chef de chantier BTC de Bohomba le 28/02/2019).

Par ailleurs, il est important de noter que les BTC peu ou mal stabilisés sont d'autant plus sensibles aux infiltrations d'eau.

Ces constatations expliquent probablement la faible diffusion de cette technique de construction au Burundi, comme dans les pays voisins. De plus, au Rwanda, on a constaté une baisse de la qualité des BTC auto-bloquant produits lorsque l'encadrement technique international a diminué (baisse du taux de stabilisation, terre utilisée inadéquate – il faut une terre sableuse, peu de respect de la cure), alors que leur coût de production restait élevé. Au point qu'après quelques années, la production s'est arrêtée⁵⁵.

Le prix d'un BTC auto-bloquant produit sur place avec environ 8% de ciment était estimé à environ 900 FBU en 2015⁵⁶. Ce prix est environ 20% inférieur au coût de revient estimé dans le cadre de cette enquête, ce qui est de l'ordre de grandeur du niveau d'inflation constaté (voir paragraphe 5.3.2). Les coûts estimés pour la production des BTC sont les suivants (en FBU, hors location et entretien des presses hydrauliques, qui sont considérées comme mises à disposition par le PNUD) (détail en annexe 7) :



Comparaison des coûts de production des BTC auto-bloquants (en FBU), avec une presse manuelle et une presse hydraulique (hors location et entretien des presses hydrauliques)

⁵⁵ CRAterre, 2012

⁵⁶ Il n'est pas précisé si ce coût est celui obtenu par une production manuelle ou hydraulique. Il semble que les deux types de presses aient été utilisées sur ce chantier. Source : Appui A La Definition Et A La Preparation D'un Programme D'infrastructures Scolaires Au Burundi – Rapport final, CRAterre, 2018

4 Objectifs et méthodologie de l'enquête

4.1 Objectifs

En s'appuyant sur deux cas d'étude (projet de la croix rouge luxembourgeoise à Kigwena et à Giteranyi), les objectifs de l'enquête sont de mener une analyse comparative des matériaux envisagés pour la construction des murs des maisons, c'est-à-dire les adobes, les blocs de terre comprimés et les briques cuites. Cette analyse porte en particulier sur les enjeux environnementaux et financiers associés à ces techniques.

Par ailleurs, l'enquête permet d'élaborer un certain nombre de recommandations techniques tenant compte des contraintes environnementales, socioéconomiques, de durabilité et de disponibilité des matériaux et des compétences localement.

4.2 Méthodologie

4.2.1 Le déroulé de la mission, les sources mobilisées et les données recueillies

Les données recueillies pendant cette enquête sont de quatre sortes :

- Données descriptives relatives à l'organisation des projets, des étapes de production des matériaux utilisés et de mise en œuvre ;
- Données économiques relatives au coût des différents matériaux et de la main d'œuvre dans les différentes localités et de leur évolutivité ;
- Données géographiques relatives aux filières d'approvisionnement en matériaux ;
- Photographies de documentation des constructions visitées.

L'enquête a été menée en trois phases :

- Une première phase d'étude bibliographique, dont l'objectif est de comprendre le fonctionnement général des différentes filières de matériaux au Burundi, de définir les indicateurs qui permettront d'analyser ces matériaux et pratiques constructives et d'identifier les outils et les sources à mobiliser pour la collecte de données. Il s'agit d'une étape cruciale pour mettre en œuvre les moyens de collecter des données fiables et suffisantes pour conduire une analyse logique, cohérente et complète et, au final, pour répondre aux objectifs de l'enquête. L'étude bibliographique s'est en particulier appuyée sur de nombreux documents provenant de la Croix Rouge du Burundi, du gouvernement burundais, de la Banque Mondiale, de l'association CRAterre, du programme PROECCO. Cette première phase a abouti à l'élaboration des grilles d'analyse utilisée par la suite.
- Une deuxième phase de 10 jours d'enquête terrain à Bujumbura, Kigwena, Rumonge, et dans la province de Muyinga, pendant laquelle la consultante a pu consulter les documents comptables de la Croix Rouge du Burundi, visiter plusieurs maisons construites par différentes organisations entre 2007 et 2018, et s'entretenir avec différents acteurs terrains (voir liste en annexe 2).
- Une troisième phase de traitement et d'analyse des données, pendant laquelle les données recueillies ont été confrontées et leurs fiabilités estimées, puis les grilles d'analyse comparative complétées et interprétées. Ce travail a permis l'élaboration de recommandations techniques à partir des observations réalisées sur le terrain et des analyses financières et environnementales menées.

Le calendrier détaillé de l'enquête terrain est consultable en annexe 2 du présent rapport.

4.2.2 Le scénario utilisé comme référence pour les évaluations financières et environnementales

Les grilles d'analyse proposées reposent sur un quantitatif détaillé des constructions s'appuyant principalement sur les caractéristiques techniques demandées par le gouvernement (voir §2.4 Erreur ! Source du renvoi

introuvable.), déclinées pour trois techniques de construction des murs : adobes, BTC auto-bloquant et briques cuites. Ce quantitatif porte sur les maisons et n'inclue pas la construction des bâtiments annexes (cuisine, latrine). Il n'inclue pas non plus les travaux de terrassement des parcelles. Le détail du quantitatif est consultable en annexe 3.

Le tableau ci-dessous synthétise les caractéristiques techniques retenues pour l'élaboration du scénario de référence :

Scenario de référence	Adobes	BTC autobloquants	Briques cuites artisanales
Fondations	40cm de profondeur et 30cm de large, en pierres (0,2m ³ /ml) et mortier terre		
Soubassement	Moellons sur 40cm de haut et 20cm de large, maçonnés au mortier 1 Ciment / 6 Sable	Moellons sur 40cm de haut et 22cm de large, maçonnés au mortier 1 Ciment / 6 Sable	Moellons sur 40cm de haut et 18cm de large, maçonnés au mortier 1 Ciment / 6 Sable
Murs extérieurs	20cm d'épaisseur Adobes 20 x 20 x 14 mortier terre	22cm d'épaisseur BTC 22 x 22 stabilisé sable (20%) et ciment (7%) Mortier 6 terre, 6 sable, 1 ciment	17cm d'épaisseur Briques cuites 17 x 9 x 4 Mortier terre
Renforcement des angles	Adobes stabilisées Fers à béton à mi-hauteur (4ml Ø8 et 1,2ml Ø6)	Attention, les angles sont très fragiles actuellement	Fers à béton à mi-hauteur (4ml Ø8 et 1,2ml Ø6)
Chaînage haut	Briques cuites, béton (1 ciment, 3 sable, 3 graviers) sur 10cm de large et 5cm de haut et fers à béton (2ml Ø8 et 0,6ml Ø6)		
Enduits	Intérieur : terre Extérieur : terre puis bâtard (1 ciment, 12 sable, 3 chaux)	Intérieur : bâtard (1 ciment, 12 sable, 3 chaux)	Jointoyage mortier 1 ciment et 5 sable
Débords de toiture	0,4m		

4.2.3 Les grilles d'analyse

Ces grilles ont été alimentées en différenciant les sites étudiés, d'une part, et les scénarii techniques présentés dans le paragraphe précédent, d'autres part.

Ce travail a permis de réaliser une analyse croisée de ces données et de valider (ou non) l'influence de ces scénarii et des sites d'étude sur les valeurs des indicateurs suivants :

- Le coût total de construction des maisons (matériaux et main d'œuvre) ;
- Le budget estimé pour le transport (national) des matériaux ;

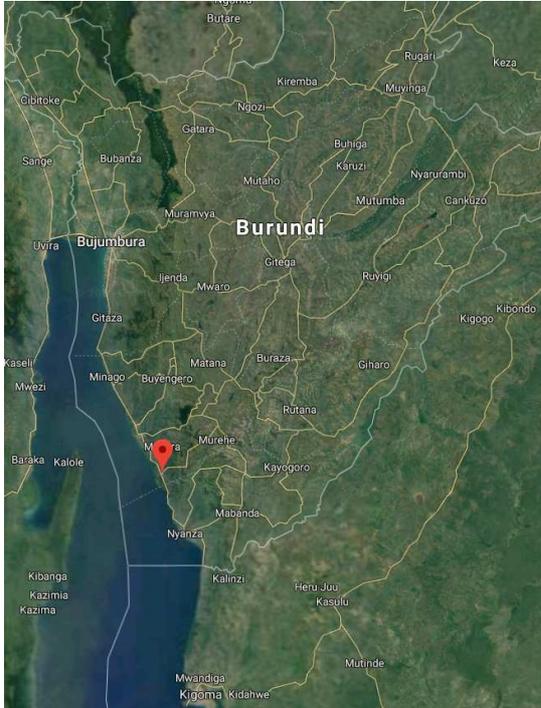
- La part du budget allouée à la rémunération de main d'œuvre (avec une distinction entre emploi qualifié et non-qualifié) ;
- La part de budget investie au Burundi ;
- L'économie possible sur le coût de construction grâce à un approvisionnement en terre à la charge du bénéficiaire et une participation non-rémunérée du bénéficiaire au chantier comme main d'œuvre non-qualifiée (production de matériaux, aide-maçon, transport d'eau) dans une limite de 90 jours par foyer ;
- La production de CO₂ liée à la production et au transport des différents matériaux ;
- La consommation en bois-énergie ;
- Le volume de terre et de roches excavé.

Le détail des grilles d'analyse est consultable en annexes 4 et 5.

5 Etudes de cas

5.1 Analyse du VRI de Kigwena

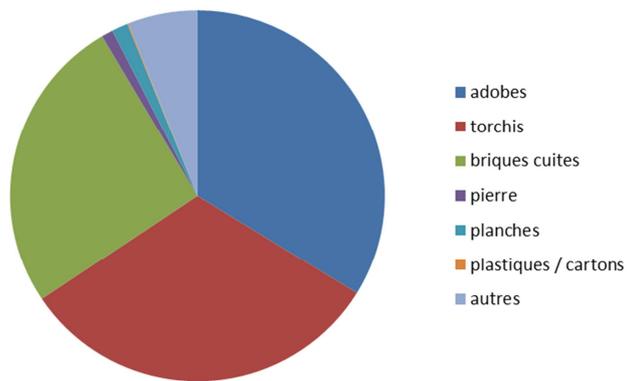
5.1.1 Le projet



Kigwena se situe au sud de la province de Bururi, sur les rives du lac Tanganyika.

Localisation de Kigwena, extrait Google Map

Les constructions de la province de Bururi sont majoritairement en adobe et à un niveau. Les toitures sont en tôles.



Répartition des habitations par type de murs dans la province de Bururi selon le recensement de 2008

174 maisons ont été livrées par la CRB et la croix rouge luxembourgeoise en 2017 / 2018 près du village de Kigwena. Les fondations sont en moellons maçonnés au ciment, les toitures en tôle. Les murs sont en bêche car le gouvernement souhaitait que les murs soient fait en BTC, ce qui n'avait pas budgétisé, les constructions ayant été prévues initialement avec des murs en adobes produites par les bénéficiaires.



Maison provisoire livrée par la CRB à Kigwena, avec des murs en bèches.

Sur les 174 maisons, 18 ont vu leurs murs construits en BTC auto-bloquants grâce à un financement du gouvernement, prévu initialement pour construire les murs de l'ensemble des maisons mais qui n'a pas suffit. Le PNUD a accepté de financer le reste des murs, mais il y a actuellement un problème de versements des

salaires aux employés, et le chantier est à l'arrêt depuis 3 semaines. 5 maisons ont été construites lors de cette deuxième phase. Les croix rouge luxembourgeoise et du Burundi sont les partenaires opérationnels de cette 2^{ème} phase. Le PNUD met à disposition les presses et fait livrer les matériaux.



Maisons en BTC dans le VRI de Kigwena. La végétation en pied de mur témoigne d'une humidité forte et d'une probable mauvaise gestion des eaux de ruissellement. Entre les deux maisons, une extension en adobe. Crédit : crl



Extension en palmes dans le VRI de Kigwena (ci-contre)

Extension en planches dans le VRI de Kigwena (ci-dessous)



Maison en adobes à proximité immédiate du VRI. Les tôles sont lestées par de grosses briques cuites.

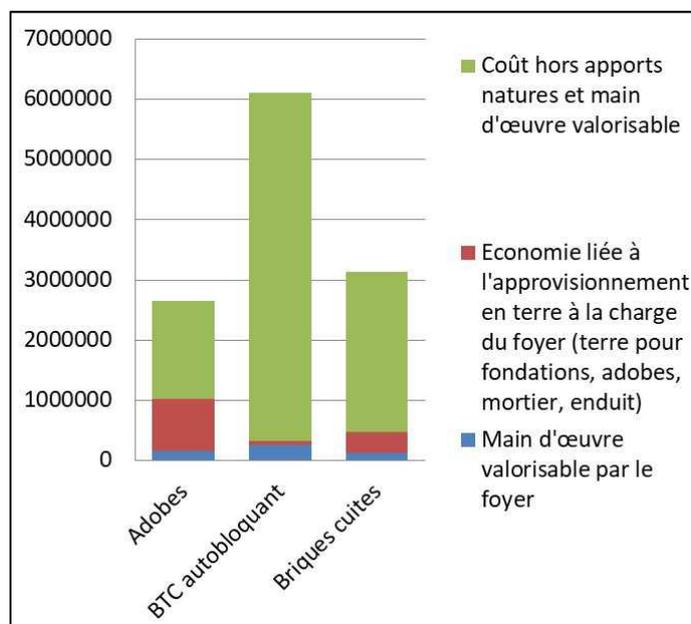
5.1.2 Analyse financière

Les estimations financières et environnementales découle d'un quantitatif (dont le détail est présenté en annexe 3) réalisé à partir des caractéristiques techniques détaillées au paragraphe 4.2.2 et d'un relevé des coûts de matériaux et de main d'œuvre (dont le détail est présenté en annexe 6) issus d'entretiens, de relevés et de la consultation des documents comptables de la CRB.

5.1.2.1 Accessibilité économique

Les estimations financières obtenues pour chacune des trois techniques de maçonnerie sont décomposées en 3 sous-ensemble :

- le budget qui peut être économisé dans le cas où les bénéficiaires participent bénévolement à la production des matériaux et à leur mise en œuvre non-qualifiée, dans une limite de 90 jours de mise à disposition d'une personne par foyer ;
- le budget qui peut être économisé si la terre nécessaire pour la production des adobes, les mortiers et les enduits est fournie par les habitants (les terres locales semblent pouvoir être utilisées pour ces postes avec des résultats corrects dans la plupart des cas) ;
- le reste à charge pour l'organisation finançant la construction.

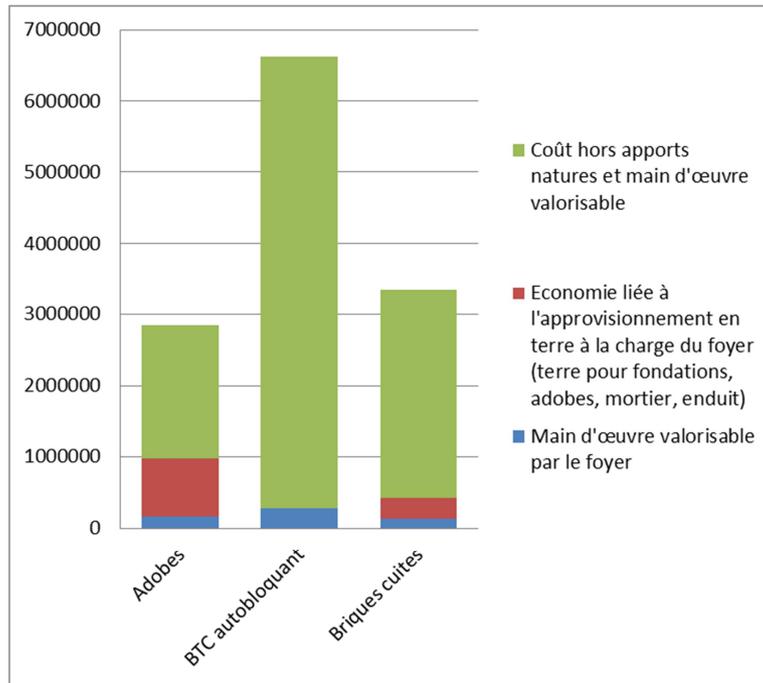


Comparaison des coûts de construction(en FBU) avec le scenario de référence

Dans le cas où des fondations de 40cm de profondeur et 35cm de large en moellons maçonnés au ciment⁵⁷ seraient rendues nécessaires par les caractéristiques géotechniques du terrain, le budget à charge de l'organisation (hors apports nature par les bénéficiaires) augmente de :

- 16% dans le cas d'une construction en adobes ;
- 5% dans le cas d'une construction en BTC auto-bloquant ;
- 10% dans le cas d'une construction en briques cuites.

⁵⁷ Tel que préconisé dans le guide édité en 2013 par le gouvernement pour la construction des VRI



Scenario de comparaison avec fondations en moellons maçonnés au ciment

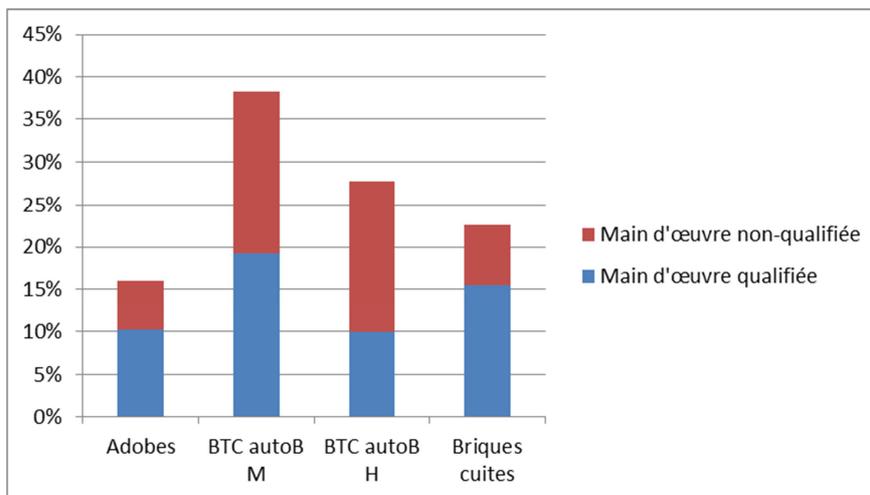
Dans le cas où des presses hydrauliques seraient mises à disposition gratuitement et leur entretien pris en charge par une organisation extérieure, le coût restant à charge pour l'organisation finançant les constructions diminue de 5%.

On rappelle qu'évaluer l'accessibilité économique d'une technique doit se faire en prenant en compte l'accessibilité aux ressources complémentaires et aux équipements nécessaires (voir §5.3.1).

5.1.2.2 Quel investissement dans l'économie locale ?

5.1.2.2.1 Les emplois créés et leur pénibilité

Le budget total rémunérant la main d'œuvre pour la production de matériaux et leur mise en œuvre, (hors transport des matériaux) est exprimé en % du coût de construction total. Cela signifie que pour une même somme totale investie, la part d'argent qui servira à la rémunération de main d'œuvre sera la suivante :



Rémunération de main d'œuvre, en proportion du coût total de construction (BTC autoB M : BTC auto-bloquant par presse manuelle ; BTC autoB H : BTC auto-bloquant par presse hydraulique)

La production de BTC nécessite beaucoup de main d'œuvre non qualifiée pour le transport des BTC vers les zones de cure et de stockage (406 jours de travail de main d'œuvre non-qualifiée pour la production des BTC d'une maison (presse manuelle), 362 (presse hydraulique) contre 52 pour les adobes et 72 pour les briques cuites).

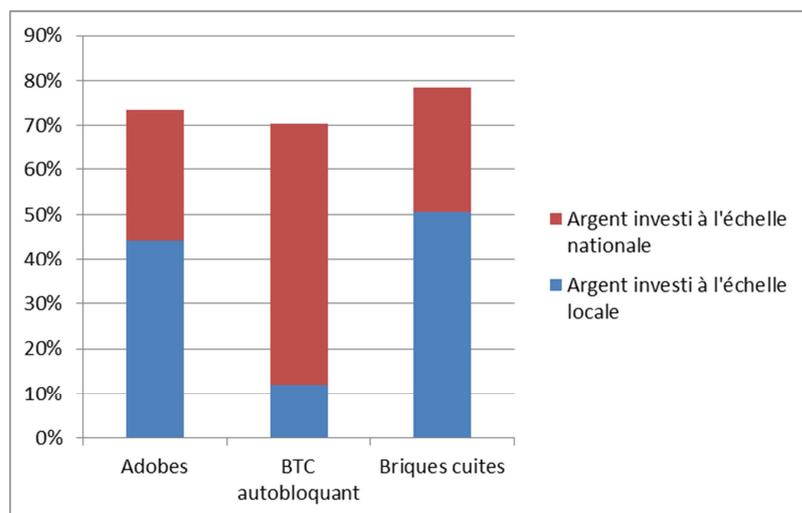
La main d'œuvre qualifiée correspond aux maçons, à une partie des employés des briquetteries et, dans le cas des BTC, aux personnes de l'association en charge de la compression des blocs. Dans ce cas, il s'agit d'emplois considérés comme qualifiés mais de grande pénibilité physique. Elle ne peut être effectuée par les mêmes personnes tout le long du chantier.

La quantité de main d'œuvre qualifiée nécessaire pour la mise en œuvre des différents matériaux est sensiblement identique (38 jours pour les adobes, 40 pour les BTC et 46 pour les briques cuites), mais la rémunération des maçons formés à la technique de construction en BTC est 1,5 à 2 fois supérieure à celle d'un maçon classique.

5.1.2.2.2 Les capitaux investis au Burundi

Les capitaux investis au Burundi ont été estimés en considérant :

- 100% de l'argent nécessaire à la rémunération de la main d'œuvre est considéré comme investi nationalement ;
- 100% du coût des matériaux locaux hors transport est considéré comme investi nationalement ;
- 25% du coût des matériaux importés hors transport national est considéré comme investi nationalement ;
- 50% du coût du transport national est considéré comme investi nationalement.



Parmi ces capitaux, ceux associés à certains matériaux (moellons, sable, terre et bois) et une partie de la main d'œuvre, disponibles localement, sont considérés comme investis localement.

Répartition des capitaux en fonction de leur zone d'investissement⁵⁸

Dans le cas où les fondations seraient maçonnées au ciment, la proportion de capital investi nationalement diminue de quelques points pour les constructions en adobes et celles en briques cuites, et de quelques dixièmes dans le cas d'une construction en BTC.

Par ailleurs, dans le cas où la production des BTC serait assurée par des presses hydrauliques, la proportion de capitaux investie nationalement diminue à 58%, principalement à cause d'une baisse de la main d'œuvre qualifiée et non-qualifiée⁵⁹.

⁵⁸ Estimation réalisée à partir du cas d'étude de Kigwena. Les résultats sont similaires dans le cas de Muyinga.

⁵⁹ Cette estimation ne tient pas compte de l'achat et de l'entretien des presses hydrauliques, considérées comme mise à disposition et entretenues par le PNUD. Ces capitaux ne sont majoritairement pas investis localement, les prendre en

5.1.2.3 Quelle dépendance aux importations ?

5.1.2.3.1 Part de matériaux importés

Le tableau ci-dessous présente les volumes de ciment associés à chaque solution technique. Les autres matériaux importés sont identiques dans les 3 cas et ne sont donc pas repris ici.

	Adobe	BTC auto-bloquant	Brique cuite
Volume de ciment (mortier de fondation ciment) (m ³)	0,9 (ciment 32,5)	3,1 (ciment 42,5) et 0,6 (ciment 32,5)	0,6 (ciment 32,5)
Volume de ciment (mortier de fondation terre) (m ³)	0,1 (ciment 32,5)	3,1 (ciment 42,5) et 0,1 (ciment 32,5)	0,1 (ciment 32,5)

Le ciment BUCECO, seul ciment à être produit sur le territoire burundais, est un ciment de classe de résistance 32,5, qui n'est pas considéré comme suffisant pour la fabrication des BTC auto-bloquant.

5.1.2.3.2 Dépendance aux produits pétroliers

Si on écarte le transport de la terre nécessaire à produire les adobes et le mortier des adobes et des briques cuites, on estime la part de budget dédiée au transport des matériaux à 5 à 6% du coût de la construction (hors apports en nature des bénéficiaires) :

		Adobe	BTC auto-bloquant (presse manuelle)	Brique cuite
Mortier de fondation terre	Estimation transport national (FBU)	100 000	350 000	140 000
	Estimation coût de construction hors apport en nature (FBU)	1 620 000	6 070 000	2 660 000
Mortier de fondation ciment	Estimation transport national (FBU)	120 000	370 000	160 000
	Estimation coût de construction hors apport en nature (FBU)	1 880 000	6 350 000	2 920 000

Ce budget comprend une part vraisemblablement importante pour le paiement de l'essence.

Dans le cas où la production de BTC se ferait à l'aide de presses hydrauliques, il faut compter une consommation d'essence de 15L de gasoil et 5L d'huile de moteur par jour et par presse, pour la production de 1000 BTC. Soit pour une maison (4100 BTC), 60L de gasoil et 20L d'huile de moteur. Soit un budget supplémentaire lié au gasoil et à l'huile de moteur de 450 000 FBU.

5.1.2.3.3 Pièces de rechange et entretien des équipements

Les presses hydrauliques peuvent parfois être réparées avec des pièces trouvées à Bujumbura, mais il est régulièrement nécessaire d'importer des pièces de rechange d'Ouganda, ce qui complique d'autant les réparations. Ces réparations sont actuellement pris en charge par le PNUD.

compte entraînerait donc une diminution encore plus nette de la proportion de capitaux investis localement et nationalement.

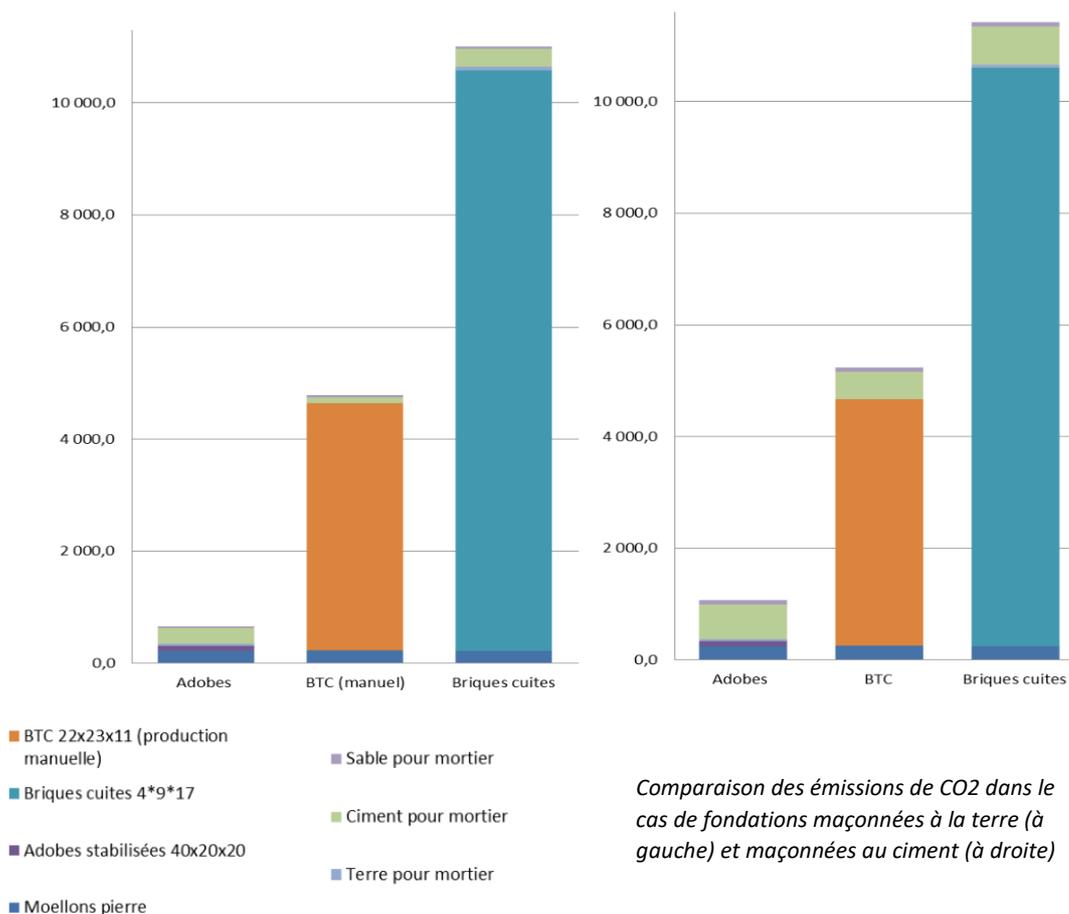
5.1.3 Analyse environnementale

5.1.3.1 Production de CO2

L'estimation de la production de CO2 présentée ci-dessous a été réalisée en tenant compte des émissions liées à la production et au transport des matériaux nécessaires à la construction des murs et fondations. Le graphe présente trois séries : la première pour la construction d'une maison en adobes, la deuxième pour celle d'une maison en BTC auto-bloquant produits à l'aide d'une presse manuelle, la troisième pour celle d'une maison en briques cuites.

Les hypothèses suivantes ont été faites relativement au distance d'acheminement des matériaux, de leur lieu de production ou d'entrée sur le territoire jusqu'à leur lieu de mise en œuvre (Kigwena) :

Distance (nationale)	km
Moellons pierre	25
Gravier	10
Terre pour adobe	0
Briques cuites	10
Terre pour BTC	10
Terre pour mortier	0
Chaux pour mortier	50
Ciment pour mortier	50
Sable pour mortier	25



Dans le cas de fondations maçonnées au ciment et pas à la terre, on a une augmentation de la production de CO₂ d'environ 550 kg_{éq}CO₂.

Dans le cas où une presse hydraulique serait utilisée pour produire les BTC, cela entraînerait une production de CO₂ supplémentaire de 160kg, par rapport à la production manuelle.

Dans le cas où la terre des adobes est trouvée sur place, cela permet d'économiser environ 230kg _{éq} CO₂, par rapport à la livraison d'une terre extraite à 10km.

5.1.3.2 Impact sur la déforestation

On estime à 35 stères la quantité de bois énergie nécessaire pour la construction d'une maison en briques cuites.

5.1.3.3 La ressource terre

Le nombre de m³ de terre excavé est du même ordre de grandeur pour les 3 techniques, même si sensiblement plus élevé pour les constructions BTC : environ 30 m³ pour adobes et briques cuites contre 35m³ pour BTC.

5.1.3.4 La consommation d'eau

La production d'une brique cuite nécessite environ 0,6 L d'eau⁶⁰, soit 10m³ d'eau pour la production des briques d'une maison. Par adobe de 40 x 20 x 20, il faut compter environ 10L d'eau, soit sensiblement la même quantité d'eau à l'échelle de la maison (10m³) que pour une construction en briques cuites.

Les BTC demandent très peu d'eau pour leur production mais beaucoup pour leur cure (112L/bloc actuellement, mais cela semble améliorable), soit 460m³ d'eau pour la maison.

5.2 Analyse des maisons construites dans la province de Muyinga

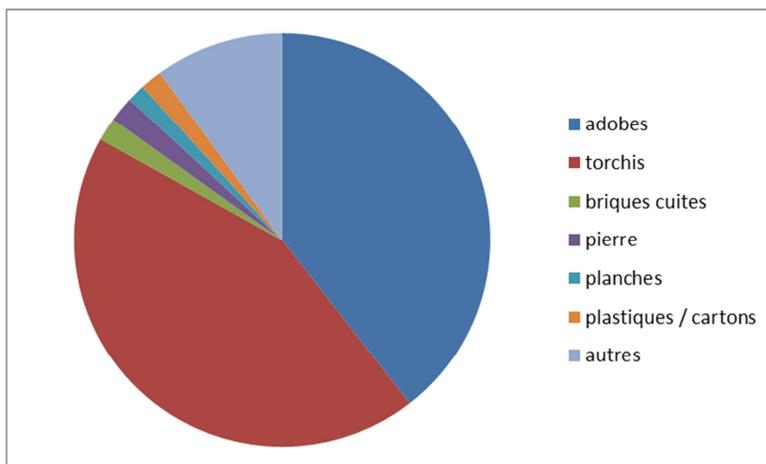
5.2.1 Le projet

La province de Muyinga se situe à l'extrémité orientale du territoire burundais et est limitrophe de la Tanzanie et du Rwanda. Les maisons y sont majoritairement construites en adobes et en torchis et ont un seul niveau.

Les toitures sont en tôles et en tuiles.

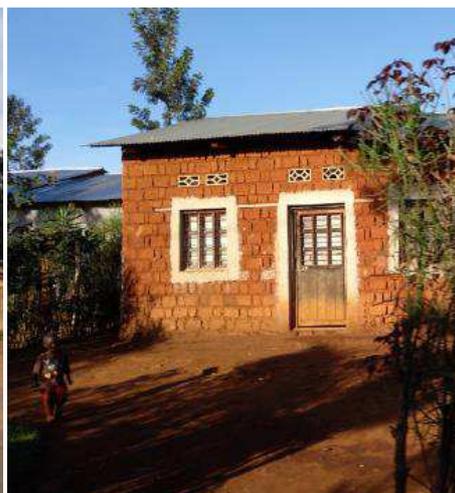


Localisation de Muyinga, extrait Google Map



Répartition des maisons par type de murs dans la province de Muyinga selon le recensement de 2008

⁶⁰ Rapport de l'étude sur «le genre et le travail dans le secteur de production des matériaux de construction», PROECCO 2013



Maisons en adobes à Buhinyuza (à gauche) et dans la province de Muyinga (à droite, crédit CRAterre)



Abri de fortune appelé blindé dans la province de Muyinga, (à droite, crédit CRAterre) et maison en torchis à Giteranyi



400 maisons ont été construites par la CRB en 2011 et 2012 sur la commune de Muyinga, puis 300 en 2013 sur celle de Buhinyuza, au sud de la ville de Muyinga. En 2014-15, c'est 125 nouvelles maisons qui ont été construites à Muyinga et autant à Buhinyuza. Le projet a été temporairement arrêté en 2016, puis a repris en 2017, avec la construction de 80 maisons à Giteranyi (au nord de la ville de Muyinga), puis 250 maisons achevées à l'automne 2018. Ces maisons sont construites sur les parcelles des bénéficiaires, et sont dispersées sur plusieurs collines (9 maisons par colline). Parmi les critères de sélection des bénéficiaires, il est exigé que leurs parcelles se situent près des routes pour permettre la livraison des matériaux. En 2019, la construction de 45 maisons est prévue.



Maison construite par la CRB en 2015 à Buhinyuza



Maison construite par la CRB en 2018 à Giteranyi

Les maisons construites depuis 2014 mesurent 6m par 8. La CRB fournit tout le matériel nécessaire à la construction de la maison, sauf les adobes, que le bénéficiaire doit fabriquer. La main d'œuvre pour maçonner les adobes est payée par la CR, mais les bénéficiaires sont censés aider les maçons, et ne sont pas rémunérés pour cela. Les bénéficiaires physiquement faibles représentaient près de 2/3 des bénéficiaires. Dans ce cas, ce sont des volontaires de la CRB qui les aidaient à produire les adobes. Il y a aussi eu des équipes d'entraides de bénéficiaires ou de voisins.

Les moules des adobes étaient fournis par la CRB qui souhaitait contrôler les dimensions : 40 x 20 x 20 (cm). Celles-ci ont été choisies car elles permettent une très grande rapidité d'exécution.

Les terres sont issues des parcelles des bénéficiaires (dont ils sont propriétaires). L'espace nécessaire pour faire sécher les adobes est chez eux ou chez les voisins, et ceci ne semble pas poser de problème⁶¹.

La CRB exige que toutes les adobes soient produites avant de démarrer le chantier, pour être sûr que le maçon puisse finir. Il n'est pas si simple de trouver de la main d'œuvre qualifiée, car beaucoup travaillent en Tanzanie (le projet se situe à proximité immédiate de la frontière).

Les bénéficiaires sont chargés de faire les enduits. Certains utilisent de la terre seule, et doivent les refaire régulièrement. D'autres ajoutent des fibres, ou utilisent du sable, des cendres et de la sève de plantes⁶².

5.2.2 Analyse financière

Le tableau ci-dessous synthétise les principales différences entre Kigwena et Giteranyi, en termes de coût de matériaux et main d'œuvre :

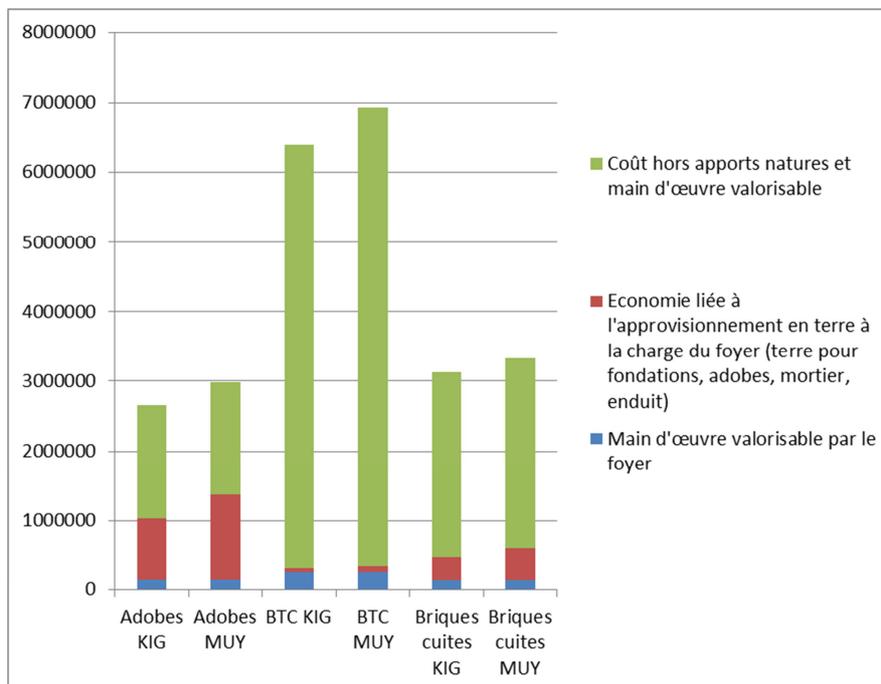
	Kigwena		Muyinga	
	Hors transport	Livré	Hors transport	Livré
Moellons (m3)	22 000	26 000	20 000	35 000
Graviers	16 000	20 000	30 000	45 000
Sable	16 000	20 000	25 000	40 000
Terre	21 000	25 000	20 000	35 000

Les autres coûts sont sensiblement les mêmes. On notera toutefois que les chantiers de construction dispersés ne se prêtent pas à une production de BTC sur chantier. En l'absence de filière BTC à Muyinga, les coûts de la

⁶¹ Entretien avec l'équipe CRB de Muyinga le 5/03/19

⁶² Une bénéficiaire a mentionné l'ajout d'une plante, Umurendarenda, comme renforcement efficace des enduits terre utilisés en intérieur et en extérieur.

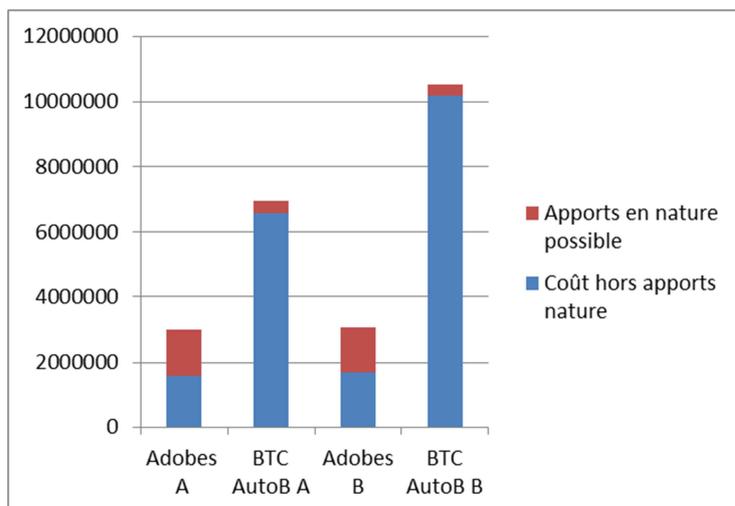
technique BTC à Muyinga ont été estimés à partir de ceux constatés à Kigwena, et seraient vraisemblablement à revoir à la hausse dans le cas où il faudrait déplacer les presses et les ouvriers qualifiés sur place, ou former de nouvelles personnes. Sans compter la difficulté logistique supplémentaire liée à une dispersion des chantiers.



Comparaison des coûts de construction à Kigwena et à Muyinga

Si l'on considère des fondations en moellons maçonnés au ciment, de 40cm de profondeur et 35cm de large, alors le coût hors apports nature et main d'œuvre valorisable (restant à la charge de l'organisation finançant la construction) augmente de 18% pour la construction adobes, 5% pour la construction BTC, et 11% pour la construction briques cuites.

Par ailleurs, le coût de l'eau considéré dans le scénario de référence (scénario A) de 2FBU/L, ce qui signifie que l'eau est disponible à proximité immédiate du chantier. Ceci ne semble pas être le cas pour la plupart des maisons visitées. Aussi une estimation financière a été réalisée avec un coût de l'eau à 10FBU/L, plus vraisemblable dans ce contexte (scénario B). Cela a relativement peu d'incidence sur le coût de la construction en adobes, mais induit une augmentation d'environ 50% sur le budget nécessaire pour une construction en BTC, en considérant les hypothèses actuelles de consommation en eau, qui semble très excessive (voir § 5.1.3.4 et § 6.1.5).



Comparaison des coûts de construction dans le cas où l'eau est disponible à proximité immédiate du chantier (scénario A) et dans le cas où elle est plus éloignée (scénario B)

Par ailleurs, le budget lié au transport des matériaux, qui est évalué à 5 à 6% du coût de construction (hors apports nature) dans le cas de Kigwena, représente 11 à 13% de ce coût dans le cas de Giteranyi.

5.2.3 Analyse environnementale

Les hypothèses suivantes ont été faites relativement au distance d’acheminement des matériaux, de leur lieu de production ou d’entrée sur le territoire jusqu’à leur lieu de mise en œuvre (Muyinga) :

Distance (nationale)	km
Moellons pierre	30
Gravier	30
Terre pour adobe	0
Briques cuites	30
Terre pour BTC	30
Terre pour mortier	0
Chaux pour mortier	50
Ciment pour mortier	50
Sable pour mortier	30

L’impact CO₂ est sensiblement le même qu’à Kigwena pour les constructions en adobes, alors que les autres techniques sont impactées par un transport plus important des matériaux (augmentation de l’empreinte carbone d’environ 10%).

Les autres indicateurs sont identiques à Giteranyi et à Kigwena (voir paragraphe 5.1.3).

5.3 Quelle généralisation possible ?

5.3.1 Variabilité prévisible des indicateurs en fonction des zones d’étude

Dans le cadre de cette enquête, deux cas ont été étudiés. L’un, Kigwena, se situe à proximité immédiate d’une route nationale. Les maisons y sont regroupés sur un site facile d’accès et à 1h30 / 2h de la capitale. L’autre, Giteranyi, est constitué de maisons dispersées sur un territoire d’une trentaine de km, accessibles par des routes secondaires parfois très détériorées, à environ 1h de route de la ville de Muyinga, qui se situe elle-même à 4h de la capitale. Dans ce paragraphe, on s’intéresse à la façon dont ces cas d’étude peuvent nourrir une réflexion similaire sur d’autres zones du pays.

Dans le cas où le projet se situe dans une zone d’accès difficile et / ou étendue, certains budgets devront être revus à la hausse. On peut illustrer cette augmentation par une comparaison entre la part de budget attribuée au transport de matériaux⁶³ dans le cas de Kigwena et dans celui de Giteranyi. Ce budget augmente considérablement, comme le montre le tableau ci-contre :

Budget transport (national)	Adobe	BTC auto-bloquant (presse manuelle)	Brique cuite
Fondations mortier terre - Kigwena	100 000	350 000	140 000
Fondations mortier terre - Giteranyi	190 000	860 000	300 000

En termes de transport, les matériaux les plus impactant sont les moellons, les briques cuites et la matière première pour la production des BTC. Dans le cas de fondations en moellons maçonnés au ciment, le sable

⁶³ Le transport de la terre nécessaire à la production des adobes, des briques cuites et des mortiers n’est pas inclus.

nécessaire pour la production du mortier est lui aussi impactant, et ce d'autant plus que la zone est peu accessible⁶⁴.

Enfin, un manque d'accessibilité augmente le risque de retards d'approvisionnement des matériaux importés. Ces retards induisent des arrêts temporaires de chantier, alors que de nombreux coûts fixes continuent, et donc une augmentation du coût par maison. Cela s'ajoute en plus à la difficulté pour les bénéficiaires de ne pas savoir quand la maison sera achevée, voire à des problèmes de dégradation des murs en chantier (en l'absence de tôles ou de ciment pour protéger certaines parties de la maison).

Il est aussi primordial de considérer l'accès à l'eau depuis le chantier (voir §5.1.3.4 et § 5.2.2).

Les productions d'adobes et de briques cuites demandent environ 600 L pour 1000 unités. La production de BTC ne nécessite pas d'eau pour la préparation du mélange, mais elle en consomme beaucoup pour la cure : 8L/jour et par bloc pendant 14 jours, soit 112L par unité. Cette consommation excessive semble toutefois pouvoir être réduite (voir §6.1.5).

Par ailleurs, la main d'œuvre qualifiée peut être difficile à trouver dans certaines zones. En particulier, pour les chantiers en BTC auto-bloquants, ce sont les mêmes artisans qui se déplacent avec les presses et pour l'élévation des murs. Leur déplacement a un coût que nous n'avons pu estimer dans le cadre de cette enquête.

5.3.2 Variabilité prévisible des indicateurs dans le temps

La variabilité des indicateurs dans le temps concerne principalement le coût des maisons.

L'augmentation des prix constatée lors de cette enquête est d'environ 20% en 3 ans pour les matériaux de construction non-importés et les salaires⁶⁵.

L'inflation est forte au Burundi, et se ressent d'autant plus fortement et plus brusquement sur les matériaux importés. Par exemple, les tôles ont augmenté de 60% en 4 ans, et les clous de 70%⁶⁶.

Par ailleurs, les importations peuvent être bloquées par le manque de devises permettant d'effectuer les transactions. Le Burundi étant un pays enclavé, ces importations sont aussi très dépendantes de la situation géopolitique régionale, relativement instable.

Les pénuries nationales d'essence sont régulières et s'ajoutent à la volatilité du cours du pétrole : les parts de budget des projets directement liés au transport de matériaux peuvent donc être affectées de manière importantes et difficilement prévisibles.

⁶⁴ Augmentation du budget transport, par rapport au budget indiqué dans le tableau, de 20 000 FBU à Kigwena, et de 40 000 FBU à Giteranyi

⁶⁵ Estimation qui s'appuie sur les archives comptables de la CRB et sur différents entretiens, et qui est du même ordre de grandeur que le taux constaté par le CICR depuis 2014.

⁶⁶ D'après les factures de la CRB.

6 Recommandations sur la production et la mise en œuvre des matériaux

Les recommandations suivantes ne sauraient être considérées comme des préconisations techniques. En particulier, les responsabilités du IFRC-SRU et de son consultant ne pourront en aucun cas être engagées en cas de litiges faisant suite à leurs applications.

6.1 Amélioration de la qualité de production

6.1.1 La zone de production

La zone de production doit être aplaniée, compactée et entourée de rigoles permettant de rediriger les eaux de ruissellement. Une réserve en eau à proximité facilitera beaucoup la production des matériaux.

Pour la production d'adobes, il est préférable de répartir une fine couche de sable, cendres ou de sciure sur le sol de la zone de séchage de façon à ce que les blocs n'adhèrent pas au sol en séchant.

Pour la production de BTC, il faut anticiper la cure en stockant les BTC sur des bâches (voir paragraphe 6.1.5).

Dans la zone de production visitée, les distances à parcourir pour amener les BTC des presses jusqu'à leur zone de séchage étaient très importantes, et beaucoup de personnes étaient nécessaires pour leur transport. Une optimisation de l'organisation de l'espace permettrait une production plus efficace.



Les terres réceptionnées à Kigwena doivent être protégées des pluies pour pouvoir être tamisées puis utilisées pour la production de BTC, crédit : crl



La zone de séchage des BTC est très étendue et le stockage des blocs demanderait à être mieux subdivisé pour bâcher les blocs plus rapidement après leur production et arrosage quotidien.

6.1.2 Le type de terre utilisée

Les matières organiques, que l'on trouve concentrées dans l'horizon de surface des sols, ont une structure ouverte et spongieuse et de faibles résistances mécaniques. De plus, cette terre sera beaucoup mieux valorisée par un usage agricole. La terre végétale doit donc être évitée pour la production des adobes et BTC. C'est en particulier le cas des terres noires rencontrées en bordure du lac Tanganyika.

Pour la production d'adobes, il faut privilégier les terres argileuses, puisque ce sont les argiles qui permettent de coller les grains entre eux. Toutefois, une terre trop argileuse présentera un retrait très important au séchage, avec des risques de fissures (qui peuvent éventuellement être corrigés par l'ajout de fibres). La présence de sable dans la terre permettra de limiter son retrait en séchant.

Pour la production de BTC, il est intéressant de privilégier les terres sableuses pour limiter les apports en sable et en ciment.

Il est recommandé d'effectuer des tests simplifiés permettant d'évaluer l'argilosité de la terre, tels que le test du cigare. Ce test doit être répété régulièrement dans le cas d'un sol hétérogène. Un contrôle de l'homogénéité du sol peut se faire simplement par décantation de sol dans une bouteille et comparaison avec une bouteille de référence⁶⁷.

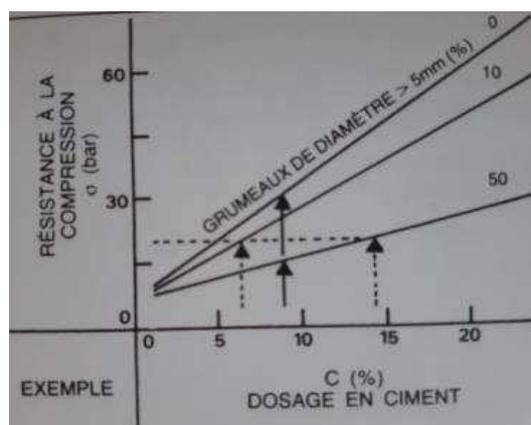


Selon la longueur du morceau qui tombe lorsque l'on fait glisser un cigare de terre d'environ 3cm de diamètre et 20cm de long (fabriqué en enlevant les particules de plus de 5mm de diamètre), on peut estimer l'argilosité de la terre : si la longueur est inférieure à 7cm, la terre est plutôt sableuse et a priori adaptée à la production de BTC, si la longueur est comprise entre 7 et 15cm, la terre est plutôt argileuse et adaptée à la production d'adobes.

6.1.3 La préparation du mélange

Il est préférable de tamiser la terre, pour écarter les grains de diamètre supérieur à 1,5 cm dans le cas des adobes, et à 1 cm dans le cas des BTC⁶⁸.

Lorsque l'on stabilise une terre, il est particulièrement intéressant de faire le mélange des matériaux à sec et de bien pulvériser la terre. Cela permet de limiter les agrégats de ciment et d'argiles, et rend d'autant plus efficace la stabilisation en permettant un mélange intime des constituants. Par ailleurs, le temps de retenue, entre le mélange des constituants et la compression des blocs, doit être réduite au minimum. Un temps de retenue



d'une heure entraîne déjà la diminution de la résistance mécanique des blocs de près de moitié⁶⁹. Il est donc conseillé d'utiliser le mélange dans la demi-heure. Dans la zone de production visitée à Kigwena, les tailles de grains semblaient suffisamment faibles pour ne pas nécessiter de pulvérisation supplémentaire. Par contre, malgré son stockage sous bâche et dans le hangar, la terre était humide. Cela signifie que le mélange terre / sable / ciment n'est pas fait à sec, ce qui rend difficile l'obtention d'un mélange homogène et intime des constituants et donc une stabilisation efficace.

Une bonne pulvérisation de la terre peut permettre d'obtenir les mêmes résistances mécaniques en ajoutant deux fois moins de ciment (extrait de CRAterre, 1989).

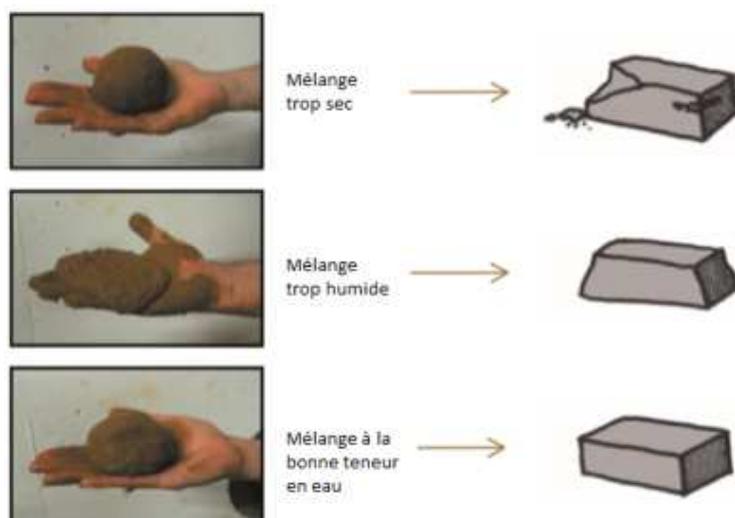
⁶⁷ Pour plus de détails, voir Production manual for the Great Lakes Region, SKAT, CRAterre et Confédération suisse, 2015, <https://craterre.hypotheses.org/3105>

⁶⁸ Cette valeur est à ajuster en fonction de la presse utilisée.

⁶⁹ Traité de construction en terre, CRAterre, 1989

La teneur en eau adéquate du mélange pour la production de BTC peut être estimée par le test de la boule⁷⁰. Il est important de la tester régulièrement car la teneur en eau initiale des composants (terre et sable) varie, et la quantité d'eau à ajouter (ou au contraire, la possibilité d'utiliser le mélange sans avoir à le faire sécher) en dépend.

En ce qui concerne la fabrication d'adobes, il est au contraire souhaitable d'avoir un temps de retenue relativement long. Cela permet aux argiles de s'imprégner d'eau et de jouer leur rôle de colle. On obtient classiquement de très bons résultats avec des temps de retenue de l'ordre de 12h, mais cela peut parfois être augmenté à plusieurs semaines, comme cela a été documenté en Ouganda pour la production d'adobes de très bonne qualité⁷¹. Bâcher le mélange pendant sa retenue permet de mieux contrôler sa teneur en eau. Celle-ci influe en effet sur la qualité des adobes moulées.



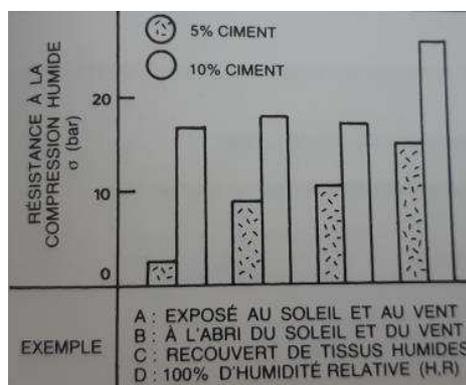
On peut estimer si la teneur en eau du mélange est adéquate en faisant vibrer une boule de mélange sur la paume de sa main et en jugeant son affaissement (d'après Production manual for the Great Lakes Region, SKAT, CRAterre et Confédération suisse, 2015).

6.1.4 Le moulage et démoulage des adobes

Lors du moulage des adobes, si l'on utilise un moule en bois, il est important de saturer le moule en eau en le trempant avant chaque moulage, de façon à ce qu'il n'absorbe pas l'eau du mélange, ce qui rend difficile le démoulage.

Pendant le moulage, il est important de presser les angles pour s'assurer du bon remplissage du moule dans ces zones sensibles.

6.1.5 L'importance de la cure des BTC



Les BTC stabilisés au ciment doivent d'abord être maintenus 14 jours dans un environnement très humide de façon à ce que le ciment puisse faire sa prise, avant de sécher en plein air. Cette phase de cure est primordiale pour obtenir un bon résultat final.

Lorsque le taux de stabilisation est relativement faible (5 à 7%), les conditions d'humidité des BTC pendant leur cure influencent beaucoup la résistance à la compression finale (extrait de Traité de construction en terre, CRAterre, 1989).

⁷⁰ Pour plus de détails, voir Production manual for the Great Lakes Region, SKAT, CRAterre et Confédération suisse, 2015, <https://craterre.hypotheses.org/3105>

⁷¹ Entretien avec O.Moles la 16/03/19.

Lors de cette enquête, il a été constaté que les quantités d'eau utilisées pour la cure des BTC étaient étonnamment élevées (8L/jour et par bloc). Il n'a pas été possible de juger de la qualité du bâchage effectué. Il serait souhaitable de travailler à l'obtention d'un bâchage plus hermétique et plus rapidement après la pose des blocs / leur arrosage, de façon à limiter cette quantité d'eau. Une diminution de cette quantité d'eau aurait un impact intéressant sur le coût des maisons en BTC : une consommation de 2L/jour et par bloc permettrait de réduire leur coût unitaire de 15 à 20%.

6.1.6 Le séchage des adobes

Lors du séchage des adobes, une exposition à un soleil trop direct peut augmenter leur fissuration et il est alors intéressant de les ombrager, avec des végétaux par exemple.

Lors de cette enquête, il nous a été mentionné une technique permettant de protéger les adobes des dernières pluies : il s'agirait de répandre sur les adobes démoulées au sol une fine couche de terre, retirée à la saison sèche. Cette technique serait à documenter si elle est effectivement déjà pratiquée, et à expérimenter (à petite échelle dans un premier temps), sinon. L'idée étant de permettre une production des adobes quand l'eau est encore disponible. Une alternative intéressante serait de creuser une fosse imperméabilisée par une bâche plastique (à l'heure actuelle, les bénéficiaires créent un bassin de stockage d'eau de cette manière, qu'ils remplissent à l'aide de bidons) en redirigeant les eaux d'écoulement vers ce bassin, et d'y stocker la terre nécessaire à la production des adobes pendant la saison des pluies, puis de protéger ces tas (bâche plastique) pour qu'ils conservent leur humidité en attendant la saison sèche. A l'heure actuelle, la CRB demande que les bénéficiaires produisent l'ensemble des adobes avant de démarrer le chantier, de façon à s'assurer que le chantier pourra bien être exécuté jusqu'au bout. Si les adobes sont effectivement produites pendant la saison sèche, cela raccourcit d'autant le temps disponible pour réaliser le chantier. On estime toutefois le temps de production des adobes à 5 jours, par une équipe de 3 personnes, ce qui reste relativement faible relativement à la durée de la saison sèche (juin – septembre). Dans le cas où il serait décidé de maintenir une production des adobes alors que le risque de pluies est encore important, il faudra s'assurer que la zone de production est protégée des eaux de ruissellement via la création de fossés périphériques.

Par ailleurs, la taille des adobes gagnerait à être réfléchi. Une diminution de leur taille faciliterait leur maniabilité (les adobes de 40 x 20 x 20 pèsent plus de 20kg), diminuerait la pénibilité du travail de production et de mise en œuvre, et cela accélérerait leur séchage.

Enfin, on rappelle que les adobes doivent être positionnées sur la tranche quand elles peuvent être manipulées sans déformation, de façon à permettre un bon séchage de toutes les faces.

6.2 Amélioration de la qualité de mise en œuvre

6.2.1 Le traitement des abords

Ce point est bien souvent considéré comme ne concernant pas directement la construction de la maison, alors qu'il est primordial pour la réussite du projet à long terme.

En particulier, il est crucial d'avoir un bon système de gestion des eaux de pluies à la parcelle. La maison doit être entourée de pentes franches vers l'extérieur, les eaux collectées dans des rigoles et évacuées. Il ne s'agit pas de creuser des fossés autour de la maison qui se transformeront en autant de retenues d'eau et zones d'infiltrations lors des grosses pluies. Il en va de la pérennité de la maison, et ce quel que soit le matériau utilisé pour la construction de ces murs. Les infiltrations d'eau favorisent les affaissements de sol et de maçonnerie, ainsi que les mouvements de sol, en particulier dans le cas de sols avec des argiles très actives.



Zone de stagnation d'eau à proximité immédiate de la construction (à gauche) et fosse de 2 à 3m de profondeur sur la parcelle, aux talus probablement très instables

Par ailleurs, les parcelles abritent bien souvent une ou plusieurs fosses creusées pour la production des adobes. Ces fosses représentent un danger pour les enfants et les animaux, et peuvent, en saison des pluies, favoriser la prolifération de moustiques. Enfin, leurs abords sont rendus particulièrement instables par les talus très pentus, et il faut impérativement éviter de les creuser à proximité des constructions, existantes ou à venir. Il semblerait pertinent d'encourager les habitants à extraire la terre nécessaire à la fabrication des adobes via un terrassement du terrain compatible avec une bonne gestion des eaux de ruissellement et des activités agricoles. On rappelle qu'il est préférable pour limiter l'érosion des sols, problème majeur au Burundi, de cultiver en terrasses plutôt qu'en pente⁷². La terre végétale doit être conservée avant d'être ré-étalée une fois la terre nécessaire extraite. Cette gestion des excavations peut être compliquée par le souhait de préserver une végétation existante, et doit être gérée au cas par cas, avec toute l'attention nécessaire.

De plus, il est nécessaire de comprendre comment les familles ont l'habitude d'utiliser les espaces extérieurs pour permettre un positionnement adéquat des bâtiments sur la parcelle et éventuellement intégrer des espaces ouverts protégés type auvent / galerie, particulièrement pertinente en climat équatoriale et observée à plusieurs reprises dans les zones traversées. Les galeries constituent par ailleurs des espaces qui peuvent facilement être fermés par la famille si besoin, en auto-construction.

Enfin, un traitement paysager de la parcelle est l'occasion de mettre en place des dispositifs paracycloniques tels les barrières végétales, voire planter des arbres utilisables ultérieurement pour des extensions ou réparations (par exemple du Grevillea⁷³).

⁷² Burundi Landscape Restoration Project, World Bank 2017

⁷³ Le Grevillea est un arbre populaire et polyvalent pour l'agroforesterie. Il peut être utilisé pour produire du bois de construction et du bois-énergie. Il se plante facilement et est capable de pousser dans des terres faiblement fertiles. Source : L'impact écologique des programmes de réfugiés / rapatriés soutenus par le Conseil Norvégien des Réfugiés au Burundi, ProAct Network, 2009



Maisons avec auvents à Giteranyi

6.2.2 Les fondations

Les fondations représentent un poste important de la construction, il est donc intéressant d'optimiser leur conception, même si celle-ci ne pourrait être confirmée qu'avec une évaluation de la capacité portante du sol.

Le système actuel de fondations sur les projets de la CRB à Muyinga est en adobes (non-stabilisées), entourées sur leur pourtour extérieur d'une couche de 20cm de moellons, qui remonte en extérieur pour protéger le pied des murs. Les constructions se situent dans des zones dans lesquelles il n'y a a priori pas de nappes affleurantes, et il ne semble pas y avoir de problèmes liés à des remontées capillaires.

Il ne s'agirait toutefois pas d'étendre cette pratique à des zones sujettes aux remontées d'humidité, puisqu'aucune barrière capillaire n'est prévue en pied de mur. De plus, les adobes utilisées pour les fondations ne sont pas stabilisées et sont donc sensibles à l'eau.

Il est préférable de construire les fondations en moellons. Pour la construction d'une maison à un seul niveau, et sauf si l'on est en présence d'un sol au comportement mécanique particulièrement défavorable, il suffit de maçonner les moellons à la terre. Des tranchées de fondations de 40cm de profondeur et 30cm de large suffisent généralement. Il est important de bien compacter le fond de fouille avant de commencer la maçonnerie des fondations.

Dans le cas où les moellons seraient difficiles à se procurer et la terre sableuse, des fondations en pisé stabilisé à 5% de ciment peuvent être intéressantes. Avec les hypothèses relatives au coût des matériaux et e la main d'œuvre dans cette étude, cela ne représente pas une source d'économie dans les contextes étudiés.

6.2.3 Le traitement du soubassement

Il est conseillé de construire le soubassement en moellons maçonnés au ciment. Le soubassement peut avoir la largeur du mur. Dans le cas où il est plus large, il faut prévoir une pente du débord de soubassement qui soit franchement vers l'extérieur pour éviter des stagnations d'eau au pied des murs.



La rigole entourant cette maison semble permettre une évacuation satisfaisante des eaux de ruissellement. Par contre, la pente au niveau du soubassement du mur n'est pas assez marquée, et entraîne la stagnation d'eau qui peut s'avérer très problématique pour la durabilité des murs. Par ailleurs, des débords de toiture plus importants seraient souhaitables, pour éviter un rejaillissement d'eau en pied de mur.

Il est important de prévoir une barrière capillaire, réalisée par exemple par l'intégration d'une bâche imperméable à la maçonnerie. Les matériaux situés sous la barrière capillaire doivent être résistants à l'humidité.

Dans le cas où les moellons seraient difficilement accessibles, il peut être intéressant d'utiliser des adobes stabilisées à 10% de ciment⁷⁴, des briques cuites de très bonne qualité ou des parpaings de ciment pour la construction des soubassements.



Maison en briques cuites (soubassement) et adobes près de Ruzo (région de Muyinga). Dans le cas d'une utilisation de briques cuites en soubassement, il est important d'utiliser des briques de bonne qualité, surtout si elles sont maçonnées au ciment. Des briques mal cuites se désagrégeront à long terme.

6.2.4 Le positionnement et l'ancrage des portes

Dans les maisons visitées, les portes se situent à proximité immédiate des angles et intersection entre murs, ce qui fragilisent ces zones pourtant cruciales pour un bon comportement de la maçonnerie en cas de séisme. Il est généralement admis qu'en zone sismique, les ouvertures doivent être espacées d'au moins 60cm, et se situent à au moins 60cm des angles et intersections de murs. Dans le cas contraire, les angles et intersections doivent être particulièrement renforcés.

Les portes sont ancrées dans la maçonnerie en adobes par des clous. Des habitants ont préféré resceller les cadres des portes au ciment. Il faut toutefois faire attention à soigner l'interface entre le ciment et la terre pour que l'adhérence soit correcte.

⁷⁴ On estime toutefois que cette solution engendre une consommation importante de ciment, qui dans nos cas d'étude engendre un surcoût important.



Cadre de porte rescellé au ciment par un habitant d'une maison livrée en 2018, crédit : crl



Une solution alternative peut être de maçonner les encadrements de portes avec des briques cuites, en insérant régulièrement des éléments bois entre les briques (maçonnés à la terre ou pour une meilleure résistance au ciment). Les cadres de porte sont alors cloués à ces éléments bois. Cette solution technique demande à ce que les dimensions des adobes et celles des briques cuites soient compatibles.



La compatibilité des modules des briques cuites et des adobes permet une mise en œuvre efficace d'une maçonnerie mixte. Photographies extraites de *Implementing a building with adobe* : Logbook, PROECCO program, SKAT, CRAterre et Amicor, 2015, <https://craterre.hypotheses.org/3105>

6.2.5 Le chaînage haut

En zone sismique, il est fortement recommandé de prévoir un chaînage haut dans les constructions en maçonnerie dès lors que l'élancement des murs est supérieur à 8 (voire 10 dans le cas où le mur est connecté à des murs perpendiculaires). En effet, les parties hautes de mur sont les plus sujettes aux déformations et un bon chaînage capable de travailler en flexion permet de reprendre une partie des contraintes hors plan et de limiter ces déformations.

Aucun chaînage n'est actuellement mis en œuvre sur les maisons construites à Muyinga alors que l'élanement des murs est de 15 à 20. Il est important d'en prévoir un. Plusieurs solutions sont possibles pour cela. Une possibilité consiste à couler du ciment entre deux rangées de briques cuites, entre lesquelles ont préalablement été insérés un tasseau en bois⁷⁵ ou des fers à béton. Il est conseillé d'améliorer la liaison entre le chaînage et le mur par la mise en œuvre d'une ou deux rangées d'adobes au-dessus du chaînage (le poids des adobes engendrant plus de friction à l'interface mur / chaînage) et / ou à l'aide de fils de fer noyés dans le ciment traversant la maçonnerie environ deux rangées d'adobes sous le chaînage, au travers de tubes en plastique (il s'agit d'éviter que le fil de fer ne scie les adobes en cas de sollicitations sismiques). Des fils de fer coulés dans le ciment du chaînage haut peuvent aussi servir pour l'ancrage de la toiture.

Pour les maisons déjà livrées, un chaînage haut pourrait être créé en tête de mur, après étayage de la charpente.



Photo extraite de *Implementing a building with adobe* : Logbook, PROECCO program, SKAT, CRAterre et Amicor, 2015, <https://craterre.hypotheses.org/3105>

Dans les maisons en BTC, deux fers plats cloués aux BTC font office de chaînage haut. Il s'agirait de vérifier l'adhérence entre les clous et les BTC pour juger de la pertinence de la solution mise en œuvre. Par ailleurs, un BTC de bonne qualité étant très dense, il est difficile d'y planter un clou sans le fendre. Cette solution constructive semble donc problématique. Il serait préférable de prévoir un chaînage haut du type de celui décrit pour la construction de maisons en adobes.

6.2.6 Le renfort des angles

Les ondes sismiques ne vont pas solliciter deux façades adjacentes de la même manière (leur rigidité par rapport à la direction des ondes étant très différentes), et les angles doivent donc assurer la connexion entre des éléments ayant des mouvements différents et sont donc le siège de contraintes importantes. Il s'agit donc de les renforcer par l'intégration d'éléments résistant à la traction, par exemple par des fers à béton ou des fils de fer barbelés que l'on aura préalablement pliés à angle droit.



Des fers à béton de diamètre 8 et de 1m de long sont insérés toutes les 3 ou 4 rangées d'adobe dans une maison modèle construite dans le cadre du programme PROECCO, au Rwanda. Ces maisons ont très bien résisté à un séisme de magnitude 5,6 ayant provoqué des dégâts sur les bâtiments limitrophes, à l'automne 2016⁷⁶. Photo extraite de *Implementing a building with adobe* : Logbook, PROECCO program, SKAT, CRAterre et Amicor, 2015, <https://craterre.hypotheses.org/3105>

⁷⁵ On évitera toutefois cette solution dans le cas où il y a un risque d'attaques de termites, le tasseau n'étant ni visible, ni facilement remplaçable.

⁷⁶ Entretien avec l'équipe SKAT du projet PROECCO à Bujumbura le 7/03/19.

Concernant les constructions en BTC auto-bloquant, la production de blocs de hauteur réduite (8cm au lieu de 11), possible grâce aux presses manuelles, devrait être envisagée. Ces blocs pourraient être maçonnés au mortier de ciment pour construire les angles des maisons, en intégrant régulièrement des fers à béton dans les lits de mortier.

Pour les constructions en BTC déjà livrées, les murs construits n'étant que très peu reliés entre eux et ayant un élancement important, ils doivent être considérés comme instables en cas de séisme. Il faudrait envisager de mettre en place des poteaux dans les angles pour soutenir la charpente en cas d'effondrement des murs, ainsi que des grillages en fil de fer sur la face intérieure des murs pour éviter un effondrement brusque de la maçonnerie à l'intérieur de la maison. Ces grillages devront être reliés au chaînage haut, et solidement attachés au mur, par exemple via des fils de fer entourant un BTC et le solidarissant ainsi au grillage. Ils pourront par ailleurs servir de support pour un enduit intérieur, améliorant ainsi leur tenue.

Par ailleurs, l'érosion à la pluie peut être forte et visible au niveau des arêtes du bâtiment. Il est donc intéressant d'intégrer des adobes stabilisées au ciment (at angle arrondi) ou des briques cuites pour maçonner les angles des maisons. Une intégration de briques cuites demande à ce que les dimensions des adobes et des briques cuites soient compatibles. Par exemple, des adobes de 9 cm de hauteur et de 18 cm ou 23 cm de large seraient compatibles avec les petites briques cuites (9 x 4,5 x 18). Ces maçonneries mixtes sont facilement valorisables esthétiquement.



Le coin d'une maison construite en adobes dans le cadre du programme PROECCO est renforcé par des briques cuites pour éviter l'érosion liée à de fortes pluies. Photo extraite de Implementing a building with adobe : Logbook, PROECCO program, SKAT, CRAterre et Amicor, 2015, <https://craterre.hypotheses.org/3105>

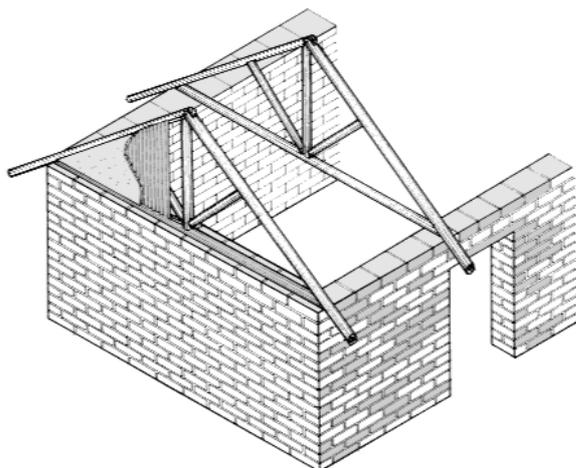
6.2.7 Le triangle supérieur du mur pignon

Cette partie des constructions avec toiture à deux pentes est très vulnérable en cas de séisme. Il est donc recommandé de la construire en torchis. Cela est aussi le cas pour les surélévations de murs que certains habitants réalisent à l'intérieur de leur domicile.

Pour les constructions déjà livrées, le risque d'effondrement du mur pignon à l'intérieur de la maison est relativement limité par la proximité immédiate d'une ferme de charpente. Un renforcement de la ferme ainsi qu'un enserrment du triangle supérieur des murs entre des éléments bois reliés par des fils de fer gainés traversant la maçonnerie sont à envisager.

Les surélévations de murs réalisés par certains bénéficiaires en adobes à l'intérieur de la maison sont particulièrement instable et dangereux en cas de séisme. Il faut envisager soit, de préférence, de les démonter et reconstruire en torchis, soit de les enserrer entre des éléments bois de part et d'autre du mur, reliés par des fils de fer gainés traversant la maçonnerie et reliés à la charpente.

Illustration extraite du Guide de construction parasismique, CRAterre, 2003, <https://craterre.hypotheses.org/393>



Une ferme de la charpente se situe à proximité immédiate du mur pignon et peut faciliter un renforcement de cette partie très vulnérable de la construction. Pour les constructions à venir, il est conseillé d'utiliser cette ferme pour réaliser le triangle supérieur du mur en torchis.

6.2.8 L'ancrage de la charpente

Les fers plats utilisés sont inaccessibles à la population, et les habitants utilisent d'autres solutions compatibles avec leurs moyens. Ces solutions pourraient être très satisfaisantes moyennant quelques améliorations relatives aux liaisons entre éléments. Il semble donc pertinent de travailler ces solutions abordables pour diffuser ces bonnes pratiques. Par exemple en apprenant aux habitants à réaliser des liaisons clouées efficaces, à réaliser des liaisons à mi-bois, à relier différents éléments à l'aide de fils de fer etc. En l'absence de linteaux, les éléments de charpente pourraient par exemple être accrochés à des fils de fer gainés par des tuyaux en plastique (de façon à ce que le fer ne cisaille pas la terre en cas de séisme) traversant la maçonnerie.



Solutions locales d'ancrage de la charpente : grâce à un élément bois la reliant au linteau dans une extension construite par un bénéficiaire de la CRB à Muyinga (à gauche) – grâce à des moellons et à du fil de fer dans le VRI de Bohomba (à droite)



Au niveau du mur pignon, la charpente est ancrée dans les murs en BTC grâce à un fil de fer relié à des clous. On notera que 2 des 4 clous sont être à l'origine de fissures dans les BTC, ce qui pousse à se questionner sur l'efficacité de cette technique (VRI de Bohomba).

6.2.9 La charpente

Les charpentes des constructions visitées, y compris les plus récentes, ne semblent pas optimisées. Trois fermes sont prévues, une centrale et une à chaque extrémité de la construction, qui ne semblent pas utiles en l'état (les pannes pouvant prendre appui directement sur les pignons) mais gagneraient à être conservées pour servir de support à un triangle supérieur des murs pignons en torchis.

De plus, les jonctions entre éléments bois ne sont pas satisfaisants (perches cylindriques reliées par un clou). Il est donc important de les retravailler, et ce pour réduire les coûts associés à la construction des charpentes (environ 10% du coût de construction hors apports nature des habitants dans le cas d'une construction en adobes), mais aussi pour apprendre aux habitants à faire des liaisons efficaces et construire ainsi des charpentes plus solides avec moins de bois. Du fil de fer peut aussi être utilisé pour contreventer une charpente.

Des liaisons combinant taille à mi-bois et cloutage multiples sont une piste de travail. On rappelle que le type de liaison doit être adapté à la façon dont elles sont sollicitées.



Les liaisons entre éléments bois doivent être améliorées pour renforcer les charpentes et optimiser le nombre d'éléments en bois



Détail de charpente réalisée par un des bénéficiaire pour la construction d'une extension dans la province de Muyinga. Le bois coûte cher et est difficile à se procurer pour la majorité des habitants.

6.2.10 Les débords de toiture

Les débords de toiture ne sont souvent pas assez importants, sur les annexes en particulier. Dans le cas des maisons, les débords n'empêchent pas un rejaillissement en pied de murs, mais les têtes de murs sont généralement bien protégés, ce qui n'était pas le cas pour plusieurs bâtiments annexes : un trop faible débord de toiture expose la tête des murs et en particulier la zone support de la charpente à des infiltrations d'eau concentrées, qui peuvent entraîner de rapides et importantes dégradations. Attention aussi à prévoir un recouvrement entre tôles suffisant pour éviter des infiltrations concentrées en cas de dégradation des tôles.



Les débords de toiture sont trop faibles pour limiter les rejaillissements en pied de murs. Dans le cas des annexes, il est souvent beaucoup trop réduit pour protéger y compris la tête des murs. De plus, les pentes autour des constructions ne permettent pas une évacuation efficace des eaux de pluie.

6.2.11 L'adhérence mortier / briques et le remplissage des joints

La résistance d'une maçonnerie dépend beaucoup de la qualité de l'interface entre blocs maçonnés et mortier.

Dans le cas des adobes, il est particulièrement important de mouiller les adobes avant d'appliquer le mortier.

Par ailleurs, il est important de bien remplir les joints verticaux. Dans le cas d'adobes de 20cm de haut, cela oblige à ce que le joint vertical soit d'au moins 3cm. Il serait intéressant de revoir à la baisse cette hauteur d'adobe pour faciliter le remplissage des joints verticaux. Cela permettrait aussi d'alléger l'adobe et donc de faciliter leur manutention.

6.2.12 L'entretien

Un bon entretien est primordial pour la durabilité de la maison, d'une part, mais aussi pour son bon comportement en cas d'aléas naturels, d'autre part.

L'entretien concerne principalement la toiture et les abords de la maison. Concernant la toiture, les tôles utilisées sont des matériaux chers, probablement hors de portée des plus vulnérables. Leur durée de vie est relativement longue, mais elles peuvent devoir être remplacées suite à une dégradation localisée ou entre autres suite à des vents violents.

Les tuiles (en particulier celles de qualité médiocre) et les végétaux sont des matériaux plus accessibles aux plus vulnérables, mais qui demandent des pentes plus importantes que les tôles pour leur mise en œuvre. Les tuiles demandent par ailleurs un renforcement des charpentes à cause de leur poids plus important.



Il est donc conseillé de maintenir une pente de toiture de 30°, comme cela a été fait dans les projets CRB visités. Cela laisse en effet plus de flexibilité dans le cas où le propriétaire serait amené à changer de matériaux de couverture.

Extension en torchis avec toiture tuiles dans le VRI de Bohomba (à gauche)



Extension avec toiture végétalisée dans le VRI de Kigwena. On notera la hauteur importante d'un des murs, qui diminue sa stabilité.



Couverture en bâches et végétaux à proximité immédiate du VRI de Kigwena. On notera l'absence de soubassement et l'humidité excessive en pieds de murs, qui est très problématique pour la durabilité de la maison. Entre autres mesures, les abords de la maison doivent être impérativement travaillés pour permettre une évacuation très efficace des eaux de pluie. Crédit : crl

Par ailleurs, aucune mesure d'entretien n'est prévue pour les constructions en BTC. On notera que les presses BTC ne restent pas sur place, et les habitants ne peuvent donc pas produire d'autres blocs au cas où ils auraient besoin de remplacer des blocs défectueux.

Enfin, on rappelle que la partie courante d'un mur en adobes ne souffre que très peu d'un ruissellement diffus d'eau. En particulier, il est conseillé de protéger les angles de la construction, les pieds et les têtes de mur, mais il n'est pas nécessaire de l'enduire sur toute sa surface, d'un point de vue technique. Certains habitants badigeonnent la façade extérieure de kaolin, une argile blanche que l'on trouve dans plusieurs zones du Burundi. Les enduits cimentés, quant à eux, demandent à être mis en œuvre avec soin sur des supports en terre, pour que l'adhérence de l'enduit soit bonne. Par ailleurs, l'enduit ne doit être que très peu dosé en ciment pour n'offrir que peu de résistance au passage de la vapeur d'eau et pour mieux adhérer au support⁷⁷. Un enduit épais et fortement dosé en ciment accrochera très mal au support, et dans le cas où l'on forcerait cette accroche par des éléments mécaniques⁷⁸, cela serait particulièrement mauvais pour le mur en terre car l'humidité qui remonte naturellement du sol et est dégagée par les occupants se trouverait coincée dans le mur en terre et pourrait s'y accumuler au point de le dégrader fortement.

⁷⁷ Par exemple 1 volume de ciment pour 3 volumes de chaux et 12 volumes de sable

⁷⁸ Par exemple en enduisant un grillage préalablement cloué au mur



Les habitants des maisons construites par la CRB sont responsables de l'application des enduits. Ici, un habitant mélange des argiles préalablement trempée pendant plusieurs heures à la terre locale pour enduire sa façade. Crédit : crl

6.2.13 La gestion des extensions

Dans le cas où les habitants réaliseraient des extensions des constructions, comme cela a pu être observé à plusieurs reprises dans les maisons visitées, il faudra s'assurer que les constructions sont soit disjointes, soit correctement connectées. Cela pour s'assurer de leur bon comportement en cas de séisme.

Dans le cas où elles seraient connectées, il faut s'assurer que l'intersection entre l'ancien mur et le nouveau mur est traitée avec soin et que la forme globale du bâtiment est régulière et compact. On recommande généralement que le bâti soit de forme rectangulaire, et que sa longueur n'excède pas 3 fois sa largeur.

Une possibilité pour assurer la jonction entre mur ancien et nouveau mur consiste à creuser les lits de maçonnerie de l'ancien mur au niveau de l'intersection et d'y insérer des éléments capables de travailler en traction / flexion tels que des morceaux de bois, de canne ou des fers à béton, sur 20 à 30cm de long, en laissant ces éléments dépasser du mur de 20 à 30cm, ce qui permettra de les intégrer à la maçonnerie du nouveau mur. Ceci exige que les lits de maçonnerie des deux constructions soient à la même hauteur.

On rappelle que les constructions en torchis se comportent généralement beaucoup mieux que les structures maçonnées en cas de séisme. Dans le cas où le bénéficiaire ne dispose pas du bagage technique suffisant et ne peut bénéficier d'un accompagnement pour la réalisation de son extension, cette solution constructive doit être privilégiée.



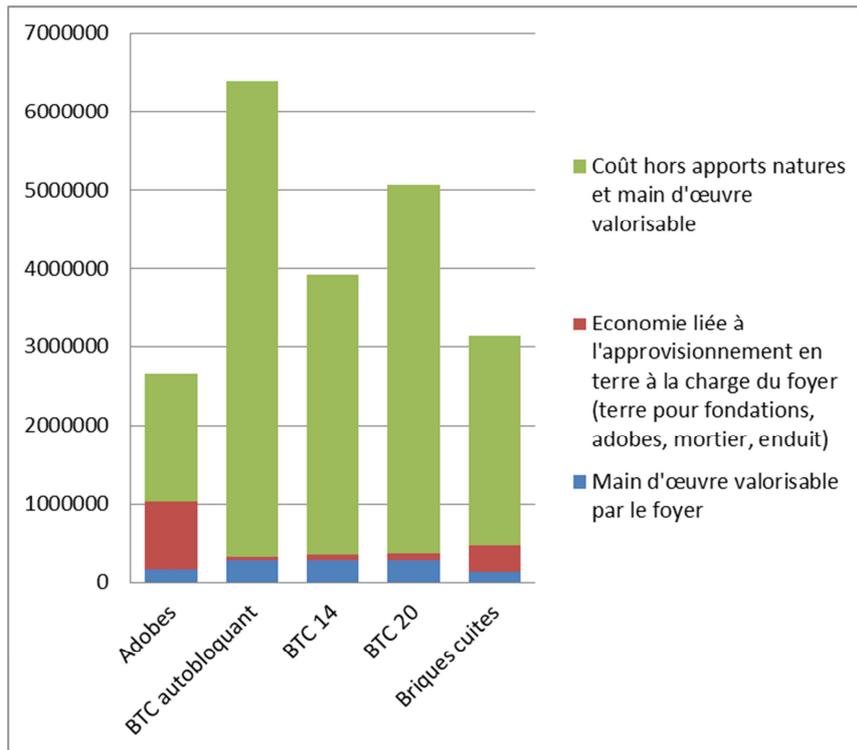
Exemple d'extension dans le VRI de Bohomba

6.2.14 L'alternative BTC maçonnés

Les BTC maçonnés représentent une alternative qui pourrait être intéressante dans certains contextes burundais. Ces blocs sont stabilisés et comprimés manuellement par des presses, mais avec des taux de compression inférieurs à ceux des BTC auto-bloquant, ce qui rend leur production moins pénible et diminue les quantités de terre, sable et ciment nécessaires. Leurs résistances à la compression restent tout à fait

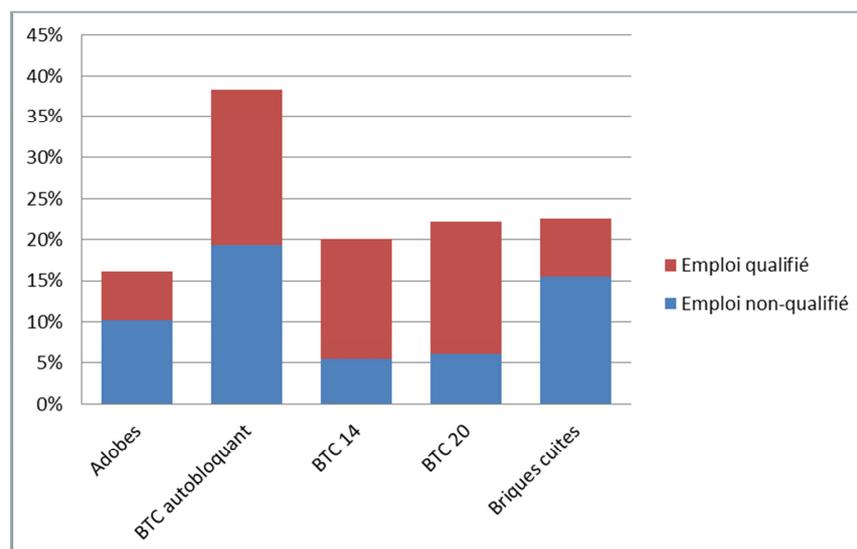
suffisantes pour la construction de maisons à un niveau. Ces blocs sont maçonnés avec un mortier terre / sable / ciment, avec une mise en œuvre proche de la maçonnerie classique. Il est toutefois recommandé de laisser la maçonnerie apparente, ce qui implique de nettoyer les murs au fur et à mesure de leur élévation. Cette technique a été utilisée dans les années 80 / 90 au Burundi, mais n'est pas répandue. Elle pourrait être relativement facilement ré-introduite car elle s'appuie sur des savoirs déjà présents : chez les producteurs de BTC auto-bloquant pour la gestion de la production, et chez les maçons classiques pour leur mise en œuvre, moyennant quelques ajustements.

Cette solution reste plus chère que la construction en adobes ou en briques cuites, mais est plus économique que celle en BTC auto-bloquant, et est plus satisfaisante techniquement. Deux tailles de BTC sont classiquement utilisées : des BTC de 29,5 x 14 x 9, qui permettent de faire des murs de 14cm d'épaisseur, qui nécessitent des contreforts, et des BTC de 20 x 20 x 9, qui permettent de faire des murs de 20cm d'épaisseur,



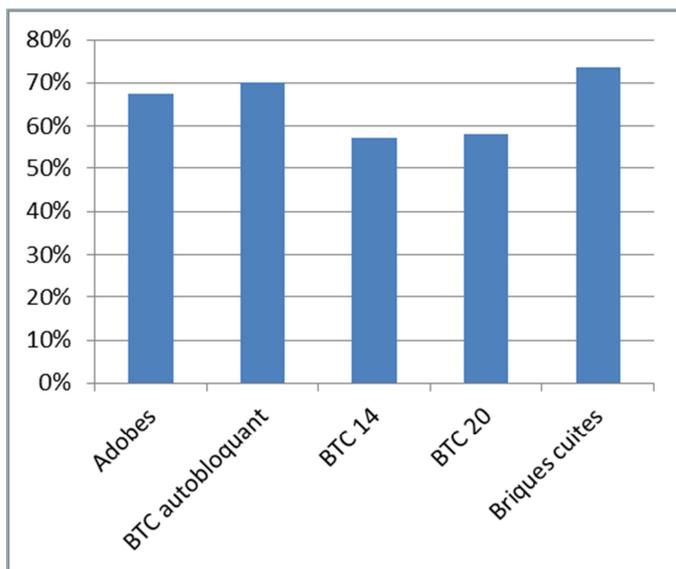
sans contreforts. Le renforcement de la structure par des contreforts fait partie des techniques de construction observées localement. L'utilisation de BTC est particulièrement intéressant dans le cas où un calepinage précis est suivi et les dimensions des murs adaptées au dimension du bloc. Cela peut éventuellement poser des difficultés, puisque ce n'est pas dans la manière de faire des artisans⁷⁹.

Comparaison du coût de construction en BTC (murs de 14 et 20cm d'épaisseur)

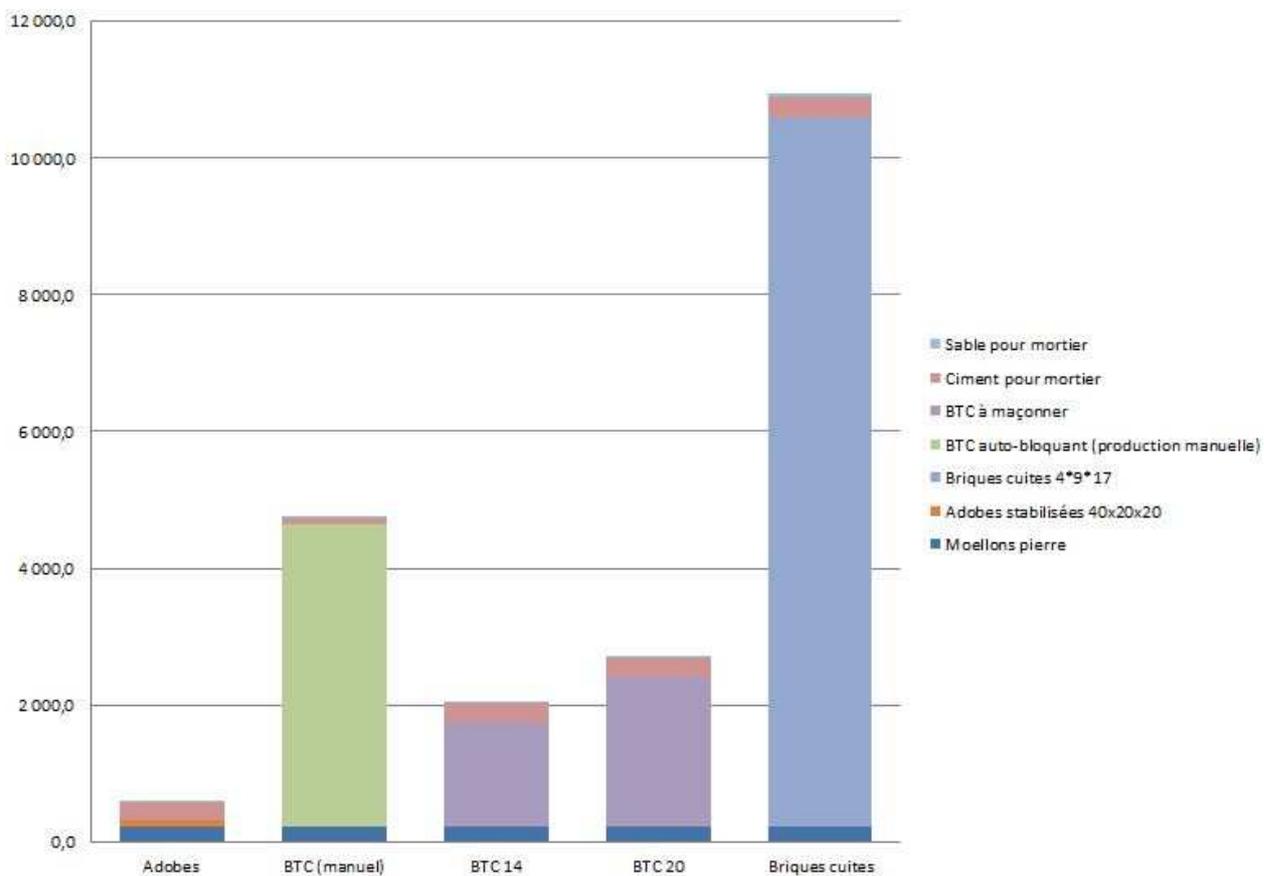


Comparaison des capitaux liés à la rémunération de main d'œuvre

⁷⁹ Cette difficulté a par exemple été rencontrée par les équipes de PROECCO pour la construction de bâtiments avec des briques perforées (Source : entretien avec l'équipe SKAT de PROECCO le 7/03/19 à Bujumbura).



Proportion du budget investi au Burundi (scenario : fondations maçonnées au ciment, à Kigwena)



Comparaison des production de CO₂ (en kgéqCO₂) des différentes techniques de maçonnerie

7 Conclusions

7.1 Synthèse des analyses financières et environnementales

Au point de vue économique, il y a un écart important entre les coûts de construction des maisons en adobes et briques cuites, d'une part, et les maisons en BTC, d'autre part : à budget égal, on peut construire environ deux fois plus de maisons avec les deux premières techniques qu'avec la troisième. Cet écart est encore plus marqué si l'on considère que les bénéficiaires participent bénévolement à certaines tâches de la construction⁸⁰.

Au-delà du coût de construction, il est important de s'intéresser à la part de budget qui couvre la rémunération de main d'œuvre. Celle-ci est aussi plus élevée dans le cas d'une construction en BTC, car le besoin en main d'œuvre qualifiée et leur niveau de rémunération sont importants. Cet indicateur gagne à être complété par deux autres indicateurs pour comprendre le soutien des projets à l'économie locale : l'argent investi à l'échelle nationale et l'argent investi à l'échelle locale. Si les sommes investies dans l'économie nationale sont sensiblement les mêmes pour les trois techniques, les sommes investies localement sont beaucoup plus fortes avec les techniques adobes et briques cuites (plus de matériaux locaux et de main d'œuvre locale).

Par ailleurs, un indicateur clef pour comparer l'impact environnemental de ces trois techniques est la production équivalente en CO₂.

Le tableau suivant synthétise ces résultats en fonction de la technique constructive sélectionnée, dans le cas d'un investissement de 100 000 000 FBU :

Budget investi (FBU)	Kigwena			Muyinga		
	Adobes	BTC auto-bloquant	B Cuites	Adobes	BTC auto-bloquant	B Cuites
100 000 000						
Nombre de maisons construites (sans apports des bénéficiaires)	37,7	15,6	31,9	33,4	14,4	30,1
Nombre de maisons construites (avec apports des bénéficiaires)	61,5	16,5	37,6	62,1	15,2	36,9
Rémunération de main d'œuvre (FBU)	16 067 884	38 288 656	22 583 524	14 269 325	35 295 479	20 532 066
Argent investi nationalement (FBU)	73 403 220	70 428 042	78 469 306	75 878 372	69 791 081	79 280 780
Dont argent investi localement (FBU)	58 586 810	13 012 565	65 200 548	63 039 854	13 121 661	66 368 479
kgéqCO ₂ émis	26 112	75 924	351 336	23 059	83 278	339 288

7.2 Synthèse des recommandations techniques

Un certain nombre de recommandations techniques font suite à la visite de différents projets et aux entretiens réalisés. Les principales recommandations sont reprises ci-dessous :

- La qualité des adobes et BTC produits dépend en partie de l'étape de préparation du mélange. Si de nombreux aspects de cette étape semblent maîtrisés, il est toutefois conseillé de diminuer le temps de retenue dans le cas des mélanges de terre stabilisés (pour la production de BTC) et de l'augmenter dans le cas de terre non-stabilisée (pour la production d'adobes). La terre doit être la plus sèche possible lors de la préparation du mélange pour BTC ; en saison des pluies, il semble que les artisans aient du mal à obtenir une terre suffisamment sèche, ce qui réduit d'autant l'efficacité de la stabilisation. Pour la production des adobes, la terre pourrait être extraite et stockée humide à la fin de la saison des pluies, avec un moulage au début de la saison sèche.

⁸⁰ Apport de la terre nécessaire à la production des adobes et du mortier de maçonnerie, participation au chantier comme main d'œuvre non-qualifiée à hauteur de 90 jours.

- La cure des BTC demande des quantités d'eau très importante. Cette étape est primordiale pour la qualité finale du produit. Il est donc nécessaire de revoir les modalités de cette cure (scellement des bâches, délais avant de recouvrir les BTC après humidification) pour éviter une évaporation de l'eau.
- Les abords des maisons doivent être soignés et entretenus afin de garantir une très bonne gestion des eaux à la parcelle. Il s'agit en particulier d'éviter les zones de stagnation à proximité immédiate des maisons. Par ailleurs, il est indispensable de mieux planifier les terrassements nécessaires à l'extraction de la terre sur la parcelle pour éviter la production de fosses. Une réflexion doit aussi être menée sur l'intégration d'espaces extérieurs abrités du soleil et de la pluie.
- Les fondations des constructions doivent être construites en moellons. Il n'est pas tout le temps nécessaire de les maçonner au ciment. Par contre, il est vivement conseillé de construire le soubassement en moellons maçonnés au ciment, et dans le cas où ce soubassement aurait un débord, que celui-ci ait une pente forte vers l'extérieur pour éviter les stagnations d'eau en pied de mur.
- Il est vivement recommandé de revoir les dimensions des adobes utilisées. En particulier, des dimensions compatibles avec les dimensions des briques cuites s'avèrent très intéressantes pour construire des maçonneries mixtes, avec intégration de briques cuites (de bonne qualité !) à certains emplacements stratégiques.
- Le Burundi a une activité sismique suffisante pour justifier l'intégration de dispositifs parasismiques dans les constructions. En particulier, il est indispensable de renforcer les angles des constructions en BTC, qui sont à l'heure actuelle très vulnérables. Le chaînage haut utilisé (fers plats cloués aux BTC) semble être aussi problématique. Dans le cas des constructions en adobes, il est aussi recommandé de prévoir un chaînage haut et des renforts dans les angles. Par ailleurs, il est recommandé de construire le triangle supérieur des murs pignons en torchis.
- L'ancrage des charpentes se fait à l'heure actuelle à l'aide de fers plats, inaccessibles à la population, alors que des solutions locales existent et ne demanderaient que de légères améliorations pour être très efficaces. Ce sont ces solutions locales que les habitants mettent en œuvre et il est donc recommandé de profiter des constructions encadrées pour diffuser ces améliorations, pour un meilleur impact du projet à long terme, d'une part, et sur une plus large population, d'autre part.
- Les charpentes actuelles ne sont pas optimales d'un point de vue de la consommation en bois. De plus, les liaisons entre éléments doivent être améliorées.
- Les débords de toiture sont généralement corrects sur les constructions principales, mais trop faibles sur les annexes.
- Il est conseillé de maintenir des pentes de toiture de 30° (comme c'est le cas dans le cadre du projet de Muyinga), même si cela n'est pas strictement nécessaire avec une couverture en tôle. En effet, les habitants n'ont généralement pas les moyens d'acheter des tôles et se tournent vers d'autres matériaux en cas d'extensions ou de réparations. Il est donc important de garder une certaine flexibilité de la charpente.
- En partie courante de murs, un enduit n'est pas nécessaire d'un point de vue technique. Dans le cas où il serait décidé d'appliquer un enduit cimenté, il est important de garder des taux de ciment très faibles, et de ne pas ancrer d'enduit ciment trop épais et trop dosé par des liaisons mécaniques. Cela pourrait en effet avoir des conséquences désastreuses sur la tenue du mur, en piégeant l'humidité au sein des murs.

- Enfin, l'alternative technique que représente les BTC maçonnés (et non auto-bloquant) pourrait être intéressante dans le cadre de certains programmes. Cette alternative reste toutefois plus chère que les constructions en adobes, et avec un impact CO₂ plus important. Techniquement, elle est intéressante car plus en continuité des pratiques existantes que les BTC auto-bloquant.

7.3 Réflexion sur les critères de choix d'une technique

Les quatre techniques de maçonnerie considérées dans cette étude ont été évaluées en fonction de différents indicateurs (voir paragraphe 4.2.3 et 7.1). Cette évaluation doit être complétée par une réflexion menée en considérant d'une part la pertinence de sélectionner une technique en continuité des cultures constructives locales⁸¹, et d'autre part les éléments suivants :

- Les murs représentent généralement 10 à 15% du budget nécessaire pour la construction d'une maison, légèrement plus si l'on exclut plomberie et électricité. Et le budget nécessaire pour la construction de la maison doit être lui-même relativisé par rapport au coût global du projet et en particulier au coût représenté par la nécessité de former des artisans à de nouvelles techniques et d'assurer un encadrement technique fort, d'autant plus lorsqu'on fait appel à une expertise internationale. Il est donc important d'améliorer les compétences existantes plutôt que de développer de nouveaux systèmes constructifs qui demanderont de nombreuses années et un encadrement fort pour être maîtrisés.
- Ces projets sont l'opportunité d'investir des sommes importantes dans l'économie locale, voire de soutenir des foyers via des programmes de *cash-for-work*. La pénibilité des emplois créés et leur compatibilité avec d'autres activités de subsistance doivent toutefois être prises en compte.
- Il est dangereux de s'appuyer sur des systèmes constructifs performants mais qui n'ont que de faibles tolérances aux erreurs de production ou de mise en œuvre, en particulier en exécution (de nombreux aléas de chantier peuvent arrêter momentanément les travaux avec des murs instables ou non protégés), en cas de manque d'entretien (par manque de volonté ou parce que l'entretien prévu s'avère trop cher) et vis-à-vis des aléas naturels, en particulier sismique au Burundi.
- Il est important de s'interroger sur la durabilité du bâti souhaité, qui est déterminée par la conformité de sa conception et de sa réalisation avec les règles de l'art, l'utilisation de matériaux de bonne qualité et l'entretien du bâtiment. Les deux premiers points sont généralement financés et encadrés par les projets, mais le dernier sous la responsabilité (technique et financière) des habitants. Il est donc primordial pour la bonne réussite du projet à moyen et long terme que cet entretien soit à leur portée. On rappelle que l'entretien d'une maison bien conçue réside principalement dans l'entretien de ses abords et de sa toiture. La réfection d'un enduit est généralement esthétique plus que technique.
- Les projets d'aide touchent une faible proportion des ménages concernés mais constituent l'opportunité de diffuser de bons (ou de mauvais) messages techniques. Les dispositifs techniques mis en œuvre sous la responsabilité d'organismes gouvernementaux ou internationaux bénéficient souvent d'une aura positive qui pousse les habitants à les copier, souvent partiellement et tout en les adaptant à leurs moyens. Si les dispositifs utilisés sont hors de leur portée (financière et technique), leur déformation ou leur utilisation parcellaire pourra s'avérer contre-productive voire dangereuse pour les habitants.
- Enfin, le secteur de la construction est considéré comme un des responsables majeurs de la production de CO₂ au niveau mondial et est bien souvent un des principaux responsables de la dégradation de l'environnement local. Il contribue aussi à la pollution de l'air, lors de la production et

⁸¹ Voir à ce sujet les fiches Shelter Response Profiles développées par CRAterre dans le cadre du Promoting Safer Building working group du Global Shelter Cluster. Exemple de la fiche développée avec le Shelter Cluster de République Démocratique du Congo : <https://craterre.hypotheses.org/3174>

des transports de matériaux. A l'échelle de l'habitat, les matériaux utilisés participe à la qualité de l'air intérieur. En particulier, la terre crue apparente permet une très bonne régulation de l'humidité au sein du logement et n'émet pas de polluants, ce qui en fait un matériau particulièrement intéressant pour l'obtention d'une bonne qualité d'air intérieur.

8 Liste des acronymes

BTC : Bloc de Terre Comprimé

CRB : Croix Rouge du Burundi

crl : croix rouge luxembourgeoise

FBU : Franc Burundais

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

PROECCO : Promoting Off-farm Employment in the Great Lakes Region through Climate Responsive Construction Material Production

RDC : République Démocratique du Congo

UNHCR : Haut Commissariat aux Réfugiés des Nations Unies

VRI : Village Rural Intégré

9 Bibliographie

- Acquier Jean-Louis, 1986, Le Burundi, Collection Architectures traditionnelles, Editions Parenthèses
- Bizimana Frédérique, 1984, Construction en terre au Burundi – Conference paper « Earth construction technologies appropriate to developing countries »,
- CRAterre, 2003, Guide de construction parasismique, <https://craterre.hypotheses.org/393>
- CRAterre, 2018, Appui A La Definition Et A La Preparation D'un Programme D'infrastructures Scolaires Au Burundi – Rapport final
- CRAterre, 2018, Shelter Response Profiles, République Démocratique du Congo, <https://craterre.hypotheses.org/3174>
- CURDES, Université du Burundi, Pascal Rutake et Faustin Musare, 1987 Etude de la filière terre / terre cuite
- FAO Aquastat, 2005, Fiche pays Burundi
- IFRC-SRU, 2013, Shelter solution - Burundi
- IFRC-SRU, CRB, srl, 2013, Améliorations Des Techniques De Construction Au Guide De L'habitat Actuel
- Information, Counselling, Legal Assistance (ICLA) Conseil Norvégien pour les Réfugiés (CNR), 2008, L'impact écologique des programmes de réfugiés / rapatriés soutenus par le Conseil Norvégien des Réfugiés au Burundi
- Information, Counselling, Legal Assistance (ICLA) Conseil Norvégien pour les Réfugiés (CNR), 2008, Rapport d'enquête sur plusieurs types de villages et collines au Burundi 2006-2008
- Ministère de l'Intérieur, République du Burundi, 2008, Recensement Général De La Population Et De L'habitat Du Burundi
- PROECCO, 2013, Rapport de l'étude sur « le genre et le travail dans le secteur de production des matériaux de construction »
- PROECCO program, SKAT, CRAterre et Amicor, 2015, Implementing a building with adobe : Logbook, <https://craterre.hypotheses.org/3105>
- République du Burundi, Standards techniques pour les Villages Ruraux Intégrés – Edition 2013
- UNHCR, 2006, Plan d'opération par pays – Burundi
- World Bank, Serge Theunynck et Hervé Rabakoson, 2017, Constructions scolaires pour l'École Fondamentale dans le contexte du Plan Sectoriel de Développement de l'Education et la Formation (PSDEF), Contraintes et Opportunités - Défis et pistes pour l'avenir
- World Bank et Terrafrica, 2017, Burundi – Analyse environnementale du pays
- World Bank, 2018, Addressing Fragility And Demographic Challenges To Reduce Poverty And Boost Sustainable Growth Systematic Country Diagnostic

Sites internet :

Géologie du Burundi : <http://bi.chm-cbd.net/biodiversity/presentation-du-burundi/aspects-physiques-du-burundi/geologie-et-pedologie-du-burundi>

Technique de construction pour les écoles : www.frenchchina.org : Burundi : validation de normes scolaires destinées à améliorer l'accès à une "éducation de qualité", 2018

Think Hazard (<http://thinkhazard.org/fr/report/43-burundi/EQ>).

Programme PROECCO et recensement des briquetteries :
<http://madeingreatlakes.maps.arcgis.com/apps/MapTools/index.html?appid=7e4e9a0bed1e4e65984559fdcae5b54>

Avancement des travaux du camp de Nyankada : <https://coped.org/2018/08/22/les-activites-de-construction-du-camp-nyankanda-sont-a-un-niveau-tres-satisfaisant/>

10 Table des annexes

1. Termes de référence de la mission
2. Déroulé de la mission et personnes rencontrées
3. Détail du quantitatif utilisé pour les analyses économiques et environnementales
4. Grille d'analyse économique
5. Grille d'analyse environnementale
6. Synthèse de la collecte de prix
7. Estimation des coûts de production des BTC auto-bloquant

Remerciements

Cette enquête a bénéficié du soutien de nombreuses personnes que je tiens à remercier vivement, et en particulier :

- *Antonella Vitale, du IFRC-SRU, Michèle Schmit et Tharcisse Ndimurwanko, de la croix-rouge luxembourgeoise, pour leurs soutiens techniques et logistiques ;*
- *CRAterre, et en particulier Olivier Moles, Alexandre Douline, Majid Hajmirbaba, Christian Belinga Nko'o, Enrique Sevillano Gutierrez, Grégoire Paccoud et Thierry Joffroy, pour m'avoir permis de bénéficier de leurs bases de données, de leurs conseils et de leurs expertises ;*
- *La Croix Rouge du Burundi pour m'avoir accueilli et aidé dans ma collecte de données, en particulier Eddy, Eric, Odasse, Jean Berchmans, Jacques et Dany ;*
- *Les producteurs de matériaux, artisans et habitants rencontrés pour leur aide et leur accueil.*

Page de couverture : *Maison livrée en 2015 par la Croix Rouge du Burundi à une habitante de la province de Muyinga.*

Crédits photographiques :

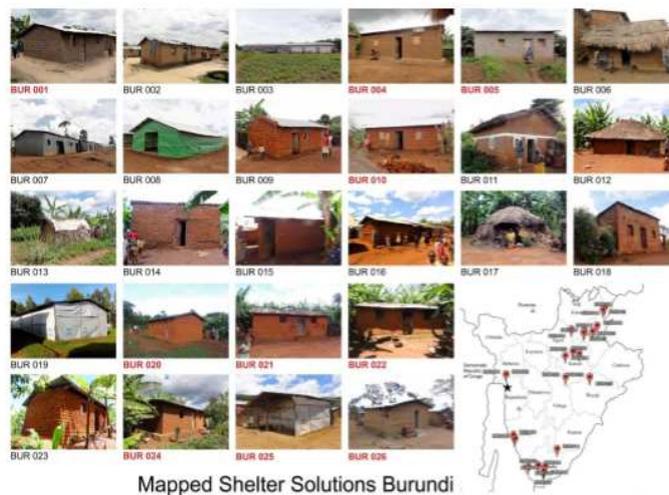
Eugénie Crété, sauf mention explicite



Comparative evaluation of earth based construction techniques in Burundi
TERMS OF REFERENCE
TERMES DE REFERENCE ET OFFRE CONSULTANTE

1. Background/Contexte

En 2011, la Fédération Internationale de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge - Shelter Research Unit (FICR SRU) a réalisé une étude pilote au Burundi avec pour objectif de documenter les différents types d'abris existant au Burundi. Le recensement et la documentation de 24 différentes solutions d'abri ainsi que différentes techniques constructives au Burundi y mènent à trouver des solutions et des innovations adéquates pour en améliorer la durabilité et la solidité de ces abris.



À la suite des recommandations de cette étude, la Croix-Rouge du Burundi et la Croix-Rouge du Luxembourg ont organisé, avec l'appui technique de l'IFRC-SRU, un atelier dans le but de revoir le modèle de maison actuellement utilisé, qui avait été établi par le HCR et d'identifier les améliorations possibles.

Cet atelier s'est tenu à Bujumbura du 22 au 24 avril 2012 et cinquante participants venu des différentes organisations¹ intervenant dans le secteur de l'habitat au Burundi y ont participé durant 3 jours.

Au cours de cet atelier, les participants ont consensuellement établi un répertoire de toutes les bonnes pratiques à promouvoir dans la construction d'abris ruraux afin de quitter l'urgence et s'inscrire plutôt dans la logique de développement et de durabilité.

Un des résultats de cet atelier est un document mentionnant toutes les recommandations et améliorations proposées par les participants. Ces améliorations résultent des expériences acquises sur terrain, des lacunes observées et des solutions proposées pour y remédier et sont d'application actuellement pour les projets mis en œuvre par la Croix-Rouge du Burundi.

En 2014, la Croix-Rouge du Burundi en collaboration avec la Croix-Rouge du Luxembourg a introduit un projet d'urgence pour appuyer les victimes des inondations de Cashi et Gitaza mais des divergences ont surgi entre elle et les autorités du Ministère en charge de la réhabilitation

¹ Terre des hommes, EELCo, CTB, World Outreach Initiatives, Université du Burundi, UNHCR, UNICEF, Coped, Fédération luthérienne mondiale, PARESI, Skat, CR du Burundi, CR B, CR Lux., IFRCs-SRU, CR Allemande, CR, Rwanda, CR RDC NK, CR RDC SK, IFRC.



des victimes des inondations au sujet des briques à utiliser pour la construction des abris à Rumonge.

La Croix-Rouge du Burundi proposait la construction avec des briques adobes alors que le Ministère en charge de la réhabilitation avec des briques compressées, stabilisées au ciment.

C'est de là qu'est née l'idée de tenir un autre atelier réunissant les différents acteurs de l'habitat au Burundi pour revisiter le guide de construction et les conclusions de l'atelier de 2012, actualiser les devis et proposer les matériaux de construction les plus appropriés, particulièrement pour la construction des murs (briques en terre crues – compressées – cuites).

2. Global objectives/Besoins

Selon le plan de réponse humanitaire de 2018 il y a 440.000 personnes dans le besoin d'abri et articles non-alimentaires au Burundi. Il y a une estimation de 60'000 de rapatriés et retournés de la Tanzanie en 2018, en outre des 187'626 PDI dont 42'416 ménages déplacés. Ces personnes affectées manquent souvent les moyens financiers et l'appui pour réparer ou reconstruire leurs maisons. En outre, la présence des déplacés dans des familles d'accueil accroît la vulnérabilité de ces derniers.

C'est pourquoi l'étude SRU se tient dans le contexte des retournés, rapatriés, familles hôtes et déplacés internes au Burundi.

3. Specific objectives/Objectifs spécifiques

- Mener une analyse comparative de l'impact environnemental et climatique (production de CO² notamment) de différents types de construction, en particulier des murs (briques en terre crues – compressées – cuites) sur deux sites au Burundi.
- Développer une méthode d'analyse et des outils qui pourront ultérieurement être appliquée à l'ensemble du pays.
- Proposer des critères de choix et définir des indicateurs permettant de faire un choix informé des options techniques les plus appropriées pour la construction des murs des maisons tenant compte des différents contextes du Burundi (contraintes environnementales, socioéconomiques, de durabilité et de la disponibilité des matériaux, matériels et des compétences locales) et les restituer dans un rapport de mission et lors de l'atelier (dates encore a confirmer).
- Relever les prix pour les différents matériaux de construction et réaliser une matrice comparative entre différentes sources d'approvisionnement afin de déterminer des prix unitaires moyens par maison tenant compte des procédés de fabrication.

4. Methodology /Méthodologie

Préparation de la collecte de données

Recherche exploratoire

L'objectif de cette première étape est de comprendre le fonctionnement général des différentes filières de matériaux au Burundi, de définir les indicateurs qui permettront d'analyser ces matériaux et pratiques constructives et d'identifier les outils et les sources à mobiliser pour la collecte de données. Il s'agit d'une étape cruciale pour mettre en œuvre les moyens de collecter



des données fiables et suffisantes pour conduire une analyse logique, cohérente et complète et, au final, pour répondre aux objectifs de l'enquête.

Pour mener cette analyse du contexte, des données à collecter, ainsi que des outils et sources disponibles, le consultant s'appuiera en particulier sur une recherche bibliographique, l'expertise d'interlocuteurs clés tels que ses interlocuteurs du réseau Croix Rouge Croissant Rouge et celle de l'association CRAterre.

Dans un premier temps, il serait souhaitable de mettre à disposition du consultant les résultats de l'enquête relative aux différents types d'abris rencontrés au Burundi réalisée en 2011, ainsi que le guide de recommandations issus de l'atelier de 2012, ainsi que tout autre document que le FICR – SRU jugera utile pour le bon déroulé de cette étude (documents relatifs aux filières de matériaux de construction au Burundi, exemples de budgets de projets de soutien à l'habitat mis en œuvre par la CR Burundi ou ses partenaires etc.). Il serait aussi souhaitable de mettre en contact le consultant avec certains experts et partenaires du FICR – SRU et de la CR du Burundi (entre autres par exemple les personnes impliquées dans l'atelier de 2012 et des représentants des acteurs clés de la reconstruction au Burundi).

Il s'agira entre autres de définir suite à cette première recherche et à l'identification des données déjà disponibles :

- Les deux sites à étudier, pour permettre des premières prises de décision et comme illustration de la méthodologie proposée ;
- Les personnes à rencontrer ;
- Les scénarii utilisés pour mener l'analyse comparative des différents procédés de construction (taille et type de bâti, matériaux utilisés, profils des habitants et processus de constructions, propriétaires des bâtiments etc.).

Les sites sélectionnés pour cette étude seront évalués relativement aux critères suivants :

- Accessibilité de la zone ;
- Climat, activités agricoles et aléas naturels ;
- Types de sols et développement des différentes filières (adobes, BTCS et briques cuites).

Elaboration des grilles d'analyse des matériaux locaux

Les grilles d'analyse sont un élément incontournable de l'analyse comparative des matériaux et procédés de construction locaux. Elles doivent permettre de comparer ces éléments par le biais d'indicateurs pertinents et en quantité suffisante pour permettre à l'enquêteur de répondre aux questions posées avec rigueur et fiabilité.

Les indicateurs sélectionnés dépendent étroitement des questions posées et des sources d'information disponibles.

Trois types de grilles seront proposées :

- Une grille d'analyse environnementale ;
- Une grille d'analyse financière ;
- Une grille d'analyse globale.

Ces grilles seront dans un premier temps remplies par site, puis synthétisées dans des grilles thématiques, avec des subdivisions qui seront définies lors de l'analyse des données (par exemple : type de filières de production, processus de construction, accessibilité de la zone, type de sols etc.).



Grille d'analyse environnementale

La grille d'analyse environnementale rassemblera plusieurs indicateurs permettant de comparer les impacts environnementaux de différents matériaux de construction disponibles localement (en priorité adobes, BTC stabilisés et briques cuites). Il est proposé d'utiliser les indicateurs suivants (à confirmer suite à la recherche exploratoire) :

- Production de CO₂ ;
- Consommation d'énergies non-renouvelables ;
- Consommation d'eau ;
- Consommation de bois ;
- Volumes de terres excavées.

Ces indicateurs globaux seront évalués à partir d'indicateurs élémentaires, entre autres (à confirmer suite à la recherche exploratoire) :

- La quantité et le type de matériau nécessaire pour réaliser une unité fonctionnelle (à définir lors de l'élaboration du scénario de référence) ;
- L'énergie et l'eau nécessaire à la production du matériau (quantité et type d'énergies) ;
- Le transport des matières premières de leur lieu d'extraction au lieu de production (nombre de kms et type de transport) ;
- Le transport du matériau de son lieu de production à son lieu de mise en œuvre (nombre de kms et type de transport) ;
- L'énergie et l'eau nécessaire à la mise en œuvre et à l'entretien du matériau.

Ces indicateurs peuvent être évalués à partir de données collectées auprès des institutions en charge de la mise en œuvre de projets de soutien à l'habitat, des producteurs de matériaux, des revendeurs de matériaux et des constructeurs (à confirmer suite à la recherche exploratoire).

Il pourra être nécessaire de regrouper les valeurs collectées en fonction des scénarii de production / mise en œuvre des matériaux.

Grille d'analyse financière

La grille d'analyse financière rassemblera plusieurs indicateurs permettant de comparer les coûts d'achat, de mise en œuvre et d'entretien de plusieurs matériaux de construction disponibles localement (en priorité adobes, BTC stabilisés et briques cuites), ainsi que la contribution de ces transactions à l'économie locale. Il est proposé d'utiliser les indicateurs suivants (à confirmer suite à la recherche exploratoire) :

- Coût total de construction et d'entretien de l'unité choisie comme référence ;
- Stabilité des coûts ;
- Valeur capitalisée par le foyer ;
- Part de rémunération d'activités locales ;
- Part d'apports en nature par l'habitant.

Ces indicateurs globaux seront évalués à partir d'indicateurs élémentaires, entre autres (à confirmer suite à la recherche exploratoire) :

- La quantité et le type de matériau nécessaire pour réaliser une unité fonctionnelle (à définir lors de l'élaboration du scénario de référence) ;
- Coûts pour l'approvisionnement en matériaux de qualité médiocre et de bonne qualité (y compris contributions en nature), sur les marchés formel et informel ;
- La rémunération de main d'œuvre locale pour la production et la distribution des matériaux, sur les marchés formel et informel ;



- Coûts du transport (y compris contributions en nature) ;
- Coûts de mise en œuvre des matériaux, en particulier en termes de jours, de qualifications de main d'œuvre et d'équipements nécessaires (y compris contributions en nature) (sur les marchés formel et informel) ;
- Coûts d'entretien classique et exceptionnel (y compris contributions en nature) ;
- Valeur perçue des matériaux mis en œuvre pour une éventuelle revente / réutilisation ;
- Evolution ressentie des prix des matériaux, du transport et de la main d'œuvre au cours des 5 dernières années, et corrélation avec les différentes crises qu'a connu la zone au cours de cette même période.

L'impact du volume de matériaux achetés et mis en œuvre sur ces coûts pourra être estimé. De plus, les contributions en nature peuvent être de différentes natures : temps de travail non-rémunéré, nourriture, trocs... Il sera intéressant de définir, dans la mesure du possible, des équivalences financières pour ces différents éléments de façon à pouvoir les intégrer dans un coût global et comparer leur poids selon les matériaux.

Enfin, la notion de « locale » (relativement à l'économie et à la création d'emploi) sera définie lors de la recherche exploratoire (nationale, régionale, municipale, communautaire...).

Ces indicateurs peuvent être évalués à partir de données collectées auprès des institutions en charge de la mise en œuvre de projets de soutien à l'habitat, des revendeurs de matériaux, des constructeurs et des foyers (à confirmer suite à la recherche exploratoire).

Grille d'analyse globale

La grille d'analyse globale vise à comparer les différents matériaux retenus vis-à-vis des points suivants :

- L'acceptabilité technique et logistique : la capacité des habitants à construire, à entretenir et à faire évoluer ces habitats au niveau technique et logistique (connaissance du matériau, de sa mise en œuvre et de son entretien, accès aux équipements nécessaires, possibilités de modification / déconstruction / réutilisation, impact d'une saisonnalité de production et de mise en œuvre) ;
- La sûreté de l'abri vis-à-vis des aléas locaux (risque de détérioration, dangers encourus par les habitants, possibilité de réparation / reconstruction) ;
- L'acceptabilité financière : la capacité des habitants à construire et à entretenir ces habitats au niveau financier (coût total, part d'apports en nature, valeur capitalisée) ;
- La contribution à l'économie locale : la rémunération de main d'œuvre locale ;
- La capacité de la filière à répondre à une augmentation de la demande (disponibilité des matériaux et des professionnels qualifiés, offres de formations existantes) ;
- L'impact environnemental local et global, à court et à long terme, pour la production et la mise en œuvre du matériau (indicateurs à définir).

Les matériaux comparés sont considérés en première approche comme équivalents d'un point de vue du confort (acoustique et thermique), de leur contribution à la sécurité du foyer (vis-à-vis des risques d'incendie, d'effractions ou de projectiles) et de leur potentiel architectural (constructions de 2 niveaux maximum considérées). Ceci sera éventuellement à revoir dans le cas où l'étude intégrerait finalement d'autres matériaux (par exemple parpaings ou torchis).



Collecte de données

Entretiens et visites de sites

Objectifs, informations recherchées

Les informations recherchées sont décrites dans les paragraphes précédents.

Certaines de ces informations pourront être obtenues lors d'entretiens (voir ci-dessous une première liste des personnes à interroger), d'autres via des campagnes d'observations et de visites de zones de production de matériaux (observations des processus de production, évaluation de la qualité du produit fini) ou d'habitat (maîtrise des matériaux par l'habitant, capacité à entretenir ou modifier l'abri).

Profil de personnes à rencontrer et de sites à visiter

Les personnes rencontrées pour la collecte d'informations pourront être (à confirmer avec IFRC-SRU et à l'issue de la recherche exploratoire) :

- **Des institutions en charge de la mise en œuvre de projets de soutien à l'habitat au Burundi ;**
- **Des professionnels de la construction :** Producteurs et revendeurs de matériaux, constructeurs (individuellement ou si possible via des associations de professionnels) du secteur formel et si possible informel ;
- **Des habitants,** de préférence dans le cadre de visites de leurs habitats réalisés en adobes, BTCS et briques cuites, de profils variés : auto-constructeurs, auto-promoteurs ou ayant bénéficié d'un abri dans le cadre d'un projet de soutien à l'habitat.

Pour le bon déroulement de cette collecte de données, il est primordial que le consultant puisse s'appuyer sur un facilitateur ayant une très bonne connaissance du site et capables de seconder le consultant lors des entretiens.

Restitution partielle et entretiens complémentaires éventuels

Suite à cette première phase de collecte de données, le consultant souhaite organiser, dans la mesure du possible, une rencontre lui permettant d'exposer ses premières analyses à différents interlocuteurs clefs, en coordination avec IFRC-SRU (CR du Burundi, organisations partenaires, associations de professionnels...) de façon à valider ces résultats intermédiaires, comprendre d'éventuelles incohérences et soulever d'éventuelles questions complémentaires qui mériteraient un approfondissement avant que le consultant ne quitte le Burundi.

Restitution des données

Analyse des données collectées

Les données seront collectées sous différentes formes : informations indiquées dans des grilles d'entretien, informations issues d'une recherche bibliographique, photographies.

Elles devront tout d'abord être traitées, archivées et leurs fiabilités estimées. Puis, elles permettront de compléter les grilles d'analyse, en différenciant pour chacune de ces grilles les sites et les scénarii pré-identifiés (processus de construction et formalité du marché, type de sols, profils des habitants : à confirmer à l'issue de la recherche exploratoire) de façon à pouvoir réaliser une analyse croisée de ces données et valider (ou non) l'influence de ces scénarii et des sites d'étude sur les valeurs des indicateurs.



Interprétation

Une fois cette analyse croisée réalisée, il sera possible de dégager des similitudes et des différences en fonction de différents facteurs d'influence.

Le résultat de cette étude permettra, pour les sites étudiés, de proposer des critères de sélection de matériaux pour la réalisation de murs dans le cadre de projets de soutien à l'habitat.

De plus, la méthodologie adoptée pourra être répliquée pour l'étude et la sélection de matériaux dans d'autres contextes burundais.

5. Deliverables/Restitution

Les recommandations issues de l'analyse comparative seront accompagnés de conseils techniques relatifs à chacune des solutions constructives envisagées, en particulier compte tenu des observations qui auront pu être faites lors des visites de site (bonnes et mauvaises pratiques observées, application des bonnes pratiques recensées dans le guide).

Les résultats de cette étude seront restitués sous trois formes :

- Un rapport complet comprenant :
 - Des éléments pédagogiques relatifs aux différentes techniques constructives considérées permettant une meilleure compréhension de leurs spécificités ;
 - Les grilles d'analyse environnementale, financière et globale ;
 - Des recommandations relatives aux processus à mettre en place pour garantir des constructions de qualité avec les différentes techniques constructives considérées ;
 - Le détail de la méthodologie adoptée et des outils utilisés ;
 - L'ensemble des données collectées ;
 - Une proposition de critères de choix et d'indicateurs permettant une sélection d'options techniques pour la construction de murs, avec illustration sur les deux sites étudiés.
- Un rapport synthétique comprenant l'essentiel des résultats de l'étude ;
- Une restitution/facilitation lors de l'atelier prévu en avril selon décisions finales IFRC-SRU, étant la date de l'atelier à présent inconnue.

6. Outputs/Activités

Activité	Jours de travail	Dates
Préparation de la collecte de données (recherche bibliographique, entretiens et élaboration des scénarii de référence, élaboration des grilles d'analyse, organisation de la collecte de données)	5	Mi-février
Mission de collecte de données	10	26 février – 9 mars
Analyse des données et rédaction du rapport de mission et d'étude	5	Fin mars
Restitution lors de l'atelier habitat selon décision finale IFRC- SRU	5	Début avril



La préparation de la collecte de données, l'analyse des données et la rédaction des supports de restitutions se fera à distance.

La collecte de données et la restitution orale lors de l'atelier se fera au Burundi (lieux à préciser).

On peut en première approche esquisser l'organisation suivante pour la mission de collecte de données :

- Un à deux jours d'entretiens et de collecte de données auprès de la CR du Burundi et éventuellement d'autres organisations partenaires ;
- 4 à 5 jours de collecte de données, comprenant un premier traitement des données, des premières analyses et un ajustement régulier de la méthodologie d'enquête pour exploiter au mieux les sources d'informations disponibles ;
- une journée d'échange avec des interlocuteurs clefs sur les premières analyses qui peuvent être tirées de la collecte de données ;
- une journée d'enquête complémentaire dont le programme sera déterminé en fonction du déroulé de la collecte et des échanges avec les différents interlocuteurs sur place.

In addition to the Consultancy fees, and unless differently agreed in written format, the SRU shall cover the Consultant's travel expenses for in person coordination meetings upon IFRC-SRU requests.

7. Duration/Durée

The consultancy will be of a maximum of 25 days from 15th February to 25th April 2019.

Annexe 2 : Déroulé de la mission terrain et personnes rencontrées

La mission terrain s'est déroulée du 27 février au 8 mars 2019 :

27 février	<ul style="list-style-type: none">• Arrivée à Bujumbura• Rencontre avec les représentants de la crl à Bujumbura
28 février	<ul style="list-style-type: none">• Rencontre avec le Directeur Général du Secrétariat des sinistrés, Ministère des droits de la personne et des affaires sociales, le chef de site et le chef de chantier pour les constructions en adobes et BTC de Bohomba• Visite du VRI de Bohomba• Travail sur les factures de la CRB
1 mars	<ul style="list-style-type: none">• Entretien avec la coordinatrice du Shelter Cluster au sein de l'OIM Marta Leriheiro et son assistant Michel Jaquet• Visite du VRI de Kigwena• Entretien avec le coordinateur terrain responsable du suivi de la production et de la mise en œuvre des BTC du VRI de Kigwena• Collecte de prix à Rumonge
2 et 3 mars	<ul style="list-style-type: none">• Analyse des données collectées
4 mars	<ul style="list-style-type: none">• Entretien avec l'ingénieur responsable du suivi de la production et de la mise en œuvre des BTC du VRI de Kigwena au siège de la Croix Rouge du Burundi• Entretien avec le professeur Simuzeye, géologue de l'Université du Burundi• Travail sur les factures de la CRB
5 mars	<ul style="list-style-type: none">• Départ pour Muyinga• Entretien avec le coordinateur terrain du projet de construction de la Croix Rouge Burundi à Muyinga Jean Berchmans Ntaneza, le point focal pour la construction Jacques Riragendanwa et le point focal DRR Dany Nzoyisaba• Visite de 2 maisons construites par la CRB à Buhinyuza en 2013 et 2015
6 mars	<ul style="list-style-type: none">• Visite des maisons construites par la CRB à Giteranyi en 2018• Collecte de prix à Ruzo et Muyinga• Départ pour Bujumbura
7 mars	<ul style="list-style-type: none">• Entretien avec l'équipe SKAT responsable de la mise en œuvre du projet PROECCO (Fatou Dieye, Daniel Wyss, Bertrand Lacroix et Alexis Harerimana)• Travail sur les factures de la CRB
8 mars	<ul style="list-style-type: none">• Travail sur les factures de la CRB• Départ de Bujumbura

	Unité	Adobe	BTC autob	BTC 14	BTC 20	Brique cuite
Murs extérieurs						
	Longueur m	8	8	8	8	8
	Largeur m	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
	Hauteur en façade m	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	Hauteur en pignon m	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
	Surface murs extérieurs m ²	72,7	72,7	72,7	72,7	72,7
	Hauteur de soubassement m	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Surface murs extérieurs (une face, hors soubassement) m ²	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8
	Epaisseur des murs extérieurs m	0,2	0,22	0,14	0,2	0,18
	Elancement des murs	17	15	24	17	19
Murs intérieurs						
	Longueur m	14	14	14	14	14
	Hauteur m	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	Surface murs intérieurs (une face, hors façades) m ²	35	35	35	35	35
Linéaire de murs extérieurs et intérieurs	m	41,2	41,2	41,2	41,2	41,2
Surface maçonnerie int et ext (hors soubassement)	m ²	96,8	96,8	96,8	96,8	96,8
Volume maçonnerie int et ext (hors soubassement)	m ³	19,4	21,3	13,6	19,4	17,4
Dimensions des unités de maçonnerie						
	L m	0,4	0,22	0,295	0,2	0,18
	l m	0,2	0,22	0,14	0,2	0,09
	h m	0,2	0,11	0,095	0,095	0,04
	Volume unitaire m ³	0,016	0,005324	0,0039235	0,0038	0,000648
	Densité	1,5	2,2	1,8	1,8	1,2
	Poids unitaire kg	24	12	7	7	1
Composition des unités de maçonnerie						
	Taux de stabilisation au ciment %	0%	7%	7%	7%	0%
	Taux de sable %	0%	20%	20%	20%	0%
	Sable m ³ /u	0	0,0010648	0,0007847	0,00076	0
	Ciment m ³ /u	0	0,00037268	0,00027465	0,000266	0
	Terre m ³ /u	0,016	0,005324	0,0039235	0,0038	0,000648
Composition mortier de maçonnerie						

Terre	100%		46%	46%	100%
Sable	0%		46%	46%	0%
Ciment	0%		8%	8%	0%

Maçonnerie (hors soubassement)

Epaisseur mortier m	0,03	0	0,015	0,015	0,015
nombre de briques par m ² u/m ²	10,1	41,3	29,3	42,3	173,2
Volume de mortier /m ² m ³ /m ²	0,038	0,000	0,025	0,039	0,068
Rapport mortier / volume maçonné	19%	0%	18%	20%	38%
Nombre d'unités de maçonnerie (hors soubassement) u	979	4001	2839	4094	16766
Volume de mortier pour murs hors soubassement m ³	4	0	2	4	7
Volume de terre foisonnée nécessaire pour la production de maçonnerie m ³	25,2	42,6	21,2	29,8	20,7
Volume de sable m ³	0,0	8,5	5,5	7,9	0,0
Volume de ciment m ³	0,0	3,0	1,6	2,3	0,0

Fondations

largeur de fondation m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
profondeur de fondation m	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
volume fondation m ³	4,944	4,944	4,944	4,944	4,944
pierre m ³	4,944	4,944	4,944	4,944	4,944
sable m ³	0	0	0	0	0
ciment m ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
terre m ³	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48

Soubassement

Largeur m	0,2	0,22	0,14	0,2	0,18
Hauteur de soubassement m	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Volume m ³	2,2	2,4	1,5	2,2	2,0
adobes stabilisées à 10% m ³	0,0				
BTC m ³					
BTC u		0	0	0	

Soit :					
pierre m ³	2,2	2,4	1,5	2,2	2,0
Terre foisonnée m ³	0,0	0,0	0,0	0,0	
Sable foisonné m ³		0,0	0,0	0,0	
Ciment m ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Mortier de soubassement

Taux de stabilisation du mortier de soubassement	14%	14%	14%	14%	14%
Volume de mortier de soubassement					
si pierre m3	0,7	0,7	0,5	0,7	0,6
si adobes stabilisées à 10% m3					
si BTC m3					
Soit :					
sable m3	0,6	0,6	0,4	0,6	0,5
graviers m3					
ciment m3	0,12	0,13	0,08	0,12	0,11
Terre foisonnée m3					

Matériaux pour enduction / jointoyage (yc jointoyage soubassement)

jointoyage m ² /m ²					0,55
volume m3	2,8	0,73			0,40
terre foisonnée m3	2,5	0,36			
sable m3	0,23	0,24	0,00	0,00	0,32
ciment m3	0,02	0,00	0,00	0,00	0,08
chaux m3	0,06	0,12			

Chaînage haut

briques cuites u/ml	5,6	5,6			5,6
BTC en U u/ml	0		3	3	0
volume de béton m3/ml	0,0108	0,0126	0,0050	0,0050	0,0090
longueur de chaînage m	41,2	41,2	41,2	41,2	41,2
ciment m3	0,06	0,07	0,03	0,03	0,05
sable m3	0,19	0,22	0,09	0,09	0,16
graviers m3	0,19	0,22	0,09	0,09	0,16
fers à béton					
diam 10 m					
diam 8 m	82,4	82,4	82,4	82,4	82,4
diam 6 m	24,72	24,72	24,72	24,72	24,72

Renforcement des angles

Adobes stabilisées u	37				
Soit ciment supplémentaire adobes stabilisées d'angle m3	0,06				
Nombre de renforcement par fers à béton par coin	1,00		1,00	1,00	1,00

	fers à béton diam 8 m	16	0	16	16	16
	fers à béton diam 6 m	5	0	5	5	5
Toiture						
	Angle °	15	15	15	15	15
	Débords m	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Surface m²	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0
	Tôle unité	39	39	39	39	39
	Clous pour tôles kg	4	4	4	4	4
Charpente						
	Perches de 12cm de diamètre et 7m de long unité	18	18	18	18	18
	Perches de 10cm de diamètre et 7m de long unité	20	20	20	20	20
	Clous ordinaires kg	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
	Fers plats pour ancrage charpente ml	43	43	43	43	43
Main d'œuvre pour élévation des murs						
	qualifiée homme.jour/maison	30	32	24	34	37
	non-qualifiée homme.jour/maison	30		24	34	37
Main d'œuvre pour l'enduction / jointoyage des murs						
	qualifiée homme.jour/maison	7	7			7
	non-qualifiée homme.jour/maison	7	7			7
Synthèse quantité totale						
	moellons m3	7,1	7,3	6,5	7,1	6,9
	graviers m3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
	sable m3	1,0	9,60	5,94	8,53	0,98
	terre (hors rebus) m3	29,2	44,45	22,7	31,2	22,2
	ciment m3	0,3	3,19	1,76	2,49	0,24

0,5 Facteur d'importation liée au transport

Matériaux	Unité	Coût unitaire	Supplément transport national	Coût unitaire livré	Estimation importation	Commentaires
Moellons pierre	m3	22000	4000	26000	2000	estimation livraison : 400 FBU/m3.km sur 10km
Gravier	m3	16000	4000	20000	2000	estimation livraison : 400 FBU/m3.km sur 10km
Sable non-tamisé	m3	16000	4000	20000	2000	estimation livraison : 400 FBU/m3.km sur 10km
Terre extraite non-tamisée	m3	21000	4000	25000	2000	estimation livraison : 400 FBU/m3.km sur 10km
Chaux	m3	448000	88000	536000	380000	transport national 560 FBU/kg + 50 FBU/kg pour livraison ; 0,8kg/L ; estimation importation : 75% de coût unitaire hors
Ciment	m3	720000	38400	758400	559200	transport 30000 FBU/sac (26000 pour 32,5 et 33000 pour 42,5) + 1600 FBU/sac pour livraison (1300 transport depuis BUJ et 300 chargement / déchargement) ; 1,2kg/L ; estimation importation : 75% de coût unitaire hors
Bois de charpente	perche	2400	200	2600	100	livraison : 10 FBU / pièce.km sur 20km
Tuiles	unité					
Tôles	unité	18000	1000	19000	14000	transport depuis BUJ ; estimation importation : 75% de coût unitaire hors transport national
Briques cuites 4*9*17	Unité	50	2,5	52,5	1	livraison : 0,25 FBU / pièce.km sur 10km
Eau	Litre			2	0	
Adobe 40 x 20 x 20	Unité			510		
Main d'œuvre non-qualifiée	homme.jour	3000				
Main d'œuvre qualifiée	homme.jour	7000				
Terre	/unité		70	440	35	10% de rebus
Eau	/unité			20		
Outillage	/unité			5	0	
Coût main d'œuvre production	/unité			45		200 adobes par jour par équipe de 3 non qualifiés
Adobes stabilisées à 10%	Unité			1723		
Supplément ciment	/unité		61	1213	839	1,5 L de ciment par adobe
BTC autobloquant	Unité			1106	316	
Main d'œuvre qualifiée et presses	/unité	180			15	10 personnes par presse manuelle (Kigwena) pour préparation du mélange et transport des BTC, hors arrosage
Main d'œuvre non qualifiée	/unité	75				
Terre	/unité		31	193	15	7L de terre foisonnée par bloc, 10% de rebus
Sable	/unité		11	55	6	10% de rebus
Ciment	/unité		19	379	280	0,5L de ciment par bloc
Eau	/unité			224		8L/jour pendant 14 jours de cure
BTC 29,5*14*9 (production manuelle)	Unité			541		
Presses	/unité			17	15	Presse à 7000\$, amortie en 5 ans (500 BTC/jour), 1\$ = 1830 FBU
Main d'œuvre qualifiée	/unité			14		
Main d'œuvre non qualifiée	/unité			36		
Terre	/unité		17	108	9	10% de rebus
Sable	/unité		3	17	2	10% de rebus
Ciment	/unité		11	208	154	
Eau	/unité			140		5L/jour pendant 14 jours de cure

BTC 20*20*9 (production manuelle)	Unité			530	
	Presses /unité			17	15 Presse à 7000\$, amortie en 5 ans (500 BTC/jour), 1\$ = 1830 FBU
	Main d'œuvre qualifiée /unité			14	
	Main d'œuvre non qualifiée /unité			36	
	Terre /unité		17	104,5	8 10% de rebus
	Sable /unité		3	17	2 10% de rebus
	Ciment /unité		10	202	149
	Eau /unité			140	5L/jour pendant 14 jours de cure
Portes	unité	18000	800	18800	400
Fenêtres	unité	9000	800	9800	400
Fers feuillards pour accroche charpente	/Maison	44920	80	45000	33730 0,5 rouleau de 5kg, 90000 le rouleau
Fers à béton diam 10	/ml	2000	13	2013	1506,66667 livraison équivalente entre 10 fers à béton de 12m et 1 sac de ciment, depuis Buj
Fers à béton diam 8	/ml	1400	13	1413	1056,66667
Fers à béton diam 6	/ml	800	13	813	606,666667
Madriers bois pour linteaux	unité	5500	1000	6500	500
Charpente					
	Perches de 10cm unité	2500	100	2600	50
	Perches de 12cm unité	2600	100	2700	50
	Clous (ordinaires et tôles) kg	8000	32	8032	6016 livraison équivalente entre 50kg de clous et 1 sac de ciment, depuis Buj

Matériaux	Unité	Coût unitaire	TYPE DE MURS									
			Adobes		BTC autobloquant		BTC 14		BTC 20		Briques cuites	
			Quantité	Coût (FBU)	Quantité	Coût (FBU)	Quantité	Coût (FBU)	Quantité	Coût (FBU)	Quantité	Coût (FBU)
Moellons pierre	m3	26000	7,1	185 120	7,3	190 778	6,5	168 147	7,1	185 120	6,9	179 462
Gravier	m3	20000	0,2	3 814	0,2	4 450	0,1	1 766	0,1	1 766	0,2	3 178
Adobes	Unité	510	942	480 669	0	0	0	0	0	0	0	0
Adobes stabilisées à 10%	Unité	1723	37	62 943	0	0	0	0	0	0	0	0
Briques cuites 4*9*17	Unité	52,5	0	0	0	0	0	0	0	0	16766,1	880 218
BTC 29,5*14*9 (production manuelle)	Unité	541	0	0	0	0	2839	1 534 789	0	0	0	0
BTC 20*20*9 (production manuelle)	Unité	530	0	0	0	0	0	0	4094	2 169 981	0	0
BTC autobloquant (production manuelle)	Unité	1106	0	0	4001	4 423 897	0	0	0	0	0	0
Terre pour mortier et enduit (20% de rebus)	m3	30000	8,8	264 344	1,8	55 402	2,6	77 933	3,2	97 215	11,3	339 193
Chaux pour mortier et enduit	m3	536000	0,1	31 067	0,1	64 949	0,0	0	0	0	0	0
Ciment pour mortier et enduit	m3	758400	0,2	152 966	0,1	56 243	1,0	741 679	1,4	1 061 908	0,2	181 420
Sable pour mortier et enduit	m3	24000	1,0	23 615	1,1	25 977	3,7	89 105	5,4	130 160	1,0	23 554
Tôle	unité	19000	25,7	489 195	25,7	489 195	25,7	489 195	25,7	489 195	25,7	489 195
Fers à béton diam 10	ml	2013	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Fers à béton diam 8	ml	1413	98,4	139 072	82,4	116 459	98,4	139 072	98,4	139 072	98,4	139 072
Fers à béton diam 6	ml	813	29,5	24 010	24,7	20 106	29,5	24 010	29,5	24 010	29,5	24 010
Autres matériaux invariants												
Fenêtres	unité	9800	4	39 200	4	39 200	4	39 200	4	39 200	4	39 200
Portes	unité	18800	5	94 000	5	94 000	5	94 000	5	94 000	5	94 000
Clous	kg	8032	5	40 160	5	40 160	5	40 160	5	40 160	5	40 160
Madriers pour linteaux et planches de répartition	unité	6500	15	97 500	15	97 500	15	97 500	15	97 500	15	97 500
Feuillards accroche charpente	forfait	45000	1	45 000	1	45 000	1	45 000	1	45 000	1	45 000
Perches de 10cm	unité	2600	20	52 000	20	52 000	20	52 000	20	52 000	20	52 000
Perches de 12cm	unité	2700	18	48 600	18	48 600	18	48 600	18	48 600	18	48 600
Mise en œuvre												
Main d'œuvre non qualifiée	FBU/jour.pers	3000	37,3	111 811	7	21811	24	70985	34	102351	45	133711
Maçon classique	FBU/jour.pers	7000	37,3	260 893	7	50893	24	165632	34	238819	45	311993
Maçon BTC autobloquant	FBU/jour.pers	14062,5			32	450000						
Supervision	FBU/jour.pers	10000	1,0	10 000	1	10000	1	10000	1	10000	1	10000
Total matériaux (yc main d'oeuvre de production)			2 273 274		5 863 914		3 682 156		4 714 886		2 675 763	
Total main d'œuvre chantier (hors terrassement)			382 704		532 704		246 618		351 170		455 705	
Total matériaux invariants (yc tôles)			905 655		905 655		905 655		905 655		905 655	
Total			2 655 978		6 396 618		3 928 774		5 066 056		3 131 468	

	Adobes	BTC autobloquant	BTC 14	BTC 20	Briques cuites
Coût total	2 655 978	6 396 618	3 928 774	5 066 056	3 131 468
Dont transport national (terre livrée sauf pour la production de briques cuites)	97827	345768	233848	299163	135072
Soit en % du prix hors apports nature	6,0%	5,7%	6,5%	6,4%	5,1%
Coût mise en œuvre / coût total	14%	8%	6%	7%	15%
Coût main d'œuvre prod / coût prod (par unité de maçonnerie)	9%	43%	35%	36%	30%
Coût main d'œuvre prod / coût total	2%	30%	14%	15%	8%
Rémunération de main d'oeuvre (hors transport routier)	16%	38%	20%	22%	23%
Emploi qualifié	10%	19%	5%	6%	16%
Emploi non-qualifié	6%	19%	15%	16%	7%
Homme.jour main d'œuvre non-qualifié total	52	406	190	274	74
Argent investi au Burundi / argent total investi	73%	70%	60%	61%	78%
Homme.jour main d'œuvre non-qualifié valorisable par le foyer	52	90	90	90	45
Main d'œuvre valorisable par le foyer	155867	270000	270000	270000	133711
Economie liée à l'approvisionnement en terre à la charge du foyer (terre pour fondations, adobes, mortier, enduit)	875246	55402	77933	97215	339193
Coût hors apports naturels et main d'œuvre valorisable	1 624 865	6 071 216	3 580 841	4 698 842	2 658 563
Dont coût autres postes invariants / coût total	34%	14%	23%	18%	29%
Vérification	0	0	0	0	0

0,5 Facteur d'importation liée au transport

Matériaux	Unité	Coût unitaire	Supplément transport national	Coût unitaire livré	Estimation importation	Commentaires
Moellons pierre	m3	20000	15000	35000	7500	estimation livraison : 400 FBU/m3.km sur 10km
Gravier	m3	30000	15000	45000	7500	estimation livraison : 400 FBU/m3.km sur 10km
Sable non-tamisé	m3	25000	15000	40000	7500	estimation livraison : 400 FBU/m3.km sur 10km
Terre extraite non-tamisée	m3	20000	15000	35000	7500	estimation livraison : 400 FBU/m3.km sur 10km
Chaux	m3	448000	88000	536000	380000	unitaire hors transport national 560 FBU/kg + 50 FBU/kg pour livraison ; 0,8kg/L ; estimation importation : 75% de coût 30000 FBU/sac (26000 pour 32,5 et 33000 pour 42,5) + 1600 FBU/sac pour livraison (1300 transport depuis BUJ et 300 chargement / déchargement) ; 1,2kg/L ; estimation
Ciment	m3	705000	15000	720000	536250	importation : 75% de coût unitaire hors transport
Bois de charpente	perche	2100	300	2400	150	livraison : 10 FBU / pièce.km sur 20km
Tuiles	unité					transport depuis BUJ ; estimation importation : 75% de coût unitaire hors transport
Tôles	unité	17000	1000	18000	13250	national
Briques cuites 4*9*17	Unité	45	7,5	52,5	3,75	livraison : 0,25 FBU / pièce.km sur 10km
Eau	Litre			2	0	
Adobe 40 x 20 x 20	Unité			686		
Main d'œuvre non-qualifiée	homme.jour	3000				
Main d'œuvre qualifiée	homme.jour	7000				
Terre	/unité		264	616	132	10% de rebus
Eau	/unité			20		
Outillage	/unité			5	0	
Coût main d'œuvre production	/unité			45		200 adobes par jour par équipe de 3 non qualifiés
Adobes stabilisées à 10%	Unité			1838		
Supplément ciment	/unité		24	1152	804	1,5 L de ciment par adobe
BTC autobloquant	Unité			1219	362	
Main d'œuvre qualifiée et presses	/unité	180			15	
Main d'œuvre non qualifiée	/unité	75				10 personnes par presse manuelle (Kigwena) pour préparation du mélange et transport des BTC, hors arrosage
Terre	/unité		116	270	58	7L de terre foisonnée par bloc, 10% de rebus
Sable	/unité		41	110	21	10% de rebus
Ciment	/unité		8	360	268	0,5L de ciment par bloc
Eau	/unité			224		8L/jour pendant 14 jours de cure
BTC 29,5*14*9 (production manuelle)	Unité			590		
Presses	/unité			17	15	Presse à 7000\$, amortie en 5 ans (500 BTC/jour), 1\$ = 1830 FBU
Main d'œuvre qualifiée	/unité			14		
Main d'œuvre non qualifiée	/unité			36		
Terre	/unité		65	151	32	10% de rebus
Sable	/unité		13	35	6	10% de rebus

0,24

	Ciment /unité		4	198	147	
	Eau /unité			140		5L/jour pendant 14 jours de cure
BTC 20*20*9 (production manuelle)	Unité			578		
	Presses /unité			17		15 Presse à 7000\$, amortie en 5 ans (500 BTC/jour), 1\$ = 1830 FBU
	Main d'œuvre qualifiée /unité			14		
	Main d'œuvre non qualifiée /unité			36		
	Terre /unité		63	146,3		31 10% de rebus
	Sable /unité		13	33		6 10% de rebus
	Ciment /unité		4	192	143	
	Eau /unité			140		5L/jour pendant 14 jours de cure
Portes	unité	18000	800	18800	400	
Fenêtres	unité	9000	800	9800	400	
Fers feuillards pour accroche charpente	/Maison	44920	80	45000	33730	0,5 rouleau de 5kg, 90000 le rouleau
Fers à béton diam 10	/ml	2000	13	2013	1506,66667	livraison équivalente entre 10 fers à béton de 12m et 1 sac de ciment, depuis Buj
Fers à béton diam 8	/ml	1400	13	1413	1056,66667	
Fers à béton diam 6	/ml	800	13	813	606,666667	
Madriers bois pour linteaux	unité	5500	1000	6500	500	
Charpente						
	Perches de 10cm unité	2500	100	2600	50	
	Perches de 12cm unité	2600	100	2700	50	
	Clous (ordinaires et tôles) kg	8000	32	8032	6016	livraison équivalente entre 50kg de clous et 1 sac de ciment, depuis Buj

Matériaux	Unité	Coût unitaire	TYPE DE MURS									
			Adobes		BTC autobloquant		BTC 14		BTC 20		Briques cuites	
			Quantité	Coût (FBU)	Quantité	Coût (FBU)	Quantité	Coût (FBU)	Quantité	Coût (FBU)	Quantité	Coût (FBU)
Moellons pierre	m3	35000	7,1	249 200	7,3	256 816	6,5	226 352	7,1	249 200	6,9	241 584
Gravier	m3	45000	0,2	8 581	0,2	10 012	0,1	3 973	0,1	3 973	0,2	7 151
Adobes	Unité	686	942	646 546	0	0	0	0	0	0	0	0
Adobes stabilisées à 10%	Unité	1838	37	67 127	0	0	0	0	0	0	0	0
Briques cuites 4*9*17	Unité	52,5	0	0	0	0	0	0	0	0	16766,1	880 218
BTC 29,5*14*9 (production manuelle)	Unité	590	0	0	0	0	2839	1 676 407	0	0	0	0
BTC 20*20*9 (production manuelle)	Unité	578	0	0	0	0	0	0	4094	2 367 746	0	0
BTC autobloquant (production manuelle)	Unité	1219	0	0	4001	4 875 208	0	0	0	0	0	0
Terre pour mortier et enduit (20% de rebus)	m3	42000	8,8	370 082	1,8	77 562	2,6	109 107	3,2	136 100	11,3	474 870
Chaux pour mortier et enduit	m3	536000	0,1	31 067	0,1	64 949	0,0	0	0	0	0	0
Ciment pour mortier et enduit	m3	720000	0,2	145 221	0,1	53 395	1,0	704 125	1,4	1 008 140	0,2	172 234
Sable pour mortier et enduit	m3	48000	1,0	47 229	1,1	51 954	3,7	178 209	5,4	260 320	1,0	47 109
Tôle	unité	18000	25,7	463 448	25,7	463 448	25,7	463 448	25,7	463 448	25,7	463 448
Fers à béton diam 10	ml	2013	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Fers à béton diam 8	ml	1413	98,4	139 072	82,4	116 459	98,4	139 072	98,4	139 072	98,4	139 072
Fers à béton diam 6	ml	813	29,5	24 010	24,7	20 106	29,5	24 010	29,5	24 010	29,5	24 010
Autres matériaux invariants												
Fenêtres	unité	9800	4	39 200	4	39 200	4	39 200	4	39 200	4	39 200
Portes	unité	18800	5	94 000	5	94 000	5	94 000	5	94 000	5	94 000
Clous	kg	8032	5	40 160	5	40 160	5	40 160	5	40 160	5	40 160
Madriers pour linteaux et planches de répartition	unité	6500	15	97 500	15	97 500	15	97 500	15	97 500	15	97 500
Feuillards accroche charpente	forfait	45000	1	45 000	1	45 000	1	45 000	1	45 000	1	45 000
Perches de 10cm	unité	2600	20	52 000	20	52 000	20	52 000	20	52 000	20	52 000
Perches de 12cm	unité	2700	18	48 600	18	48 600	18	48 600	18	48 600	18	48 600
Mise en œuvre												
Main d'œuvre non qualifiée	FBU/jour.pers	3000	37,3	111 811	7	21811	24	70985	34	102351	45	133711
Maçon classique	FBU/jour.pers	7000	37,3	260 893	7	50893	24	165632	34	238819	45	311993
Maçon BTC autobloquant	FBU/jour.pers	14062,5			32	450000						
Supervision	FBU/jour.pers	10000	1,0	10 000	1	10000	1	10000	1	10000	1	10000
Total matériaux (yc main d'oeuvre de production)			2 608 043		6 406 369		3 941 163		5 068 470		2 866 156	
Total main d'œuvre chantier (hors terrassement)			382 704		532 704		246 618		351 170		455 705	
Total matériaux invariants (yc tôles)			879 908		879 908		879 908		879 908		879 908	
Total			2 990 747		6 939 073		4 187 781		5 419 640		3 321 861	

	Adobes	BTC autobloquant	BTC 14	BTC 20	Briques cuites
Coût total	2 990 747	6 939 073	4 187 781	5 419 640	3 321 861
Dont transport national (terre livrée sauf pour la production de briques cuites)	186513	859381	509884	660462	303935
Soit en % du prix hors apports nature	11,6%	13,0%	13,4%	13,2%	11,2%
Coût mise en œuvre / coût total	13%	8%	6%	6%	14%
Coût main d'œuvre prod / coût prod (par unité de maçonnerie)	7%	39%	32%	33%	30%
Coût main d'œuvre prod / coût total	1%	28%	13%	14%	7%
Rémunération de main d'oeuvre (hors transport routier)	14%	35%	19%	21%	21%
Emploi qualifié	9%	18%	5%	6%	14%
Emploi non-qualifié	5%	18%	14%	15%	7%
Homme.jour main d'œuvre non-qualifié total	52	406	190	274	74
Argent investi au Burundi / argent total investi	76%	70%	63%	64%	79%
Homme.jour main d'œuvre non-qualifié valorisable par le foyer	52	90	90	90	45
Main d'œuvre valorisable par le foyer	155867	270000	270000	270000	133711
Economie liée à l'approvisionnement en terre à la charge du foyer (terre pour fondations, adobes, mortier, enduit)	1225344	77562	109107	136100	474870
Coût hors apports naturels et main d'œuvre valorisable	1 609 536	6 591 511	3 808 674	5 013 539	2 713 279
Dont coût autres postes invariants / coût total	29%	13%	21%	16%	26%
Vérification	0	0	0	0	0

Données d'entrée CO2

Données transport génériques	kgeqCO2	Source de données
Transport international (camion 12T), /T et /km	0,461	ADEME 2014 (tient compte de transport à vide)
Transport national (camion 7,5T), /T et /km	0,847	ADEME 2014 (tient compte de transport à vide)
Transport international, /kg et /km	0,000461	
Transport national, /kg et /km	0,000847	
Transport bateau, /T et /km	0,0108	Base KBOB,2012
Transport bateau, /kg et /km	0,0000108	Base KBOB,2012

Données production matériaux	kgeqCO2	Source de données	Total prod et transp international
Ciment, portland, production, /kg	0,86	ADEME 2014	1,09
Chaux traditionnelle, /kg	0,7	CRAterre	
Acier, première fusion, kg	0,87	Portail IMPACT, 2014	1,10
Acier, recyclé, kg	0,3	Portail IMPACT, 2014	0,53
eucalyptus, stère	0,4	CIRAD, 2011	
Sable, gravier /kg	0,0023	FDES granulats issus de roches meubles	
roche /kg	0,00257	FDES granulats issus de roches dures	
cuisson briques et tuiles cuites (tradi), /kg	0,61	2MJ nécessaire pour cuire 1kg d'argile (entretien PROECCO)	

Coefficients de conversion énergétique (essence)		Source de données
conversion tep en téqC (essence)	0,83	https://jancovici.com/changement-climatique/les-ges-et-nous/bilan-carbone/
conversion téqCO2 en teqC	3,666666667	http://www.fl-residences.com/bilan-carbone.htm
conversion tep en MJ	41860	https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/unites-de-l-energie

Données d'entrée CO2

conversion kWh en MJ	3,6	https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/unites-de-l-energie
conversion kgeqCO2 en MJ	184,184	

Pollution par type de combustible au Burundi	kgéqCO2/MJ	Source de données
Bois de chauffe (rendement 30%)	0,305	Smith 2002, cité par World Bank 2017
Kérosène (rendement 50%)	0,138	Smith 2002, cité par World Bank 2017

Emission carburant	kgéqCO2/L	Source de données
Gasoil	2,6	https://www.econologie.com/emissions-co2-litre-carburant-essence-diesel-ou-gpl/

Données projet transport	km
Moellons pierre	25
Gravier	10
Terre pour adobe	0
Briques cuites	10
Terre pour BTC	10
Terre pour mortier	5
Chaux pour mortier	50
Ciment pour mortier	50
Sable pour mortier	25

Désignation	Adobes					BTC					Briques cuites							
	impact CO2 production et importation (kgéqCO2)	impact CO2 total (inclus transport national) (kgéqCO2)	%	conso énergie non-renouvelable (MJ)	conso bois énergie (MJ)	m3 de terre et roche excavée	impact CO2 production et importation (kgéqCO2)	impact CO2 total (inclus transport national) (kgéqCO2)	%	conso énergie non-renouvelable (MJ)	conso bois énergie (MJ)	m3 de terre et roche excavée	impact CO2 production et importation (kgéqCO2)	impact CO2 total (inclus transport national) (kgéqCO2)	%	conso énergie non-renouvelable (MJ)	conso bois énergie (MJ)	m3 de terre et roche excavée
Moellons pierre	23,8	219,8	32%	40 481		7,12	24,5	226,5	5%	41 718		7,3	23,1	213,1	2%	39 243		6,9
Gravier	0,6	0,6	0%	105		0,190697	0,7	3,1	0%	574		0,2	0,5	2,2	0%	410		0,2
Adobes 40x20x20		0,0	0%	0		17												
Adobes stabilisées 40x20x20		86,0	12%	15 845		0,7												
Briques cuites 4*9*17			0%										10227,3	10 369,3	94%		100 596	21,8
BTC 22x23x11 (production manuelle)			0%	0			3970,4	4 411,0	91%	812 427		33,8			0%	0		
Terre pour mortier		48,5	7%	8 935		8,811475		10,2	0%	1 873		1,8	0,0	62,2	1%	11 465		11,3
Chaux pour mortier	32,5	34,4	5%	6 340			67,9	72,0	1%				0,0	0,0	0%			
Ciment pour mortier	263,9	274,2	40%	50 501			97,0	100,8	2%	18 568			313,0	325,2	3%	59 895		
Sable pour mortier	2,9	30,0	4%	5 531			3,2	33,0	1%	6 084			2,9	30,0	0%	5 516		
Essence								158,6										
Total	237,7	693,5	100%	111 892,6	0,0	34,09	4163,7	4 856,5	100%	881 243,5	0,0	43,22	10566,8	11 002,0	100%	116 529,9	100 596,4	40,2

Données d'entrée CO2

Données transport génériques	kgeqCO2	Source de données
Transport international (camion 12T), /T et /km	0,461	ADEME 2014 (tient compte de transport à vide)
Transport national (camion 7,5T), /T et /km	0,847	ADEME 2014 (tient compte de transport à vide)
Transport international, /kg et /km	0,000461	
Transport national, /kg et /km	0,000847	
Transport bateau, /T et /km	0,0108	Base KBOB,2012
Transport bateau, /kg et /km	0,0000108	Base KBOB,2012

Données production matériaux	kgeqCO2	Source de données	Total prod et transp international
Ciment, portland, production, /kg	0,86	ADEME 2014	1,09
Chaux traditionnelle, /kg	0,7	CRAterre	
Acier, première fusion, kg	0,87	Portail IMPACT, 2014	1,10
Acier, recyclé, kg	0,3	Portail IMPACT, 2014	0,53
eucalyptus, stère	0,4	CIRAD, 2011	
Sable, gravier /kg	0,0023	FDES granulats issus de roches meubles	
roche /kg	0,00257	FDES granulats issus de roches dures	
cuisson briques et tuiles cuites (tradi), /kg	0,61	2MJ nécessaire pour cuire 1kg d'argile (entretien PROECCO)	

Coefficients de conversion énergétique (essence)		Source de données
conversion tep en téqC (essence)	0,83	https://jancovici.com/changement-climatique/les-ges-et-nous/bilan-carbone/
conversion téqCO2 en teqC	3,666666667	http://www.fl-residences.com/bilan-carbone.htm
conversion tep en MJ	41860	https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/unites-de-l-energie

Données d'entrée CO2

conversion kWh en MJ	3,6	https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/unites-de-l-energie
conversion kgeqCO2 en MJ	184,184	

Pollution par type de combustible au Burundi	kgéqCO2/MJ	Source de données
Bois de chauffe (rendement 30%)	0,305	Smith 2002, cité par World Bank 2017
Kérosène (rendement 50%)	0,138	Smith 2002, cité par World Bank 2017

Emission carburant	kgéqCO2/L	Source de données
Gasoil	2,6	https://www.econologie.com/emissions-co2-litre-carburant-essence-diesel-ou-gpl/

Données projet transport	km
Moellons pierre	30
Gravier	30
Terre pour adobe	0
Briques cuites	30
Terre pour BTC	30
Terre pour mortier	0
Chaux pour mortier	50
Ciment pour mortier	50
Sable pour mortier	30

Désignation	Adobes					BTC					Briques cuites							
	impact CO2 production et importation (kgéqCO2)	impact CO2 total (inclus transport national) (kgéqCO2)	%	conso énergie non-renouvelable (MJ)	conso bois énergie (MJ)	m3 de terre et roche excavée	impact CO2 production et importation (kgéqCO2)	impact CO2 total (inclus transport national) (kgéqCO2)	%	conso énergie non-renouvelable (MJ)	conso bois énergie (MJ)	m3 de terre et roche excavée	impact CO2 production et importation (kgéqCO2)	impact CO2 total (inclus transport national) (kgéqCO2)	%	conso énergie non-renouvelable (MJ)	conso bois énergie (MJ)	m3 de terre et roche excavée
Moellons pierre	23,8	259,0	38%	47 701		7,12	24,5	266,9	5%	49 158		7,3	23,1	251,1	2%	46 243		6,9
Gravier	0,6	0,6	0%	106		0,190697	0,7	8,0	0%	1 476		0,2	0,5	5,7	0%	1 054		0,2
Adobes 40x20x20		0,0	0%	0														
Adobes stabilisées 40x20x20		86,0	12%	15 845		0,7												
Briques cuites 4*9*17			0%	0														
BTC 22x23x11 (production manuelle)			0%	0			3970,4	5 292,1	92%	974 711		33,8	10227,3	10 653,3	95%		100 596	21,8
Terre pour mortier		0,0	0%	0		8,811475		0,0	0%	0		1,8	0,0	0,0	0%	0		11,3
Chaux pour mortier	32,5	34,4	5%	6 340			67,9	72,0	1%				0,0	0,0	0%			
Ciment pour mortier	263,9	274,2	40%	50 501			97,0	100,8	2%	18 568			313,0	325,2	3%	59 895		
Sable pour mortier	2,9	35,4	5%	6 528			3,2	39,0	1%	7 181			2,9	35,4	0%	6 512		
Essence								158,6										
Total	237,7	689,6	100%	111 175,8	0,0	34,09	4163,7	5 778,7	100%	1 051 095,5	0,0	43,22	10566,8	11 270,7	100%	113 703,8	100 596,4	40,2

Quoi ?	Quand ?	Combien ?	Unité de référence	Prix unitaire	Où ?	source
Moellons, sable, terre, brique cuite						
145 bennes moellons et 95 sables (1ère phase)	janv-12	10889000	m3	11343	Muyinga	CR Lux
Moellons						
benne de moellons	juil-10	45000	m3	15000	Muyinga	CR Lux
moellons transport inclus, benne	juin-15	45500	m3	15167	Buhinyuza	CR Lux
benne de moellons de carrière (1 par maison, 3m3)(hors transport)	août-17	40000	m3	13333	Muyinga	CR Lux
moellons benne hors transport	août-17	45000	m3	15000	Muyinga	CR Lux
moellons benne hors transport	sept-17	40000	m3	13333	Muyinga	CR Lux
moellons benne (transport inclus)	oct-17	100000	m3	33333	Giteranyi	CR Lux
moellons (m3) (transport inclus)	févr-18	23000	m3	23000	Muyinga	CR Lux
moellons pour aménagement sources, benne (transport inclus)	sept-18	130000	m3	43333	Muyinga	CR Lux
benne de moellons de carrière (1 par maison, 3m3) (transport inclus ?)	oct-18	86000	m3	28667	Muyinga	CR Lux
moellons, benne, transport inclus	févr-19	120000	m3	40000	Giteranyi	entretien
moellons (3m3)(transport inclus)	févr-18	78000	m3	26000	Rumonge	CR Lux
Graviers						
benne de graviers	juil-10	57000	m3	19000	Muyinga	CR Lux
gravier, benne transport inclus	oct-17	100000	m3	33333	Giteranyi	CR Lux
gravier (m3)	févr-18	24000	m3	24000	Muyinga	CR Lux
gravier, benne transport inclus	sept-18	140000	m3	46667	Giteranyi	CR Lux
Sable						
benne de sable	juil-10	75500	m3	18875	Muyinga	CR Lux
sable, benne transport inclus	juin-15	57500	m3	19167	Buhinyuza	CR Lux
benne de sable (1 pour 2 maisons, 3m3)	août-17	45000	m3	15000	Muyinga	CR Lux
sable, benne hors transport	août-17	50000	m3	16667	Muyinga	CR Lux
sable, benne hors transport	sept-17	45000	m3	15000	Giteranyi	CR Lux
sable, benne transport inclus	oct-17	110000	m3	36667	Giteranyi	CR Lux
sable (m3) (transport inclus)	févr-18	27500	m3	27500	Giteranyi	CR Lux
sable, benne transport inclus	sept-18	120000	m3	40000	Giteranyi	CR Lux
benne de sable (1 pour 2 maisons, 3m3) (transport inclus ?)	oct-18	75000	m3	25000	Giteranyi	CR Lux
benne de sable tamisé (acheté à l'unité) (transport inclus ?)	oct-18	120000	m3	30000	Giteranyi	CR Lux
brouette de sable	nov-18	2000	m3	20000	Muyinga	CR Lux

sable, benne, transport inclus	févr-19	130000	m3	43333 Giteranyi	entretien
benne de sable (3m3) (transport inclus)	juin-18	85000	m3	28333 Rutana	CRAtterre
sable (4m3)	déc-18	80000	m3	20000 Rumonge	CR Lux
sable (3m3)	févr-18	59500	m3	19833 Rumonge	CR Lux
benne de sable de 3m3	mars-09	35000	m3	11667 Bujumbura	entretien
benne de sable de 3m3	mars-19	60000	m3	20000 Bujumbura	entretien

Terre

Benne de terre (3m3)	juin-18	50000	m3	16667 Rutana	CRAtterre
argile, m3 (transport inclus)	oct-17	40000	m3	40000 Giteranyi	CR Lux
Argile, benne (transport inclus)	sept-18	100000	m3	33333 Muyinga	CR Lux
brouette d'argile	nov-18	1500	m3	15000 Muyinga	CR Lux
Terre rouge, 3m3	déc-18	75000	m3	25000 Rumonge	CR Lux

Eau

Eau livrée	juin-18	12500	m3	12500 Rutana	CRAtterre
Eau livrée, bidon de 20L	mars-19	200	m3	10000	entretien

Maçonnerie

Brique cuite

brique cuite	févr-18	45	unité	45 Muyinga	CR Lux
brique cuite	févr-18	34	unité	34 Muyinga	CR Lux
brique cuite 17 x 9 x 4	févr-19	50	unité	50 Muyinga	entretien
brique cuite 17 x 9 x 4	mars-19	25	unité	25 Muyinga	entretien
brique cuite 20 x 10 x 6	mars-19	30	unité	30 Muyinga	entretien
brique cuite	mars-19	50	unité	50	entretien
brique cuite	mars-19	55	unité	55 Bukeye	entretien
brique cuite	mars-19	75	unité	75 Bujumbura	entretien
brique cuite améliorée 20 x 10 x 6	mars-19	100	unité	100 Bujumbura	entretien
brique cuite 17 x 9 x 4	juin-18	35	unité	35 Rutana	CRAtterre

maçonnerie en briques cuites et mortier ciment, 20cm d'épaisseur	juin-14	30000	m2	30000	CICR
------------------------------------------------------------------	---------	-------	----	-------	------

Adobe

coût d'une adobe	mars-09	80	unité	80 Bujumbura	entretien
coût d'une adobe	mars-19	150	unité	150 Bujumbura	entretien
coût d'une adobe (40 x 20 x 20)	mars-19	350	unité	350 Muyinga	entretien
coût d'une adobe (30 x 20 x 20)	mars-19	250	unité	250 Muyinga	entretien

Tuiles

tuile artisanale	févr-19	125	unité	125 Muyinga	entretien
tuile améliorée	févr-19	275	unité	275 Muyinga	entretien

Ciment, chaux

Ciment

ciment	févr-14	25000	kg	500 Muyinga	CR Lux
ciment (transport inclus)	oct-14	26500	kg	530 Muyinga	CR Lux
ciment, transport inclus	juin-15	33000	kg	660 Buhinyuza	CR Lux
ciment	oct-17	30000	kg	600 Giteranyi	CR Lux
ciment BUCECO - sac de 50kg, livré de N'Gozi à Muyinga	sept-18	30000	kg	600 Muyinga	CR Lux
ciment transport inclus	sept-18	27000	kg	540 Muyinga	CR Lux
ciment	déc-18	25000	kg	500 Muyinga	OIM
ciment SIMBA ou DANGOTE - sac de 50kg	mars-19	26000	kg	520 Muyinga	entretien
ciment BUCECO	mars-19	26000	kg	520 Ruzo (Muyinga)	entretien
ciment	déc-18	26000	kg	520 Makamba	OIM
ciment	déc-18	25000	kg	500 Rutana	OIM
ciment	déc-18	25000	kg	500 Ruyigi	OIM
ciment	déc-18	26000	kg	520 Cankuzo	OIM
ciment	déc-18	26000	kg	520 Kirundo	OIM
ciment - sac de 50kg	juin-18	29000	kg	580 Rutana	CRAterre
ciment - sac de 50kg	août-17	27500	kg	550 Rumonge	CR Lux
ciment SIMBA ou DANGOTE - sac de 50kg	févr-19	33000	kg	660 Rumonge	entretien
ciment BUCECO - sac de 50kg	mars-19	26000	kg	520 Rumonge	entretien
ciment BUCECO - sac de 50kg	juin-17	26500	kg	530 Bujumbura	CR Lux
béton armé, 350kgde ciment /m3 et FAB 6	juin-14	500000	m3	500000	CICR

Chaux

chaux 1ère qualité - sac de 25kg	mars-19	14000	kg	560 Rumonge	entretien
----------------------------------	---------	-------	----	-------------	-----------

Tôles, clous, fers, bêche

toles, clous et fers plats pour 1 maison	févr-13	367322	forfait/maison	367322 Gihogazi	CR Lux
------------------------------------------	---------	--------	----------------	-----------------	--------

Tôle

Tôle BG32	oct-14	11350	pièce	11350 Muyinga	CR Lux
Tôle BG32 livrée de N'Gozi à Muyinga	sept-18	20000	unité	20000 Muyinga	CR Lux
tole ondulée	oct-18	18000	unité	18000 Muyinga	CR Lux
Tôle BG32	déc-18	18000	pièce	18000 Muyinga	OIM
Tôle BG 32	févr-19	18000	unité	18000 Muyinga	entretien

Tôle BG 33	mars-19	16000	unité	16000 Muyinga	entretien
Tôle BG 32	mars-19	17000	pièce	17000 Ruzo (Muyinga)	entretien
Tôle BG32	août-17	13000	pièce	13000 Rumonge	CR Lux
Tôle BG32 (transport inclus)	oct-17	21500	pièce	21500 Rumonge	CR Lux
Tôle BG32	déc-18	20000	pièce	20000 Rumonge	CR Lux
Tôle BG32 3m x 0,84m (1ère qualité)	mars-19	18000	pièce	18000 Rumonge	entretien
Tôle BG32	déc-18	16500	pièce	16500 Makamba	OIM
Tôle BG32	déc-18	17000	pièce	17000 Rutana	OIM
Tôle BG32	déc-18	17500	pièce	17500 Ruyigi	OIM
Tôle BG32	déc-18	18000	pièce	18000 Cankuzo	OIM
Tôle BG32	déc-18	18000	pièce	18000 Kirundo	OIM
Toiture tôle BG32 sur charpente bois	juin-14	23000	m2	23000	CICR

Fer plat

fer plat de 0,5mm et 3m de long (transport inclus)	oct-14	1585	ml	528 Muyinga	CR Lux
fer plat de 0,5mm et 3m de long	oct-15	950	ml	317 Muyinga	CR Lux
fer plat de 0,5mm et 3m de long	oct-15	1000	ml	333 Muyinga	entretien
fer plat de 0,5mm et 3m de long (transport inclus)	sept-17	3000	ml	1000 Muyinga	CR Lux
fer plat de 0,5mm et 3m de long (transport inclus)	sept-17	3500	ml	1167 Giteranyi	CR Lux
fer plat de 0,5mm et 3m de long (transport inclus)	sept-17	3200	ml	1067 Muyinga	CR Lux
fer plat de 0,5mm et 3m de long	oct-18	3000	ml	1000 Muyinga	entretien
fer plat (kg)	nov-17	3900	ml	355 Rumonge	CR Lux
fer plat, rouleau de 5kg	févr-19	90000	ml	1638 Rumonge	entretien

Clous ordinaires

clous (kg)	oct-14	2870	kg	2870 Muyinga	CR Lux
clous (kg)	sept-17	5700	kg	5700 Muyinga	CR Lux
clous (kg)	sept-17	6000	kg	6000 Giteranyi	CR Lux
clous (kg)	nov-17	5500	kg	5500 Muyinga	CR Lux
clous (kg)	nov-18	5000	kg	5000 Muyinga	CR Lux
clous (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Muyinga	OIM
clous (kg)	nov-17	5500	kg	5500 Rumonge	CR Lux
clous (kg)	mars-18	7000	kg	7000 Rumonge	CR Lux
clous (kg)	déc-18	6000	kg	6000 Rumonge	CR Lux
clous (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Makamba	OIM
clous (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Rutana	OIM
clous (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Ruyigi	OIM
clous (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Cankuzo	OIM

clous (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Kirundo	OIM
------------	--------	------	----	--------------	-----

Clous pour tôle

clous pour tôle (kg)	oct-14	3320	kg	3320 Muyinga	CR Lux
clous pour tole (kg)	sept-17	6700	kg	6700 Muyinga	CR Lux
clous pour tole (kg)	sept-17	7000	kg	7000 Giteranyi	CR Lux
clous pour tole (kg)	nov-17	6500	kg	6500 Muyinga	CR Lux
clous pour tole (kg)	oct-18	7000	kg	7000 Muyinga	CR Lux
clous pour tole (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Muyinga	OIM
clous pour tole (kg)	août-17	3500	kg	3500 Rumonge	CR Lux
clous pour tole (kg)	nov-17	7500	kg	7500 Rumonge	CR Lux
clous pour tole (kg)	mars-18	8000	kg	8000 Rumonge	CR Lux
clous pour tole (kg)	déc-18	10000	kg	10000 Rumonge	CR Lux
clous pour tole (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Makamba	OIM
clous pour tole (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Rutana	OIM
clous pour tole (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Ruyigi	OIM
clous pour tole (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Cankuzo	OIM
clous pour tole (kg)	déc-18	5000	kg	5000 Kirundo	OIM

fers à béton

fers à béton 1ère qualité diam 10, 12m	mars-19	24500	ml	2042 Rumonge	entretien
fers à béton 10mm de diamètre	févr-14	15000	ml	1250 Muyinga	CR Lux
fers à béton 1ère qualité diam 8, 12m	mars-19	17000	ml	1417 Rumonge	entretien
fers à béton 1ère qualité diam 8, 12m	févr-14	12000	ml	1000 Muyinga	CR Lux
fers à béton 1ère qualité diam 6, 12m	mars-19	10000	ml	833 Rumonge	entretien

Bâche

bâche pour barrière capillaire (1m ?)	août-17	1400	ml	1400 Rumonge	CR Lux
bâche pour barrière capillaire (ml)	juin-14	2750	ml	2750	CICR
bâche murs de maison	oct-17	25000	unité	25000 Rumonge	CR Lux

Bois pour charpente

Perches

perches de 12cm de diamètre	oct-18	2000	unité	2000 Muyinga	CR Lux
perches de 12cm de diamètre (transport inclus)	oct-17	2500	unité	2500 Giteranyi	CR Lux
perches de 12cm et 7m de long	déc-17	2600	unité	2600 Rumonge	CR Lux
perches de 12cm et 7m de long	mars-18	2600	unité	2600 Rumonge	CR Lux
perches de 10cm et 7m de long	déc-17	2500	unité	2500 Rumonge	CR Lux
perches de 10cm et 7m de long (transport inclus)	oct-17	2200	unité	2200 Giteranyi	CR Lux

perches de 10cm de diamètre	oct-18	1700	unité	1700 Muyinga	CR Lux
perches de 10cm et 7m de long	mars-18	2500	unité	2500 Rumonge	CR Lux
perche	déc-18	2000	unité	2000 Makamba	OIM
perche	déc-18	1500	unité	1500 Rutana	OIM
perche	déc-18	1500	unité	1500 Ruyigi	OIM
perche	déc-18	1800	unité	1800 Cankuzo	OIM
perche	déc-18	1700	unité	1700 Muyinga	OIM
perche	déc-18	1800	unité	1800 Kirundo	OIM

Madrier

madriers de 4m de long	déc-17	4900	unité	4900 Rumonge	CR Lux
madrier	déc-18	5500	unité	5500 Rumonge	CR Lux
madrier de 3,2m de long (livraison inclus)	févr-19	6500	unité	6500 Rumonge	entretien
madriers de 4m de long	oct-18	3700	unité	3700 Muyinga	CR Lux
madrier eucalyptus	déc-18	4500	unité	4500 Muyinga	OIM
madrier de 4m de long, transport inclus	oct-17	4000	unité	4000 Giteranyi	CR Lux
madrier eucalyptus	déc-18	3000	unité	3000 Makamba	OIM
madrier eucalyptus	déc-18	3000	unité	3000 Rutana	OIM
madrier eucalyptus	déc-18	3500	unité	3500 Ruyigi	OIM
madrier eucalyptus	déc-18	3500	unité	3500 Cankuzo	OIM
madrier eucalyptus	déc-18	4000	unité	4000 Kirundo	OIM

Portes et fenêtres

fenêtres en bois 80x60cm	déc-18	10000	unité	10000 Muyinga	CR Lux
fenêtres en bois 80x60cm	mai-18	9000	unité	9000 Rumonge	CR Lux
portes en bois 180x80cm	déc-18	26000	unité	26000 Muyinga	CR Lux
porte	mai-18	18000	unité	18000 Rumonge	CR Lux

Essence, huiles et transport

Transport

transport de 120 bennes de Muyinga à Giteranyi (30km)	sept-17	7200000	prix/m3.km	667 Giteranyi	CR Lux
transport de 120 bennes de Muyinga à Giteranyi (30km)	oct-17	8000000	prix/m3.km	741 Giteranyi	CR Lux
transport de 125 bennes de sable de Muyinga à Giteranyi (30km)	oct-18	4800000	prix/m3.km	427 Giteranyi	CR Lux
transport de 250 bennes de moellons de carrière de Muyinga à Giteranyi (30km)	oct-18	9700000	prix/m3.km	431 Giteranyi	CR Lux

transport pour 2000 madriers de 4m de Muyinga à Giteranyi (30km)	oct-18	600000	prix /pièce.km	10	Giteranyi	CR Lux
transport de 1200 portes et 700 fenêtres de Buj à Rumonge (40km)	mai-18	1500000	prix /pièce.km	20	Rumonge	CR Lux
Essence et diesel						
gasoil	oct-18	2350	prix/L	2350	Bujumbura	CR Lux
gasoil	oct-18	2480	prix/L	2480	Rumonge	entretien
essence	mai-17	2100	prix/L	2100	Bujumbura	CR Lux
essence	sept-17	2125	prix/L	2125	Bujumbura	CR Lux
essence	déc-17	2100		2100	Bujumbura	CR Lux
mazout (1L)	déc-18	2416	prix/L	2416		CR Lux
diesel	févr-19	2416	prix/L	2416	Muyinga	entretien
essence L (pour technicien de l'environnement)	déc-18	2466	prix/L	2466		CR Lux
essence	févr-19	2466	prix/L	2466	Muyinga	entretien
Huile						
huile de moteur pour presse (bidon de 4L)	oct-18	60000	prix/L	15000	Rumonge	entretien
huile de moteur	mai-17	13000	prix/L	13000		CR Lux
huile hydraulique	oct-18	12500	prix/L	12500	Rumonge	entretien
Main d'œuvre						
Main d'œuvre non qualifiée						
chargement de sacs de ciment	mai-18	200	/sac	200	Rumonge	CR Lux
chargement et déchargement sac de ciment, pièce	déc-17	300	/sac	300	Muyinga	CR Lux
manœuvre non qualifiée (/jour)	mars-19	3000	/jour	3000		entretien
manœuvre non qualifiée (/jour)	mars-19	3000	/jour	3000	Rumonge	CR Lux
manœuvre non qualifiée (/jour)	mars-19	4000	/jour	4000	Bujumbura	entretien
Maçons						
Maçon BTC	juin-18	7500	/jour	7500	Rutana	CRAtterre
Maçon BTC (forfait maison, 3 manoeuvre à ajouter)	févr-19	450000	/maison	450000	Rumonge	entretien
maçons pour cuisine (2ème et dernière tranche)	nov-18	9500	/cuisine	19000	Muyinga	CR Lux
maçons pour latrine (2ème et dernière tranche)	nov-18	7000	/latrine	14000	Muyinga	CR Lux
maçons pour une maison (2ème et dernière tranche)	nov-18	60000	/maison	120000	Muyinga	CR Lux
maçons pour maison, cuisine et latrine	juil-15	150000	forfait	150000	Muyinga	CR Lux
main d'œuvre pour la construction d'un foyer	nov-18	10000	/maçon.foyer	10000	Muyinga	CR Lux
maçon adobe (/jour)	mars-19	7000	/jour	7000	Rumonge	entretien

maçon pour fondation d'une maison	oct-17	100000	/maison	100000 Rumonge	CR Lux
-----------------------------------	--------	--------	---------	----------------	--------

Main d'œuvre qualifiée production BTC

machiniste presse Hydraform BTC (/jour)	mars-19	8000	/jour	8000 Bujumbura	entretien
chef de production BTC (/jour)	mars-19	10000	/jour	10000 Bujumbura	entretien
main d'œuvre et presse manuelle BTC	mars-19	180	/pièce	180 Bujumbura	entretien
main d'œuvre et presse manuelle BTC	mars-19	180	/pièce	180 Rumonge	entretien
machiniste presse Hydraform (/jour)	mars-19	9000	/jour	9000 Rumonge	CR Lux

Constructeur / charpentier

Ossature bois, portes, fenêtres, murs bâches et toiture tôle	mars-18	200000	/maison	200000 Rumonge	CR Lux
--------------------------------------------------------------	---------	--------	---------	----------------	--------

Enduit

Enduit	oct-15	15000	/maison	15000 Muyinga	entretien
--------	--------	-------	---------	---------------	-----------

Petit équipement de chantier

Petit équipement de chantier
env 10 000 000 pour les 174 maisons à Kigwena

Annexe 7 : Estimation des coûts de production des BTC auto-bloquant

Le prix de revient pour une production manuelle est estimé à 1030 FBU :

BTC autobloquant (presse hydraulique)	Unité	Coût	Commentaires
Main d'œuvre qualifiée et presses	FBU/unité	24	3 personnes par presse
Main d'œuvre non qualifiée	FBU/unité	42	14 personnes par presse, hors arrosage
Terre	FBU/unité	193	7L de terre foisonnée par bloc, 10% de rebus
Sable	FBU/unité	55	10% de rebus
Ciment	FBU/unité	379	0,5L de ciment par bloc
Eau	FBU/unité	224	8L/jour pendant 14 jours de cure, prix de l'arrosage de 2FBU/L (eau disponible sur chantier)
Essence	FBU/unité	37	15L par jour et par presse
Huile de moteur	FBU/unité	75	5L par jour et par presse
Huile hydraulique	FBU/unité	5	100L par an et par presse
Total	FBU	1034	

Le prix de revient pour une production manuelle est estimé à 1110 FBU :

BTC autobloquant (presse manuelle)	Unité	Coût	Commentaires
Main d'œuvre qualifiée et presses	FBU/unité	180	Tarif négocié en mars 2019 dans le cadre du projet de Kigwena
Main d'œuvre non qualifiée	FBU/unité	75	10 personnes par presse manuelle pour préparation du mélange et transport des BTC, hors arrosage
Terre	FBU/unité	193	7L de terre foisonnée par bloc, 10% de rebus
Sable	FBU/unité	55	10% de rebus
Ciment	FBU/unité	379	0,5L de ciment par bloc
Eau	FBU/unité	224	8L/jour pendant 14 jours de cure, prix de l'arrosage de 2FBU/L (eau disponible sur chantier)
Total	FBU	1106	

Date 28/02/2019

Lieu : Bujumbura et Bohomba

Personnes rencontrées :

Réverien, Directeur Général du Secrétariat des sinistrés, Ministère des droits de la personne et des affaires sociales

Francine, Conseillère au Ministère des droits de la personne et des affaires sociales

Chef de site du VRI de Bohomba

Ernest, chef de chantier BTC de Bohomba

Village Rural Intégré de Bohomba :

168 maisons construites entre 2008 et 2018, en deux phases :

- Phase 1 : 100 maisons de 3 pièces en adobes
- Phase 2 : 68 maisons de 4 pièces en BTC auto-bloquants

C'est l'un des 30 VRI construits au Burundi depuis 2004. Ils abritent principalement des rapatriés de 1972, à raison d'une centaine de maisons par VRI.

Les maisons en BTC ont été financées par le PNUD et construites par le Ministère.

Caractéristiques des BTC autobloquants :

La taille « officielle » des BTC est de 23 x 23 x 10 (cm). La mesure de quelques BTC montre que la hauteur est plutôt de 11,5, et la longueur varie entre 20 et 24cm. Selon Ernest, la longueur varie en fonction de l'humidité du mélange.

Le moule doit être rempli avec un seau (10L) de terre foisonnée, mais il est possible de faire des demi-blocs en ne mettant que 5L de mélange dans la presse. De plus, elle est équipée d'un outil permettant une découpe des blocs sans casse. Les blocs sont souvent taillés pour obtenir la longueur juste de la rangée.

Un moule spécifique permet de faire les blocs angulaires.

Une campagne de formulation a eu lieu avant de lancer le chantier pour préciser la composition du mélange. Officiellement, 1C / 15T / 5S (soit des BTC stabilisés à 6%). Mais la terre (extraite d'une carrière) variait légèrement selon les arrivages. Ernest utilisait les tests de la bouteille et du lavage de mains pour juger de la quantité d'argile dans la terre et donc ajuster la composition du mélange, en général en mettant moins de terre. Aussi, avec un sac de ciment, il produisait entre 45 et 70 BTC.

Processus de production :

La terre (rouge) provient d'une carrière près de Muzinda, à environ 5km. Cette terre est couramment utilisée pour réaliser des mortiers (pour maçonnerie briques cuites) et plus occasionnellement des enduits (quand les gens n'ont pas l'argent pour faire un enduit ciment). Le sable provient de la rivière à proximité, à environ 1km. Le sable et la terre sont livrés par camion benne de 3m³ puis tamisé (8mm). Les rebus sont de l'ordre de 1/6^e pour la terre et d'1/10^e pour le sable.

4 personnes sont chargées de faire le mélange, d'abord manuellement puis à l'aide d'un malaxeur. Puis les blocs sont moulés puis déposés sur une bâche pour la cure humide. Pendant cette cure de 14 jours, les blocs sont arrosés 2 fois par jour et stockés sous bâche. Puis séchage 14 jours en tas aéré au soleil.

3 blocs par jour sont testés à la compression grâce à un outil intégré à la presse. La limite d'acceptabilité est de 3MPa. Le premier mois de production a été encadré par une personne trop peu formée, et toute la production a dû être jetée car les blocs avaient des résistances trop faibles (certains blocs ont été utilisés sur le projet pour les escaliers des latrines). Les étapes cruciales sont la

révision régulière de la composition du mélange, et l'arrosage pendant la cure humide. Une fois Ernest chef de production et ces 2 étapes maîtrisées, il n'y a plus eu de BTC à moins de 3MPa.

En tout, 24 personnes (non-qualifiées) et 3 machinistes sont nécessaires pour faire tourner les 4 presses Hydraform. Chaque presse produit jusqu'à 1200 BTC / jour lorsqu'elle est neuve. Les presses utilisées sur le projet ont 14 ans et produisent environ 1000 BTC/jour, soit une production journalière pour ce projet de 4000BTC. Il y a eu peu de problèmes de panne car les machinistes pouvaient généralement réparer les presses, et un réparateur pouvait venir rapidement vu la proximité avec la ville. Cela pose plus problème pour les chantiers à la campagne. Ernest annonce 4 jours de production nécessaires pour 1 maison [*NDLR : c'est beaucoup !! Une maison devrait compter entre 3000 et 4000 BTC*].

Chaque presse consomme de l'huile de moteur et du gasoil (10L/jr quand la presse est neuve, ici 15L/jr). Elles ont été importées d'Afrique du Sud. Les pièces de rechange sont généralement importées d'Ouganda. Les presses manuelles permettent de produire 3 fois moins de BTC/jr.

Les ouvriers sont payés à la tâche, pas à la journée.

Processus de mise en œuvre :

5 équipes de 4 ouvriers qualifiés et 1 à 2 apprentis travaillaient en parallèle sur 5 maisons. Chaque équipe pouvait construire 2 à 3 maisons par mois. Ernest insiste sur l'importance de la formation et le fait que les ouvriers ne peuvent pas être formés sur le chantier si on veut avoir un rythme de production correct.

Les fondations représentent un coût important du projet, surtout ici où elles font 1m de profondeur (contre 40 ou 50cm d'habitude). Elles sont faites en moellons de carrière et mortier ciment. Les moellons proviennent d'une carrière éloignée, dans la montagne, mais ils ne savent pas d'où précisément.

La barrière capillaire est faite en bâche plastique à environ 20cm du sol, puis la première assise de BTC est posée. Cette étape est cruciale car si cette assise a un défaut de planéité, c'est tout le mur qu'il faudra démonter car on ne peut pas rattraper un défaut d'horizontalité des lits avec du mortier. Cela n'est pas arrivé sur le chantier, mais arrive souvent en formation.

Le chaînage haut est réalisé grâce à 2 fers feuillards plats qui courent tout le long des murs, y compris murs intérieurs, et qui sont cloués aux BTC [*suffisamment rigides pour agir comme chaînage ?*]. Ces fers coûtent chers. Des feuillards sont aussi utilisés pour ancrer la charpente dans les murs, ils sont pliés pour suivre les joints des BTC. Du mortier à 5% de ciment est utilisé pour couronner les murs et faire la jonction entre les toles et les BTC.

Les habitants ne peuvent pas mettre d'enduit extérieur car les autorités souhaitent que les BTC restent apparents. Ils peuvent par contre rejointés au ciment, ce qui a été fait par certains dans le VRI. Ils peuvent faire un enduit intérieur, et beaucoup le font quand ils ont l'argent (enduit sable ciment).

Le sol est en moellons lourds puis chappe ciment car il y avait trop de problèmes de remontées d'eau, sur cette opération.

Les angles de la construction ne sont pas renforcés. Ils sont faits avec des blocs spécifiques.

Les ouvriers sont payés à la tâche, pas à la journée.

Entretien :

Un entretien de la toiture via le remplacement de toles est à prévoir. Les habitants qui n'en ont pas les moyens peuvent demander une livraison de tôles au Ministère.

Les murs peuvent être partiellement démontés pour une réparation (ou pour intégration de claustrats par exemple, comme cela a été fait sur la maison rejointoyée).

Il n'y a pas d'espace tampon entre la tôle et l'espace de vie, ni de plafond. La circulation d'air n'est pas très bonne.

Equipements et compétences disponibles :

Les personnes formées l'ont été par le PNUD en 2004. Sur les 47 formés, 10 continuent à travailler avec les BTC, mais pas exclusivement. Ernest travaille avec toutes sortes de maçonnerie, mais majoritairement BTC. Il a réalisé une maison de particulier à Kinundo (?) [quartier de Bujumbura], et 3 murs de clôture. Il a appliqué un vernis sur ces murs, et après 10 ans ils sont toujours en bon état. Il a utilisé des presses manuelles pour ces chantiers. Les presses Hydraform peuvent être prêtées par le PNUD. Les presses manuelles peuvent être louées à des associations. Il n'y en a pas à Bujumbura, il y en a une à Rumonge.

L'association de Rumonge propose de fabriquer les BTC à partir de matières premières fournies par le client pour 180FBU/BTC. Il faut prévoir que ce prix sera d'environ 230FBU d'ici 3 ans, ce qui correspond à la période classique entre l'établissement du devis et la livraison du chantier.

Coût de production des BTC :

Pour faire 1000 blocs, il faut :

	Coût actuel	Prévision à 3 ans
Main d'œuvre peu qualifiée	3000 x 24 = 72000	+ 500 x 24
Machinistes	3 x 8000 = 24000	+ 2000 x 3
Chef de chantier	10000	+ 2000
Carburant : 10 à 15L (/jr ou / 1000BTC ?)		
16 sacs de ciment		
1 benne de sable (/jr ou / 1000BTC ?)	60000	+10000
Terre : 3 bennes (/jr ou / 1000BTC ?)		
Huile de moteur : 3L		

[Terre + sable : 12m³, soit 12 000 L de mélange, soit 1200 BTC. Il y a une incohérence entre la production annoncée de 4000 BTC/jour et les quantités de terre, sable et carburant annoncées par jour. On a une main d'œuvre estimée à 106000FBU, ce qui est cohérent avec le coût de BTC vendu par l'association à 180FBU].

Constructions en adobes

Les adobes font 40 x 18 x 10 à 12cm. Elles ont été réalisées à partir de la terre du site, via des fosses de profondeur maximale 1m car la nappe est très proche dans cette zone. C'est la terre de surface qui est utilisée, une terre noire très organique et dans laquelle ils laissent les restes de végétaux pour armer les adobes et limiter les fissurations.

La terre est malaxée et mouillée, puis moulée immédiatement après. En général, il n'y a pas d'ajout de sable, principalement pour des raisons financières. Les adobes ne sont jamais stabilisées.

Sur cette opération, la livraison en eau posait problème, des bidons d'eau étaient amenés à vélo depuis la rivière (environ 1km).

Les adobes sèchent en 1 semaine environ. Elles sont produites exclusivement pendant la saison sèche. Pendant la phase de séchage, les adobes ne sont couvertes de paille que si elles ont tendance à fissurer.

Une benne de 3m³ de sable coûtait environ 35000FBU il y a dix ans, contre 60000FBU maintenant. Prévoir une augmentation probable à 70000FBU d'ici 3 ans. Il vient de la rivière qui est proche donc n'est pas trop cher, le transport impacte beaucoup sur le prix.

Les adobes ont été produites et posées par des professionnels, pas forcément qualifiés. Les salaires des maçons sont beaucoup plus bas que pour la maçonnerie de BTC. Une adobe coûte aujourd'hui 150 à 200 FBU (rémunération main d'œuvre). En 2008, il fallait compter 80 à 100 FBU.

Des enduits terre ont été fait à l'intérieur et à l'extérieur. Puis un enduit ciment a été posé à l'extérieur. Pas d'entretien depuis 2008. Enduits très dégradés.

Lieu Bureau de la CR Lux à Bujumbura

Date 01/03/19

Personnes rencontrées :

Marta Loribeiro, Shelter Cluster Coordinator, IOM

Michel Jaquet, Shelter Cluster Associate Coordinator, IOM

- Les organisations qui travaillent sur des projets de construction d'habitat en ce moment sont :
 - La COPED, une organisation burundaise religieuse, qui travaille avec des BTC et pour la construction de camps de réfugiés ;
 - L'ADRA, qui utilise leurs propres modèles en adobes et avec 3 pièces sans appliquer les consignes du gouvernement, principalement vers Cibitoke. Contacter Eddy Nahimana et Joël.
 - Le GVC (italien), qui travaille à la construction d'hôtels ;
 - CRS a un projet à l'étude à Rumonge ;
 - Les CR Lux et la CR Finlande qui a un projet à l'étude.
- IOM n'a aucune info sur ce qu'il s'est passé avant 2015 – 2016, et en particulier sur les programmes du Conseil Norvégien pour les Réfugiés.
- Le VRI de Rumonge est un village test pour la construction de maisons en murs porteurs BTC auto-bloquants. C'est le PNUD qui finance cette partie (c'est la seule organisation qui soutient l'emploi de BTC pour la construction de maisons).
- Le gouvernement souhaite que l'emploi de BTC auto-bloquant soit systématique dans les villes ou villages qui se situent à proximité des routes nationales et ont donc une grande visibilité. Il est plus flexible pour les constructions en zone rurale isolée. Selon IOM, c'est surtout l'image de développement qui pousse le gouvernement à avoir cette position.
- IOM n'a pas d'étude sur les dégâts occasionnés par les inondations en 2016.
- IOM milite eux pour l'utilisation de torchis. Le gouvernement y est farouchement opposé mais les habitants sont eux réceptifs.
- IOM ont des infos sur les prix des matériaux de construction, actuels et des 2 dernières années. Ils ont aussi relevé les prix (en particulier tôle et perches) en novembre 2018 sur 3 marchés, à Makamba, Rutana et Cankuzo.
- Les bâches utilisées pour la construction des murs des maisons semi-permanentes sont importées et chères. Il en faut 7 par maison, cela revient plus chers que la production de murs en adobes, mais moins que BTC.
- Selon IOM, un gros avantage du torchis est de pouvoir être fabriqué toute l'année. Il leur semble important d'en parler dans le cadre de l'étude et pendant l'atelier. Son principal inconvénient étant l'utilisation de bois, éventuellement parler de la bauge ?
- Il semble important de proposer aussi des alternatives aux fondations pierre / ciment car les pierres sont très chères. A Rumonge, le poste fondation a représenté 400\$/maison.
- Il est très difficile de s'approvisionner en ciment BUCECO car il y en a rarement en magasin, ils sont obligés d'importer.
- La chaux coûte chère et n'est pas produite localement, peu de volumes disponibles.

- Les tôles sont importées du Kenya (tôle ondulée) ou d'Ouganda (tôle avec ondulation rectangulaire).
- Une porte coûtait 40 000 FBU en sept 2017, elle en coûte 60 000 maintenant. Les perches en bois coûtait 3500 FBU en sept 2017, et 5000 aujourd'hui.
- Il y souvent des pénuries de carburants pendant plusieurs jours, c'est une denrée relativement rare et le transport affecte beaucoup le prix et les délais de livraison. Il arrive souvent que le matériau lui-même soit disponible mais ne puisse pas être transporté jusqu'au chantier.

Date 01/03/2019

Lieu : VRI de Kigwena, Rumonge

Personnes rencontrées :

Odasse, chef de chantier BTC de Kigwena

Village Rural Intégré de Kigwena :

174 maisons livrées par la CR Luxembourgeoise, avec fondations, toitures, portes et fenêtres. Les murs sont en bache (7 par maison, ce qui est plus cher que adobes mais moins que BTC) car le gouvernement souhaitait que les murs soient fait en BTC, ce que la CR Luxembourg n'avait pas budgétisé (ils travaillent d'habitude avec des murs en adobes produites par les bénéficiaires).

Sur les 174 maisons, 18 ont vu leurs murs construits en BTC auto-bloquants grâce à un financement du gouvernement, mais qui n'a pas suffi pour construire les murs de l'ensemble des maisons. Le PNUD a accepté de financer le reste des murs, mais il y a actuellement un problème de versements des salaires aux employés, et le chantier est à l'arrêt depuis 3 semaines. 5 maisons ont été construites lors de cette deuxième phase. La CRL est le partenaire opérationnel de cette opération. Le PNUD met à disposition les presses et fait livrer les matériaux.

C'est l'un des 30 VRI construits au Burundi depuis 2004. Ils abritent principalement des rapatriés de 1972, à raison d'une centaine de maisons par VRI.

La CRL fait des contrats avec les bénéficiaires pour qu'ils restent propriétaires de leur habitat pendant au moins 10 ans. Le foncier prend de la valeur autour des VRI et leur construction entraîne la construction de maisons sur les parcelles alentours. Les habitants balisent ainsi leur terrain et augmentent leurs valeurs (dédommagement dans le cas d'une extension du VRI).

Caractéristiques des BTC autobloquants :

La taille « officielle » des BTC est de 23 x 23 x 10 (cm). La mesure de quelques BTC montre que la hauteur est plutôt de 11,5, et la longueur varie entre 20 et 24cm. Cette variabilité de longueur n'est pas vraiment un problème, elle implique seulement de retailler des blocs par rangée pour obtenir la bonne longueur totale (les BTC Hydraform sont pressés dans le sens de la longueur). Par contre, les presses manuelles compressent le BTC dans le sens de la hauteur, ce qui entraîne des différences de hauteur, surtout concernant les parties mâles et femelles, et cela pose des problèmes d'emboîtement.

Les BTC sont légèrement différents selon la presse utilisée, aussi ils sont stockés par presse et dans la mesure du possible, ils n'utilisent les BTC que d'une presse pour construire une maison.

Le moule doit être rempli avec un sceau (10L) de terre foisonnée, mais il est possible de faire des demi-blocs en ne mettant que 5L de mélange dans la presse. De plus, elle est équipée d'un outil permettant une découpe des blocs sans casse. Les blocs sont souvent taillés pour obtenir la longueur juste de la rangée.

Ils semblent qu'ils n'ont pas de moule spécifique pour faire les demi-blocs, qu'ils utilisent en blocs angulaires, ce qui implique que la partie mâle doit être retaillée ce qui détruit localement l'encastrement et fragilise les coins des maisons !

La terre est livrée d'une carrière, ils considèrent qu'elle ne varie pas suffisamment pour changer la recette. Par contre, son humidité varie beaucoup, et ils évaluent l'humidité 2 fois par jour au toucher pour déterminer la quantité d'eau à ajouter. EN général, ils n'en ajoutent pas car la terre est suffisamment humide. Ils ont plutôt le problème inverse, les terres doivent être protégées de la pluie, les tas sont stockés sous des bâches. [Une évaluation au toucher d'un tas tamisé il y a quelques semaines et stockés sous bache depuis montre que la terre est à une teneur en eau a priori correcte pour la production de BTC].

3100 BTC utilisés pour une maison.

Les BTC sont régulièrement testés à la compression, avec des valeurs comprises entre 6,5 et 7,9 MPa, ce qui est largement au-dessus du seuil de 3,5MPa, et aucun BTC n'a été jeté après ce test.

Processus de production :

Ils ne savent pas d'où proviennent les matériaux livrés par le PNUD (terre rouge, sable et ciment).

La terre est tamisée (maille de 8mm). Cela pose problème lorsque la terre est trop humide, car il y a de nombreux agrégats d'argiles, et donc beaucoup de rebus. Le sable est lui aussi tamisé, avec des rebus importants.

6 presses hydrauliques ont été prêtées par le PNUD. Actuellement, seule 1 fonctionne. Des techniciens sont intervenus pendant 3 jours cette semaine, et doivent revenir lundi. Les pièces de rechange viennent d'Ouganda, ce qui pose des problèmes de disponibilité et de transport. Une des presses n'est pas réparable. Les presses ont 14 ans et ne produisent plus que 900 BTC/jour. Mais cette production journalière n'est pas souvent atteinte, car il arrive régulièrement que la presse fonctionne le matin, mais pas l'après-midi.

Aussi, 3 presses manuelles ont été amenées sur le chantier. Ces presses ont été fournies par le PNUD à des associations, qui gèrent ces presses et la main d'œuvre associée, et se fait rémunérer au BTC produit (180FBU/BTC).

Il faut compter 40 manœuvres par presse hydraulique, principalement affecté au transport des BTC de la presse jusqu'à la zone de cure / séchage, mais aussi au mélange, au tamis, et à l'arrosage. L'arrosage des BTC en cure se fait 2 fois par jour, à raison de 2 arrosoirs (20L) par colonne de BTC (5), pendant 14 jours.

Les 3 presses manuelles exigent 15 personnes fortes uniquement pour remplissage du moule et compression. Il faut compter 3 personnes par presse uniquement pour la compression. Cette tâche est très très pénible et les personnes doivent se relayer. De plus, elles ne font ce travail qu'une semaine sur 2 car c'est trop fatiguant. Comme les commandes ne sont pas non plus nombreuses, ces personnes ne font ce travail que comme activité secondaire.

Il faut compter 1min30 pour produire un BTC avec la manuelle, soit 400 BTC par jour [à raison de 10h de compression dans la journée !].

Les presses restent généralement sur place tant qu'il n'y a pas d'autre chantier BTC, puis sont transportées vers d'autres chantiers.

Les manœuvres sont en général payés 3000 FBU/jour.

Processus de mise en œuvre :

Un badigeon ciment a été testé sur une maison pour tester l'amélioration de la résistance des blocs à la pluie.

Les linteaux des maisons sont réalisés à l'aide de 3 planches de bois, qui coffrent un remplissage [il semblerait que mortier terre mais nos accompagnateurs ne savaient pas].

Des équipes de 4 maçons formés ont travaillé sur le chantier, ils viennent d'autres régions car il n'y a pas de maçons formés à Rumonge. Ils réalisent une maison en 7 jours pour les plus performants, en 9 jours sinon. Ces maçons ont un salaire très supérieurs à celui de maçons non formés à la technique.

Un contrôle très régulier au niveau est nécessaire, sous peine de devoir démonter le mur sinon, ce qui n'arrive pas quand les maçons sont vigilants.

La barrière capillaire est faite en bâche plastique à environ 20cm du sol, puis la première assise de BTC est posée. Cette étape est cruciale car si cette assise a un défaut de planéité, c'est tout le mur qu'il faudra démonter car on ne peut pas rattraper un défaut d'horizontalité des lits avec du mortier.

Nos accompagnateurs ne savaient pas ce qu'il en était du chaînage haut. Par contre, ils ont insisté sur l'ancrage de la charpente grâce à des fers plats insérés dans la maçonnerie, car le site est exposé à un vent fort en provenance du lac Tanganyika.

Du mortier à 5% de ciment est utilisé pour couronner les murs et faire la jonction entre les toles et les BTC.

Entretien :

Aucune réparation n'est prévue au niveau des murs. Les presses ne resteront pas sur place et aucun stock de BTC de remplacement n'est prévu.

Il n'y a pas d'espace tampon entre la tôle et l'espace de vie, ni de plafond. La circulation d'air n'est pas très bonne.

Constructions en adobes, adobes cuites et briques cuites :

La taille des adobes est très variable d'un site à un autre, principalement en fonction des caractéristiques de la terre du site. De même, elles sont couvertes par des feuilles de palmier selon la terre et fissuration au séchage [notre accompagnateur pense que cette couverture en feuilles de palmiers sert à éviter une trop forte exposition à la pluie, pas au soleil].

Ici, elles mesurent 30 x 17 x 10 (voir photos).

Elles sont exclusivement produites par les habitants, sans encadrement spécifique, à partir de la terre du site. Certains habitants ont construit une église en bordure du village, mais ils n'avaient pas assez d'argent pour couvrir de tôles l'ensemble de la charpente. De grosses pluies en décembre / janvier ont provoqué l'écroulement du mur qui n'était pas protégé.

Un bénéficiaire a produit une dizaine d'adobes en août dernier, qu'il stocke à l'extérieur et couvre avec du plastique en cas de pluies. Régularité moyenne. Elles sont destinées à construire un abri pour ses animaux.

Pas de briques cuites produites à proximité. Les briques cuites (petit format) s'achètent à 40FBU, à peu près partout dans le pays.

De nombreuses extensions de maisons sont construites en adobes. Certaines en adobes cuites, totalement ou partiellement (adobes qui se situent au-dessus de la tôle sont cuites). Ces adobes sont cuites sur place, éventuellement achetées ou « ramassées ». Un four d'adobes cuites a été abandonné à proximité immédiate du site car les briques produites étaient de trop mauvaise qualité. En effet, la terre contient trop de sable et les briques cassent si la cuisson est trop longue.

Un maçon adobe (« non-qualifié ») est payé 7000 FBU/jour.

Lieu Siège CR Burundi

Date 04/03/19

Personne interviewée : **Eddy, ingénieur CR Burundi en charge du suivi du projet Shelter de Kigwena**

Ressources matérielles pour la construction des maisons

Les matériaux locaux sont : terre rouge, sable, bois, pierre. A l'intérieur du pays, c'est plus difficile de s'approvisionner en sable. A Rumonge, ils n'ont pas pu utiliser le sable du lac Tanganyika, qui est trop salé. Le sable venait donc de Gatete, à moins de 25km de Kigwena [environ 10km entre les 2 villages selon google maps]. La terre venait elle d'un lieu proche, à quelques kms (moins de 10). La terre rouge est facile à trouver sur tout le territoire mais elle se trouve à environ 2,5m sous le niveau du terrain naturel. La terre arable doit être retirée. Elle contient environ 2/3 d'argile et 1/3 de sable. Elle ne convient pas pour la fabrication des briques cuites, pour lesquelles la terre doit contenir plus de 4/5^{ème} d'argile. Pour les adobes, on utilise n'importe quelle terre, sauf la terre végétale. Selon lui, en général, les gens savent qu'il ne faut pas utiliser la terre végétale.

Il n'a pas été envisagé de travailler avec des briques cuites pour le projet de Kigwena car le gouvernement voulait construire en BTC, et de toute façon il n'y a pas de production de briques cuites localement. En plus, la construction en briques cuites demande beaucoup de ciment pour le mortier. Les tuiles se trouvent facilement si on accepte de les transporter sur des distances moyennes.

Le bois se trouve assez facilement sur le territoire en général, mais pas à Rumonge car il y a eu beaucoup de déforestation pour les plantations de palmiers.

Les matériaux importés pour la construction sont : ciment, clous, tôles, bâches, fers feuillards. Le ciment vient de Tanzanie si c'est du SIMBA et du Kenya si c'est du Dangote. Ce ciment est de bonne qualité (42,5). Le ciment BUCECO est disponible mais moins résistant (32,5), c'est déconseillé de l'utiliser pour les BTC. Par contre, pas de problèmes pour l'utiliser pour des enduits par exemple. Le ciment transite majoritairement par Bujumbura. Les tôles et clous sont généralement achetés en région (à Rumonge et à Muyinga). Il lui semble que la matière première du ciment BUCECO vient de Tanzanie. Les BTC demandent beaucoup de ciment.

Les consommables pour les presses : carburant, huile de moteur, huile hydraulique

Le petit équipement de chantier : brouettes, marteaux, truelles, balais, tamis, seaux, niveaux etc. Ce matériel doit être régulièrement remplacé, ce qui revient relativement cher au final. Pour illustration : il y a eu une première facture de 8 000 000 FBU pour les installations de chantier de Kigwena (il y a un hangar de stockage de ciment) et le petit équipement, à laquelle se sont ajoutées deux factures, une de 4 000 000 FBU et une de 2 000 000 FBU pour du remplacement de petit équipement.

Les ressources sont stockées sur place et gérées par le magasinier. Il y a des gardiens qui surveillent ces stocks la nuit.

Coût des produits

Le gasoil coûtait 2350FBU/L à Bujumbura, mais 2480 à Kigwena car il faut ajouter le coût du transport entre les 2 localités. Il est importé par la route depuis la Tanzanie (probablement Dar As Salam) jusqu'à Bujumbura. Il est importé en Tanzanie par bateau. Il faut compter 15L de gasoil par jour et par presse.

Il faut compter 5L d'huile de moteur par jour et par presse. L'huile de moteur coûte chère : 15 000 FBU/L (56 000 FBU pour 4L si on est chanceux, plus souvent 60 000 FBU). Pour l'huile hydraulique, il faut compter 100L / presse et par an. Elle coûte 12500 FBU/L. Ces huiles sont transportées par camion depuis Bujumbura.

Le ciment SIMBA ou DANGOLE s'achète env 33 000 FBU le sac de 50kg à Bujumbura. Il faut après ajouter le transport jusqu'à Rumonge. Le prix du ciment BUCECO est de 26 000 FBU (il est réglementé par l'état), mais dans les faits, son prix varie beaucoup en fonction du cours du dollar. Il passe parfois brusquement à 30 000 FBU le sac, en une semaine.

Globalement, le prix de tout ce qui est importé dépend beaucoup du cours du dollar.

Le coût des matériaux locaux varie lui en fonction de la distance au lieu d'extraction et du prix du gasoil.

La (petite) brique cuite s'achète environ 50 à 60 FBU dans les régions où elle n'est pas chère, par exemple à Bukeye, où on trouve facilement l'argile et où on fabrique donc beaucoup de briques. A Bujumbura, la brique est plus chère car plus éloignée des lieux de production : 70 à 80 FBU la brique.

Les grosses briques cuites ne se vendent pas, elles sont de mauvaise qualité et demandent beaucoup de combustible, elles sont produites par les gens pour leurs propres constructions.

Les adobes ne se vendent pas non plus, c'est de l'auto-production.

A Kigwena, le bois s'achète entre 5500 et 7000 FBU par madrier de longueur 3,2m. Il faut 15 madriers par maison, uniquement pour les linteaux ! Les chutes de madriers sont difficilement réutilisables pour des linteaux, elles le sont pour des charpentes, mais les charpentes du projet de Kigwena ont déjà été construites, avant les murs.

Les fers feuillards sont utilisés pour arrimer la charpente et pour faire un chaînage haut. Il faut compter 3 rouleaux de 5kg de fer pour réaliser le chaînage haut d'une maison. Chaque rouleau coûte 90 000 FBU, et est importé, via Bujumbura.

Coût de la main d'œuvre

Les maçons sont payés à la tâche. Pour l'élévation des murs en BTC (hors fondations, déjà construites à l'avance), il faut compter 450 000 FBU pour l'ensemble des maçons d'une maison. C'est plus cher que pour des maçons classiques car ils ont suivi une formation spécifique. Il faut en plus ajouter le coût des 3 aides maçons. A Bujumbura, les manœuvres sont payés un peu plus qu'en province, 4000 FBU/jour. A Kigwena, 3000 FBU/ jour. Mais dans le cadre de ce projet, ils ont été payés un peu plus car il s'agissait d'habitant / bénéficiaires et d'une démarche cash for work, avec en plus de leur salaire journalier la constitution d'une petite épargne pour leur permettre de lancer une activité génératrice de revenus à la fin du chantier.

Seule une équipe de maçons a été formée à la construction en BTC, ce sont donc les mêmes maçons qui sont déployés sur tout le territoire pour suivre les projets BTC.

Ce n'est pas le cas pour les adobes et briques cuites. On trouve facilement des « mauvais » maçons, mais il faut faire venir des maçons de Bujumbura pour avoir une maçonnerie de qualité. En général, ils essaient de faire des équipes mixtes maçons de Bujumbura et maçons locaux.

Les charpentes sont en général construites par des charpentiers, avec un coût qui dépend d'abord de la taille de la maison, puis de la distance du lieu d'origine du charpentier au lieu du chantier. A Kigwena, les charpentes ont été construites en 2016 ou 2017, avant qu'il ne suive le chantier, et il ne sait pas comment cela s'est passé.

Système constructif BTC auto-bloquants

Avec les presses manuelles, on ne peut pas faire de demi-blocs, car les blocs sont pressés dans le sens de la hauteur. Les blocs sont donc coupés à la truelle ! Il faut être précautionneux pour ne pas avoir de casse, cela demande du temps (env 5min par bloc), et gâche la moitié d'un bloc. En plus, le bloc est coupé droit, sans emboîtement mâle / femelle.

Les linteaux sont remplis avec du mortier sable-ciment.

Lieu : Département des sciences de la terre, Université du Burundi Date : 04/03/2019

Personne interviewée : Théodose Simuzeye – theodose.simuzeye@ub.edu.bi

La ressource terre

Skat a beaucoup de données concernant les études de sol. Il faut leur demander. Si ils ne les ont pas, Théodose me les enverra.

Les terres très argileuses sont généralement dans les marais, les terres plus sableuses sur les flancs de collines. Lorsque les briquetiers ont épuisé la terre des marais, il arrive qu'ils utilisent la terre des flancs, ce qui donne des briques de moins bonne qualité.

On trouve de la terre rouge moyennement argileuse à peu près partout sur le territoire. Il y a quelques rares cas de villages où on ne trouve que de la terre très sableuse, par exemple à Vyanda, dans la région de Bururi.

Plusieurs études de caractérisation de sols avaient été faites dans le cadre du projet Fours Tunnels en 1999, mais elles ont été perdues.

Il y a peu de carrières de terre dédiée à la construction. En général, les gens prennent la terre sans autorisation. Il n'y a que pour des grosses productions de briques cuites que l'Etat accorde des permissions d'exploitations spécifiques (les terrains restent propriété de l'Etat). L'OBEM est un nouveau service du ministère, qui a pour but de recenser les carrières.

Il n'y a aucune pratique de reconversion des carrières. Elles sont en général abandonnées en l'état.

Les habitants prennent la terre du site sans se soucier d'enlever la terre arable.

Théodose me donne une carte géologique de Muyinga et de Rumonge (pas de légende fournie). Les zones rose saumon indique les zones de latérite, dans lesquelles on peut facilement trouver des terres argileuses. Les zones rouges des zones granitiques, où on peut trouver du sable. Les zones jaunes peuvent aussi être source de sable, mais en général elles contiennent aussi des métaux (or, coltan) et ne sont donc pas exploités pour du sable.

Il y a du kaolin disponible en bonne quantité, même si de plus en plus de réserves deviennent inaccessibles du fait de nouvelles constructions. Le kaolin est utilisé pour faire des badigeons.

La ressource sable

On trouve du sable relativement facilement, soit dans le lit des rivières, soit au sommet des collines. A Muyinga, le sable n'est pas vraiment du sable, mais de la terre sableuse.

Les roches

Les roches pour les fondations sont de qualités très différentes, y compris au sein d'une même carrière. Le Burundi est un pays qui a subi beaucoup de déformations géologiques, les roches sont écrasées et fragilisées. Aussi, c'est difficile de trouver des roches de bonne qualité. Elles sont toutefois globalement de qualité satisfaisante pour construire des maisons de 1 niveau.

Le ciment

Les matières premières pour la production du ciment BUCECO sont importées du Kenya. Il y a de grandes réserves de calcaire au Burundi qui pourraient être utilisées pour la production de ciment (en particulier à Rutana et à N'Gozi), mais ce n'est pas le cas actuellement. Ces réserves sont de moins en moins accessibles car elles sont de plus en plus construites.

La chaux

Il n'y a plus de production de chaux au Burundi. Il y avait une production industrielle à Rutana, mais elle est arrêtée. Il n'y a pas de petites unités réparties sur le territoire.

L'acier

Les produits en acier sont soit importés déjà transformés, soit importés par plaques et transformés à l'usine de Masumba. Il y a aussi une usine de refonte d'objets métalliques qui fabriquent notamment des fers à béton de mauvaise qualité à partir de cet acier de seconde main (Iron steel).

Les filières de production d'adobes et de briques

Théodose a essayé de promouvoir des techniques et pratiques pour améliorer la production des adobes ici (par exemple en stabilisant avec de la bouse, ou avec des fibres), mais cela n'a pas pris. Il n'y a aucun encadrement technique de ces productions, et il est trop difficile de faire changer les habitudes de production des gens. Il y a des associations de producteurs, mais ceux-ci se regroupent pour mettre en commun des équipements et augmenter leurs recettes, mais aucun travail sur la qualité des produits. Il n'y a aucune formation à la production de matériaux locaux sur le territoire et au sein de ces associations, y compris pour des tests très basiques d'évaluation des caractéristiques des terres.

Il y a des productions de tuiles à Kayanza (90% des toitures) et à Gitega. Très peu ailleurs, où il s'agit plutôt de chaume et de tôles. Des paysans produisent eux-mêmes leurs propres tuiles en utilisant des moules très sommaires (parfois leurs propres bras) et de la terre de qualité médiocre. Ces tuiles ne s'emboîtent généralement pas bien, ce qui pose beaucoup de problèmes pour obtenir une toiture de qualité. La perméabilité de tuiles a été testée en laboratoire, et a montré que l'on obtenait des résultats très variés, de 15min à plus d'un jour pour que l'eau transperce.

Les briques cuites présentent elles aussi des résistances mécaniques très très variables. Cela étant dû d'une part à la terre utilisée, d'autre part à la cuisson. Les acheteurs ne savent généralement pas juger de la qualité des briques cuites. Le prix est le même pour toutes, quelle que soit leur emplacement dans le four et donc la cuisson obtenue. Le prix varie en fonction des régions. Les briques de Kayanza par exemple sont réputées de bonne qualité et sont chères, malgré le fait que la terre des marais y a été épuisée et que les producteurs utilisent de plus en plus la terre des collines, entraînant de fait une baisse de la qualité de leur production.

Il faut de plus compter les taxes communales, que l'on doit payer quand on fait sortir des matériaux 'une commune. Plus on transporte les matériaux sur de grandes distances, plus on paie de taxes au niveau de barrages « douaniers ».

Théodose a fait un émission au Rwanda avec SKAT pour la recherche de combustible alternatif pour les briquetteries. Au Burundi, il y a du son de riz utilisé pour alimenter des fours, mais les résultats ne sont pour l'instant pas satisfaisant (qualité de cuisson très médiocre). Les fours améliorés mis en œuvre au Rwanda sont intéressants. Il n'y a pas à sa connaissance d'évaluation de leur empreinte carbone, mais on voit qu'avec très peu de combustibles, on obtient une bonne qualité de cuisson. Un four amélioré avait été mis en place au Burundi mais il ne marche plus actuellement, peut-être parce que la réserve d'argile locale a été épuisée.

Ce n'est que récemment que les gens ont commencé à produire des grosses briques cuites. Elles ne se trouvent pas sur le marché, c'est de l'auto-production. Elles sont de qualité médiocre.

Lieu Muyinga Date 05/03/19

Personnes rencontrées : **CR Burundi de Muyinga : Jean Berchmans Ntaneza (coordinateur terrain) (ntanezaj@gmail.com), Jacques Riragendanwa (point focal construction) (jackfilsrira@gmail.com), Dany Nzoyisaba (point focal DRR) (nzodany@gmail.com)**

Historique du projet

400 maisons construites an 2011-12 sur la commune de Muyinga, puis 300 en 2013 à Buhinyuza

En 2014-15, 125 maisons à Muyinga et 125 à Buhinyuza.

Arrêt temporaire du projet en 2016.

Reprise en 2017, avec la construction de 80 maisons à Giteranyi en 2017, puis 250 maisons achevées à l'automne 2018 : 9 maisons par colline. Les bénéficiaires sont choisis par la communauté dans une liste de 18 foyers sélectionnés par les autorités, avec certains critères établis par la CR. Parmi les critères, les parcelles doivent se situer près des routes pour permettre la livraison des matériaux.

En 2019, la construction de 45 maisons est prévue.

Maisons de 5 x 7 m dans un premier temps, puis de 6 x 8 m depuis 2014.

Processus de production des adobes

Fourniture de tout le matériel par la CR, sauf des adobes, à la charge des bénéficiaires de les fabriquer. La main d'œuvre pour maçonner les adobes et payée par la CR, mais les bénéficiaires sont censés aider les maçons, et ne sont pas rémunérés pour cela.

Les moules des adobes étaient fournis par la CR pour contrôler les dimensions : 40 x 20 x 20. Dimensions choisies car permet une très grande rapidité d'exécution. Une seul moule, et les maçons taillaient des adobes à la truelle au besoin.

Les terres sont issues des parcelles des bénéficiaires (dont ils sont propriétaires). La terre arable est enlevée (env 30 cm), et la terre rouge qui se trouve dessous et extraite. Les fosses peuvent atteindre 2m de profondeur. Elles doivent ensuite être rebouchées par les bénéficiaires.

Ajout de fibres parfois, pour pouvoir faire des grosses adobes avec toutes les terres [*fibres ajoutées dans des terres plus sableuses...*].

Moule trempée dans l'eau avant moulage. Par contre, pas de temps de macération du mélange avant moulage.

L'eau coûte chère. Des bâches et des bidons sont fournis avant le chantier, et les bénéficiaires doivent aller chercher l'eau, qu'ils stockent dans une piscine réalisée à l'aide de la bâche. Les adobes sont produites en avril, à une période où il pleut encore beaucoup. Puis une couche d'1cm de terre est répartie sur les adobes, en attendant la fin des pluies. Cette couche est balayée en juin, pour permettre aux adobes de sécher. Cette technique marche très bien. [*Tharcisse doute de cette technique, dit que c'est très théorique, il faut confirmer*].

L'espace nécessaire pour faire sécher les adobes est chez eux ou chez les voisins, ceci ne pose en général pas de problème.

La CRB exige que toutes les adobes soient produites avant de démarrer le chantier, pour être sûr que le maçon puisse finir.

Les bénéficiaires physiquement faibles représentaient près de 2/3 des bénéficiaires. Ce sont des volontaires de la CRB qui les aidaient à produire les adobes, ce qui entraînait des retards. Il y a aussi eu des équipes d'entraides de bénéficiaires. Certains demandaient aussi de l'aide à leurs voisins.

Les bénéficiaires ont 1 mois pour produire les 2000 adobes.

Processus de construction des maisons

Difficile de trouver de la main d'œuvre car beaucoup travaille en Tanzanie.

Les bénéficiaires sont chargés de faire les enduits. Certains utilisent de la terre seule, et doivent les refaire régulièrement. D'autres ajoutent des fibres, ou utilisent du sable, des cendres et de la sève de plantes (voir maison bénéficiaire de 2015).

½ benne de sable et 2 sacs de ciment et des moellons sont fournis par maison pour faire un « soubassement ». Il s'agit en fait d'un traitement de la base des murs à l'extérieur, sachant que les fondations et la base des murs sont en adobes maçonnés à la terre ! Ils rencontrent assez peu de problèmes de remontées capillaires (pas de barrière capillaire prévue). Les moellons sont mis en œuvre sur la face extérieure des façades, pour les isoler des eaux de ruissellement.

Difficultés liés aux processus administratifs CR pour faire acheter les produits via appel d'offre. Mais une fois le vendeur sélectionné, les délais de livraison étaient respectés, ils n'ont pas eu de problèmes d'approvisionnement.

Si la charpente arrive trop tard, les murs ont tendance à se déformer, il n'y a pas de chaînage haut. Il y a des planches de répartition dans les maisons les plus récentes. Les murs ont des élancements importants (15 à 20), et ne sont pas chaînés. Le haut des murs pignons est collé à une ferme, mais sans lien autre que l'encastrement (approximatif) des sablières. Il faudra proposer autre chose pour ces parties fragiles en cas de séisme.

La pente des toitures est de 30°, le débord de 35cm (sur les maisons, pas de débord pour les cuisines et latrines).

1m de mur est monté (en 1 jour si l'aide des maçons est efficace), puis on attend 2 jours avant de monter le mètre suivant. La construction de la maison se fait en 15 jours si les maçons reçoivent assez d'aide.

Coût et création d'emplois

1 chef maçon par colline (9 maisons), qui recrutent ses maçons (3 x 9) et les paient. 150 000 FBU de 2011 à 2015, 165 000 maintenant.

Les tôles viennent de Bujumbura, comme tout ce qui est importé, qui DOIT transiter par Bujumbura. Elle coûte 18 000 FBU pièce.

Les moellons viennent de Muyinga, il faut compter 120 000 FBU / benne. Les bennes font officiellement 4m³, mais elles sont rarement remplies, il faut compter plutôt 3 à 3,5m³.

En 2017, les maisons étaient construites sur une zone assez étendue, de l'ordre de 30km. Le transport était donc très différent selon les maisons.

Le sable était trouvé sur la commune, 130 000 FBU par benne (3 à 3,5m³).

Le bois de Muyinga, à environ 15km.

Une adobe de 40 x 20 x 20 peut être achetée 350 FBU pièce, à Muyinga, et 250 FBU si elle fait 30 x 20 x 20.

Une brique cuite s'achète 50 FBU car il y a pas mal de production dans la région. Elle mesure entre 16 et 18 cm de long, pour 8 à 9cm de large et 4 à 5 de haut.

8 fers plats nécessaires pour ancrer la charpente des maisons et 4 pour latrines et 4 pour cuisine, soit 16 par bénéficiaire. Il faut compter 3000 FBU [*probablement pour 3m*] en 2018, contre 1000 en 2015.

Tuiles artisanales : 100 à 150 FBU pièce. Mais les tuiles ne se trouvent pas en grande quantité, et sont difficiles à transporter sans casse. Plus cela demande une fortification de la charpente. Tuile améliorée : 250 à 300 FBU.

Les factures pour le transport incluent une marge de sécurité pour prendre en compte la hausse du carburant en cas de pénurie (s'il y a pénurie plusieurs jours d'affilée, les prix doublent). Essence : 2466 FBU/L et diesel (camion) 2416 FBU/L.

Entretien des maisons

Certaines maisons sont particulièrement bien entretenues. En général, elles sont correctement entretenues.

Des rigoles sont creusées et entretenues par les bénéficiaires autour de la maison pour la collecte des eaux.

Des arbres sont fournis par la CR pour être plantés en barrière coupe vent.

Gouttière posée par CRB et entretenue par bénéficiaires. Aucune tôle n'a dû être remplacée pour l'instant.

1/3 des bénéficiaires pouvaient faire l'enduit eux-mêmes. Les autres ont payé quelqu'un [*15 000 FBU en 2015 indiqué lors de la visite de la maison de 2015*].

Certains bénéficiaires ont étendu les murs intérieurs jusqu'à la toiture, en adobes.

La maison de 2013 a des poteaux d'ancrage de la charpente plantés directement dans le sol et très abîmés.

Lieu : Hangar d'extraction de calcaire à côté d'un ancien four à chaux, à Kagisa, région de Ngozi

Date : 05/03/19 Personne interviewée : Responsable du site

Il y avait un four à chaux ici, mais il est arrêté depuis 20 ans. La chaux n'était pas utilisée pour le bâtiment mais pour corriger l'acidité des sols. L'entreprise a fait faillite.

La roche est toujours extraite pour la production de ciment. 600 à 1000 T de roches vendues par an à BUCECO, le reste de leur matières premières vient du Kenya et du Congo.

La tonne de roche est facturée 100 000 FBU, hors transport, à la charge de l'acheteur.

La production est de 40T/jour, grâce au travail de 100 manœuvres.

Il y a un site similaire à Rutana et un vers Cibitoke.

Les façades blanches des maisons ne sont pas blanchis à la chaux mais au kaolin.

Lieu : Briquetterie proche Muyinga Date : 06/03/19

Personnes interviewés : briquetiers

Ils sont 17 briquetiers en association.

Ils vendent 25 FBU la petite brique (4,5 x 9 x 18) et 30 FBU les moyennes (5 x 11 x 20). Ils n'en font pas de plus grosses car elles demandent trop de combustibles pour être bien cuites.

La qualité des briques semble médiocre. Beaucoup sont cuites une deuxième fois.

Ils doivent payer 1.600.000 FBU /an à l'état et 100.000 FBU / an à la commune pour exploiter le marais. Plus ils paient à la commune 3500 FBU / benne (soit 5000 briques).

Lieu : Giteranyi Date : 06/03/19

Visite de maisons de bénéficiaires de la CR dans la zone de Giteranyi

Points généraux :

Gestion des eaux :

- Zones de stagnation aux abords immédiats des maisons
- Pente du soubassement n'est pas marquée vers l'extérieur : risque de stagnation d'eau en contact avec les adobes, avec le temps et les mouvements de la construction + défaut de mises en œuvre
- Quelques fuites de gouttières créant des flaques sur soubassement
- Récupération d'eau par récipients, qui parfois débordent sans que l'eau ne soit évacuée loin de la maisons
- Certaines maisons ont de bons fossés d'écoulement
- Intérêt des moellons ? Les fondations sont en adobes. Moellons et coupure locale de capillarité... ? Dans le cas où mortier terre... ?
- Pas de fuite observée dans la toiture
- Pente de 30° permet une bonne évacuation des eaux malgré des déformations ou défauts de mise en œuvre
- Les débords sont petits, et encore plus pour les cuisines et latrines. Cela ne montre pas un bon exemple vis-à-vis de la protection des têtes de murs.

Stabilité structurelle :

- Elancement des murs de 15 à 20 au niveau du mur pignon, ce qui est trop élevé pour supporter déformations de sols ou séisme sans chaînage haut. Il faut réfléchir à un chaînage haut économique.
- Fondations moyennement rigides (adobes maçonnées à la terre), nécessité de chaînage bas ?
- Triangle supérieur des murs pignons fragiles, peu connecté à la charpente. Proposer solution torchis ?
- Une des bénéficiaires a étendu le mur intérieur jusqu'à la charpente en adobes. Quelle stabilité de cet ajout ?
- L'enduit n'est pas nécessaire pour protéger les murs et représente un travail physique très important
- L'accroche de la charpente avec des fers plats n'est pas répliquable par les bénéficiaires. Il serait plus intéressant de proposer une accroche avec des matériaux locaux

Exemples de maisons avec pied de murs humide : 20190306_111555, 20190306_112348,

Maison 1 :

Bonne évacuation des eaux à distance de la maison, attention malgré tout à l'eau stagnante sur le soubassement

Fosse très profonde dans le jardin

Trop peu de débords sur cuisine, pas de soubassement et pas de caniveau

Maison 2 :

Stagnation d'eau importante et pied de murs humide sur la façade principale et la maison voisine

Trop peu de débords sur cuisine, pas de soubassement et pas de caniveau, pied de mur très humide à l'arrière

Le bénéficiaire a produit des adobes en plus qu'il utilise pour construire une maison pour son fils. Mais il n'a pas assez d'argent pour acheter des tôles, et certains murs déjà construits sont sans protection

Fosse très profonde dans le jardin

Un abri en torchis est visible chez le voisin, habité

Charpente avec de nombreux éléments bois, quelle optimisation possible ? Par contre, liaisons clou unique, peu efficace pour bloquer la liaison. Quelle proposition d'encastrement ? exemple d'encastrement partiel sur la charpente produite par le bénéficiaire, 20190306_102947

Ferme du mur pignon inutile ? Sauf à confiner le pignon, ce qui n'est pas le cas actuellement

Planches de répartition sur latrine (trop courte) : quelle utilité ?

Le bénéficiaire réalise un enduit à base de terre locale (très sableuse) et d'argile des marais qu'il a laissé tremper 24h. Environ 48 brouettes de terre nécessaire pour faire les enduits de toute la maison.

Il a aussi amélioré le sol de la maison, en mettant une couche de moellons, puis un mortier terre sableuse (700 L) + argile (150kg) + ciment (5 à 10 kg) sur quelques cms, et il souhaite finir avec une fine couche de ciment.

Maison 3 :

Très bel enduit en façade

Pied de mur humide, pas de gestion des pentes au niveau des annexes

Optimisation de la charpente possible

Réserve au niveau du mur adobe, qui ne correspond pas à l'assise avec la charpente... ?

Planche de répartition visible au dessus de la porte de la cuisine, mais pas au niveau des autres poutres

Extension en torchis après le chantier pour la douche

Maison 4 :

Réserve dans le mur en adobes qui ne correspond pas à la charpente.

La maison en torchis au fond du jardin est celle dans laquelle elle habitait avant le chantier CR.

Fosses profondes dans le jardin

Maison 5 :

Décoration de façade et murs intérieurs blancs

Plafond en papyrus

Electricité

Extension en briques cuites qu'on lui a donné, dans le jardin

Ancrage de la toiture en bois

Humidité du pied de mur à l'arrière et stagnation d'eau

Sol en ciment, quelles conséquences sur remontées capillaires ?

Lieu : Bureaux de SKAT à Bujumbura Date : 07/03/19

Personnes rencontrées : Bernard Lacroix (coordinateur PROECCO Burundi – bernard.lacroix@skat.ch), Alexis Harerimana (ingénieur PROECCO Burundi – alexis.hareriman@int.skat.ch), Fatou Ndieye (Directrice du programme – fatou.dieye@skat.ch), Daniel Wyss (Ex-directeur de programme, daniel.wyss@skat.ch)

Présentation de PROECCO Burundi

Programme de promotion de matériaux de construction pour la création d'emploi et la réduction de l'impact environnemental.

4 fours améliorés ont été installés avec le soutien technique et financier (phase de lancement de tests) de PROECCO. Celui de Kayanza est à l'arrêt car le propriétaire a migré à Bujumbura pour être plus prêt des marchés, il produit actuellement 6000 briques modernes / jour, d'une qualité nettement meilleure (alvéolaires ou non).

Il y a aussi une vingtaine de fours tunnels dans le pays (Ngozi, Gitega, Kayanza, Makamba) qui fonctionnent grâce à la combustion de déchets agricoles.

Ils sont prêts à se déployer dans d'autres provinces si il y a une demande. Dans ce cas, ils pourront procéder à la recherche d'un gisement local et à la formation de la main d'œuvre.

Ils assurent aussi la formation de maçons à la demande. Une formation de 100 maçons est prévu en mars, pour l'instant les seules formations sont à Bujumbura, mais ils travaillent à des partenariats pour intégrer un module sur ce système constructif en province.

Le programme est plus développé au Rwanda, entre autres car le gros de l'équipe y est, mais aussi car il y a plus d'investisseurs privés internationaux au Rwanda. Les problèmes de liquidité burundais sont un problème majeur pour la trésorerie des briquetteries, de même que les pénuries de pétrole (sans parler des longueurs administratives).

Plusieurs maisons modèles ont été construites au Rwanda, près de la frontière burundaise.

Comparaison des matériaux

La production d'adobes demande un suivi technique important pour obtenir des constructions de qualité.

PROECCO a décidé de travailler en zones urbaines et péri-urbaines sur des systèmes constructifs performants pour des bâtiments à étage parasismiques, car cela leur permet d'avoir plus d'impact en termes de création d'emplois et de réduction des impacts environnementaux.

Les tuiles demandent un renforcement de la charpente, ce qui est possible dans certaines zones rurales dans lesquelles on trouve du bois facilement et où la main d'œuvre coûte peu. En zones urbaines, ils préconisent de la tuile.

La production de briques cuites demandent un fonds de roulement important car les briques ne peuvent être vendues qu'un mois après leur moulage, et les clients ne veulent pas faire d'avance. C'est donc difficile si il faut en plus fournir un investissement initial important.

Les briquetteries traditionnelles demandent moins d'investissement initial mais posent beaucoup de problèmes à la cuisson (perte d'énergie, pertes de briques importantes). A cela s'ajoute des conditions de travail difficile, y compris pour les enfants.

Leurs expériences ont montré que c'est la cuisson qui est le principal facteur de qualité, le moulage assez peu. Mais le moule influe sur l'esthétique de la brique, ils utilisent des moules métalliques pour les briques pleines améliorées, qui restent moulées manuellement. Ils vendent la brique pleine améliorée entre 80 et 150 FBU (c'est plutôt la demande, assez forte, qui fixe le prix haut). Elles mesurent 20cm x 10cm x 6cm.

Pour monter les briques traditionnelles, il faut compter 4 à 5 m²/jour. Avec les briques alvéolaires et le système constructif PROECCO, 1,5m²/jour.

Perte de 10% en chantier avec les briques traditionnelles, qui se taillent mal.

La brique traditionnelle a une résistance d'environ 5 MPa, les briques pleines cuites dans un four amélioré de 15 MPa, les briques alvéolaires 20 MPa. Ils ont aussi effectué des mesures de capillarité. Au Rwanda, ils ont testé à la résistance à la compression des adobes et des BTC.

Le ciment coûte cher, et le Burundi doit importer la quasi-totalité des matières premières. Il y a de plus peu de stocks, il est donc primordial d'en utiliser le moins possible.

Ils ont travaillé sur BTC Hydraform et Terstaram (auto-bloquant ou non).

Les BTC fabriqués au Rwanda demandait un taux de stabilisation important. C'est une solution intéressante si les murs sont minces, et si on ne fait pas de crépissage. Or, les habitants n'étaient pas satisfaits de la couleur obtenue, ils voulaient crépir, mais cela tient mal sur les BTC. Le coût reste de toute façon relativement élevé.

Les adobes sont le produit bon marché. Leurs résistances mécaniques sont largement suffisantes pour des constructions à 1 niveau. Mais : les adobes ont un problème de statut qu'il ne faut pas négliger. Les autorités rwandaises ne voulaient pas que la technique adobe fasse partie des formations dispensées. Les maisons en briques cuites ne sont pas forcément plus stables, mais elles ont une meilleure image et c'est ce que les gens veulent.

C'est entre autres pour cela qu'ils ont proposé la construction en adobe « hybride ». Il s'agit de renforcer les coins et les pourtours des baies par des briques cuites. C'est techniquement intéressant, et encore plus en termes de communication.

Les maisons en adobes, adobes hybrides et BTC ont subi des tremblements de terre en septembre et octobre 2016 (5,6 sur l'échelle de Richter) et se sont très bien comportées (alors que les bureaux de SKAT et de nombreuses ossatures béton ont souffert).

Les fours améliorés permettent d'économiser 80% d'énergie rien qu'en isolant mieux le four et en optimisant l'allumage, en production de briques pleines. On économise encore un peu plus en fabriquant les briques alvéolaires.

La terre disponible sur place au Rwanda était trop chargée en particules volcaniques. Ils ont dû chercher de la terre dans la vallée d'à côté. Il y a toujours de la terre correcte pas loin, mais ce n'est pas forcément celle du site, l'approvisionnement en terre pour faire de bonnes adobes n'est pas si simple. Dans cette région, les gens construisaient en torchis.

Ils ont essayé de développer des panneaux en torchis pré-fabriqués, mais cela n'était pas très satisfaisant d'un point de vue économique (Handicap International met souvent en œuvre des panneaux préfa en torchis dans différentes opérations d'abris d'urgence temporaires de par le monde).

Ils estiment qu'il faut 6 à 7 MJ / kg d'argile dans les fours traditionnels à cause d'une perte de chaleur importante), à laquelle s'ajoutent une mauvaise combustion du bois qui n'est pas assez sec, et régulièrement une mauvaise maîtrise de la cuisson (l'allumage consomme beaucoup, de même qu'une montée lente en température). Seulement 20 à 30% des briques d'un four sont bien cuites. Les autres doivent être recuites ou jetées (alors que pourraient aussi être utilisées ailleurs, par exemple en cloisons intérieures).

Système constructif PROECCO

Le système constructif permet de construire des murs creux porteurs, avec très peu de mortier ciment.

La brique alvéolaire est vendue 170 FBU. A Bujumbura, le système constructif est compétitif pour la construction de maisons à niveaux. En province, ce n'est pas forcément le cas.

Des raidisseurs verticaux (fers à béton et ciment) sont coulés dans les briques tous les 4m.

Ils peuvent monter jusqu'à R+3, avec un système de hourdis préfabriqués pour couler une dalle de béton de 5cm.

2 murs porteurs qui ne doivent comporter que de petites ouvertures, et être éloignés de 5m max. Les larges ouvertures ne sont autorisées que sur les 2 murs non porteurs.

Les chantiers ont pour l'instant concerné des établissements de luxe et hôtels.

Un projet de 30 maisons pour personnes vulnérables est toutefois en cours près de l'aéroport de Bujumbura, à Buterere, construites et financées par l'association FXB (suisse). SKAT émet quelques réserves sur ce projet car il se situe en zone inondable, et ne lui a donc pas apporté son soutien technique. Du coup, le design et la mise en œuvre des constructions ne sont pas exemplaires (en particulier, problème de calepinage et taille de briques sur chantier). Il est très difficile de transmettre l'importance du calepinage et de fixer la dimension du mur en fonction du module de base de la maçonnerie. Le budget de l'opération avait été élaborée pour des constructions en briques traditionnelles, et ils ont pu le tenir avec le système constructif PROECCO, même sans optimisation.

Le système constructif PROECCO permet une amélioration parasismique très nette dans le cas de bâtiment à étage, par rapport à la maçonnerie briques cuites traditionnelles.

Documents qu'ils peuvent nous transmettre

Carte géologique pour identification des gisements potentiels, avec des zooms locaux

Evaluation impact carbone (à l'échelle de la brique et à l'échelle du bâtiment)

Rapport sur les tests de résistance à la compression des différents matériaux, y compris adobes et BTC

Evaluation financière