



Guide de référence sur les abris des personnes vulnérables au Burundi

De l'urgence au durable.

Révision des abris et des ANA au Burundi.

Avril 2019

Soutenues par:



Table des matières

Résumé exécutif	6
Liste des abréviations	8
A. Rapport de la Conférence Nationale sur les abris et ANA au Burundi 2019	2
A.1. Contexte de la conférence	3
A.2. Besoins	3
A.3. Déroulement des travaux et recommandations par thématiques.....	4
A.4. Conclusion : recommandations principales de la conférence.....	10
B. Faisabilité technique et économique des normes et recommandations émises pour les ANAs et les constructions d’abris au Burundi	12
B.1. Les abris d’urgence	13
B.1.1. Architecture	13
B.1.2. Préparations avant la construction	14
B.1.3. Élévation des murs.....	15
B.1.4. Charpente et toiture.....	17
B.1.5. Menuiserie en bois (portes et fenêtres).....	17
B.1.6. Protection	17
B.1.7. Réduction des risques de catastrophes.....	18
B.2. Les abris transitoires	19
B.2.1. Architecture	19
B.2.2. Préparations avec la construction	20
B.2.3. Elévations des murs	21
B.2.4. Charpente et toiture.....	21
B.2.5. Menuiseries en bois (Portes et fenêtres)	23
B.2.6. Protection	24
B.2.7. Réduction des risques de catastrophes.....	24
B.2.8. Le passage du transitoire au durable.....	25
B.3. L’habitat durable	27
B.3.1. Architecture	27
B.3.2. Fondation.....	30
B.3.3. Élévation des murs.....	31
B.3.4. Charpente et toiture.....	33
B.3.5. Menuiseries en bois (portes et fenêtres)	33
B.3.6. Protection	33
B.3.7. Réduction des risques de catastrophes.....	33
B.3.8. Entretien	33
B.3.9. Cuisine et foyer améliorée.....	33
B.3.9. Latrine-douche.....	35
B.4. Les ANA	39
B.4.1. Kit de cuisine.....	39
B.4.2. Kit de couchage.....	39
B.4.3. Kit de puisage et de conservation d’eau	40
B.4.4. Kits d’hygiène.....	40
B.4.5. Kit de dignité.....	40
C. Sélection et information des bénéficiaires.....	41
C.1. Critères de sélection	42
C.2. Répartition des bénéficiaires	42

C.3. Information	42
D. Les annexes	43
D.1. Annexe 1 : Étude technique : Analyse comparative des techniques de maçonnerie en terre	II
D.1. Résumé exécutif	II
D.1.1. Présentation générale du contexte	V
D.1.2. Les différentes techniques de maçonnerie au Burundi	X
D.1.3. Objectifs et méthodologie de l'enquête	XXI
D.1.4. Études de cas	XXIV
D.1.5. Recommandations sur la production et la mise en œuvre des matériaux	XLI
D.1.6. Amélioration de la qualité de mise en œuvre	XLVI
D.1.7. Conclusions.....	LXIV
D.1.8. Bibliographie.....	LXVIII
D.2. Annexe 2 : Conclusions de l'atelier sur les techniques de construction dans la région des grands lacs, avril 2013	LXX
D.2.1. Introduction.....	LXX
D.2.2. Site d'implantation	LXXII
D.2.3. Fondation	LXXVI
D.2.4. Structures	LXXVIII
D.2.5. Toitures.....	LXXXI
D.2.6. Services.....	LXXXV
D.2.7. Dimensions et nombre de chambres	LXXXVIII
D.2.8. Tableau récapitulatif de toutes les améliorations proposées.....	LXXXIX
D.3. Annexe 3 : Comment construire un foyer amélioré	XCV
D.5. Annexe 5 : Vue générale sur les normes et recommandations de l'abri transitoire.....	XCVIII
D.6. Annexe 6 : Vue générale sur les normes et recommandations de l'habitat durable	C
D.7. Annexe 7 : Vue générale sur les ANA.....	CII
D.8. Annexe 8 : Devis quantitatifs et estimatifs	CIII
E. Remerciements	CIIV

Résumé exécutif

Guidés par la volonté permanente d'améliorer périodiquement les standards de construction de l'habitat en faveur des personnes déplacées internes, rapatriées et vulnérables des communautés d'accueil, les intervenants du secteur de l'habitat au Burundi ont pris l'habitude de se rencontrer de manière régulière pour évaluer et revoir le contenu du programme habitat afin de l'adapter aux besoins du moment.

Le premier document guide du programme habitat dans le secteur de construction de l'habitat pour les vulnérables a été produit en 2006 par le UNHCR, suivi par un atelier du 22 au 24 avril 2013 organisé par la Croix-Rouge du Burundi (CRB) et Croix-Rouge Luxembourgeoise (AICRL). L'un des résultats de cet atelier était un répertoire de toutes les bonnes pratiques à promouvoir dans la construction d'abris ruraux afin de sortir de la phase d'urgence et s'inscrire plutôt dans une logique de développement et de durabilité. Pour donner suite à la volonté du gouvernement d'améliorer la construction des maisons pour des personnes affectées par l'utilisation des briques stabilisées au ciment à partir de 2016, la CRB, l'AICRL et l'OIM se sont ainsi mobilisées pour l'organisation d'un atelier à cet égard. Le but était d'étudier la faisabilité et les moyens d'actualiser et d'améliorer les pratiques en vigueur aujourd'hui dans ce domaine, mais aussi dans le domaine des urgences et en y incluant le sujet des articles-non-alimentaires (ANA). Par conséquent, l'atelier a été intitulé : «de l'urgence au durable - Révision des abris et ANA au Burundi ».

Ainsi, ce guide de référence comporte une première partie portée sur ledit atelier national qui a eu lieu du 8 au 11 avril 2019. Une deuxième partie rassemble les principales normes standards et un certain nombre de recommandations techniques sur les abris d'urgence, transitoires et durables, et des ANA formulées à la suite de la conférence, des différentes études et les évaluations d'un comité technique formé à la suite de l'atelier afin de travailler sur ce guide sur une durée de deux semaines, comportant des experts techniques désignés par les organisations membres du secteur Abris/NA au Burundi et qui ont souhaité participer (PCRS, IOM, CRB, OPIRCo, ADRA, World Vision, CRS). Cette partie est suivie de diverses études, guides, fiches techniques et devis dans les annexes.

Pour tous les types d'abris et les ANA, on peut observer le besoin d'actualiser et adapter les normes existantes pour refléter les nouvelles exigences de l'augmentation de taille moyenne des ménages au Burundi et les nouvelles considérations socio-économiques et écologiques dans le pays. En ce qui concerne le débat sur le choix de matériaux de constructions pour l'habitat durable, principalement des briques adobes mais aussi des Blocs de Terre Comprimés (BTC), un écart important reste entre ces deux types de briques d'un point de vue économique. Pour cette raison, les BTC seront seulement recommandées pour une application à certains programmes, et en particulier pour les constructions dans les villages ruraux intégrés (VRI).

Enfin, on rappelle aussi l'importance de ne pas juger des performances d'un matériau en soi, mais selon les fonctions qu'il doit atteindre, sa conformité de la conception et réalisation avec les règles de l'art et finalement l'entretien régulier. Tous ces points essentiels sont mis en évidence dans ce guide de référence. Par ailleurs, il est important de garder à l'esprit que ce guide comporte des recommandations, suggestions et analyses de faisabilité principalement techniques, et que des critères de contexte, comprenant les aspect sociaux, culturels, fonciers, économiques et écologiques notamment doivent être pris en compte pour toute intervention et l'adapter à ces derniers points, afin de ne pas déstabiliser les communautés existantes.

Liste des abréviations

ADRA	-	Adventist Development and Relief Agency
AICRL	-	Aide Internationale de la Croix-Rouge Luxembourgeoise
ANA	-	Articles Non-Alimentaires
BIF	-	Franc Burundais
BTC	-	Brique de Terre Compressée / Bloc en Terre Comprimée
CRB	-	Croix-Rouge du Burundi
CRS	-	Catholic Relief Service
FICR SRU	-	International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies – Shelter Research Unit
IEC	-	Information, Education, Communication
MDPHASG	-	Ministère des Droits de la Personne Humaine, des Affaires Sociales et du Genre
OCHA	-	Bureau de Coordination des Affaires Humanitaires
OIM	-	Organisation des Nations Unies pour les Migrations
ONG	-	Organisation Non-Gouvernementale
OMS	-	Organisation Mondiale de la Santé
OPIRCo	-	Organisation pour la Prévention et l'Intervention contre les Risques et Contingences
PDI	-	Personnes Déplacées Internes
PNUD	-	Programme des Nations Unies pour le Développement
PROSECCO	-	Promoting Off-farm Employment in the Great Lakes Region through Climate Responsive Construction Material Production
RDC	-	République Démocratique du Congo
SCEP	-	Système de Collecte des Eaux Pluviales
UNHCR/HCR	-	Haut-Commissariat des Nations-Unies pour les réfugiés
VRI	-	Villages Ruraux Intégrés
WASH	-	Water, Sanitation and Hygiene (anglais pour : Eau, Hygiène et Assainissement)

A. Rapport de la Conférence Nationale sur les abris et ANA au Burundi 2019



Crédit : OIM

A.1. Contexte de la conférence

En 2012, la Fédération Internationale de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge - Shelter Research Unit (FICR SRU) a réalisé et publié une étude pilote au Burundi avec pour objectif de documenter les différents types d'abris existants au Burundi, et de proposer des solutions et des innovations adéquates pour en améliorer la durabilité et la solidité.

À la suite des recommandations de cette étude, la Croix-Rouge du Burundi et la Croix-Rouge du Luxembourg ont organisé en avril 2013, avec l'appui technique de l'IFRC SRU, un atelier avec le but de revoir le modèle de maison actuellement utilisé, qui avait été établi par le HCR et d'identifier des améliorations possibles. Cet atelier a vu une cinquantaine de participants de 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 établi en consensus un répertoire de 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 guide de référence 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.

En 2016, la Croix-Rouge du Burundi en collaboration avec la Croix-Rouge du Luxembourg et l'OIM a introduit un projet d'urgence pour appuyer les victimes des inondations de Cashi, Gitaza et Gatumba. Des discussions ont eu lieu entre les organisations et les autorités du Ministère en charge de la réhabilitation des victimes des inondations au sujet des briques à utiliser pour la construction des abris principalement pendant la construction du VRI à Kigwena (Rumonge) pour la réintégration des personnes sinistrées de Cashi et Gitaza de 2016. À la suite de ces discussions 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 2013, actualiser les devis et proposer les matériaux de construction les plus appropriés avec un focus sur la construction des murs et les briques. Grâce à une collaboration avec l'OIM, la thématique de la conférence nationale de 2019 a été élargie pour comprendre aussi les abris d'urgence et transitoires, ainsi que les ANA, afin d'assurer la transition de la phase d'urgence aux phases transitionnelle puis durable, dans un continuum anticipé et travaillé en amont.

A.2. Besoins

Selon le plan de réponse humanitaire de 2018 (établi en novembre 2017), il y aurait environ 440,000 personnes dans le besoin d'abris et d'ANA au Burundi. Le nombre de personnes rapatriées de Tanzanie en 2018 est estimé à 60,000, en outre des 187,626 PDI dont 42,416 ménages déplacés dans le pays. Ces

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

personnes affectées manquent souvent les moyens financiers et l'appui pour réparer ou reconstruire leurs maisons. En outre, la présence des personnes déplacées dans des familles d'accueil accroît la vulnérabilité de ces dernières.

A.3. Déroulement des travaux et recommandations par thématiques

À la suite de l'atelier de 2013 et aux expériences réalisées par les acteurs et face aux besoins très élevés en abris des personnes rapatriées et déplacées internes au Burundi, la conférence qui s'est déroulée du 8 au 11 avril 2019 a cherché à harmoniser des standards de base pour les abris d'urgence, transitoires et durables.

Pour la phase d'urgence notamment, il a été également recommandé de systématiquement communiquer le numéro vert (109), relatif aux urgences, aux bénéficiaires lors des différentes activités (construction/réparation d'abris, distributions d'ANA, etc).

Les abris d'urgence

Le premier jour s'est focalisé sur les abris d'urgence. Les indicateurs Sphère ont été rappelés, notamment la superficie couverte par personne de 3,5 m² p (consi pour assurer la dignité des bénéficiaires. Cet indic Aussi, différents types d'abris d'urgence mis en œuvre dans différents pays ont été discutés tel que les abris d'urgence préfabriqués, les abris collectifs et les abris d'urgence avec des bâches et perches. La relation entre coût et efficacité d'intervention a suscité de nombreux débats.

Un modèle d'abri d'urgence pouvant être déployé en 72 heures a été présenté ainsi que des recommandations formulées pour l'améliorer et assurer la dignité des bénéficiaires. Afin de pouvoir agir assez vite il faut penser à pré positionner les articles non disponibles localement, à former des équipes d'intervention rapide et trouver encore des solutions pour l'approvisionnement rapide en perches. Ceci est en ligne avec l'amélioration de la préparation aux désastres, de disponibiliser des fonds et de prévoir des sites de relocalisation et des plans d'évacuation.

Étant donné qu'au Burundi, la taille des ménages a été récemment recensée à 5,7 personnes en moyenne (recensement PNUD, 2018), le besoin d'augmenter aussi la superficie de l'abri d'urgence a été noté. Une des suggestions émises a donc été de passer de 17,5 à 21 m² pour la superficie intérieure de l'abri afin de pouvoir abriter 6 personnes dignement selon les indicateurs Sphère, sous disponibilité de parcelles suffisamment grandes (> 32 m² pour un abri de 21 m²).

Des solutions pour activement diminuer la consommation de bois ont été proposées, telles que de remplacer le fil à ligaturer par corde et les lattes en bois par des bandes plastiques/caoutchouc pour réduire le coût de l'abri. Des solutions sont encore à trouver pour pouvoir compartimenter l'abri d'urgence pour assurer l'intimité et la protection des filles, mais les bénéficiaires utilisent en général des excès de bâche distribuée afin d'adapter leurs abris.

Pour renforcer la résilience des communautés burundaise vis-à-vis des urgences, le modèle de construction d'un abri d'urgence à la place d'une tente préfabriquée est particulièrement recommandé. Les matériaux de construction pourront être en effet réutilisés par le ménage sinistré pendant la reconstruction de sa maison originale.

Par ailleurs, afin de réduire le risque d'inondation de l'abri ou de pénétration des eaux dans les abris, il a été recommandé d'intégrer dans la mesure du possible un système de drainage (ou un petit caniveau) autour de l'abri, ou bien d'y placer des sacs de sables (ou des briques supplémentaires sur plusieurs niveaux au ras-du-sol, afin de créer une « masse d'usure » qui sera renouvelée après chaque pluie torrentielle)

Les kits ANA

Lors du premier jour de l'atelier, il a aussi été suggéré d'adapter dans la mesure du possible le kit ANA au nouveau nombre moyen de personnes par ménage. Pour les kits de dignité et les kits d'hygiène, dont la responsabilité appartient à d'autres secteurs (respectivement Protection et WASH), il est question d'une amélioration de la coordination avec ces autres secteurs. Il est strictement nécessaire de prévoir un stock de contingence afin de pouvoir pallier aux urgences dans des délais respectables.

Les abris transitoires

Le deuxième jour a démarré avec une session sur les abris transitoires. Comme pour les autres abris, une adaptation des dimensions à 8 x 5,6 m a été suggérée. Chaque abri devrait avoir 4 pièces, dont des chambres séparées pour les parents, les filles et les garçons. Les murs sont en perches et bâches, les fondations à base de moellons dans la mesure du possible. La hauteur du pignon est de 3,6 m et atteint sous le plafond 2,7m. Il est important de choisir un site sûr et de prévoir un terrassement si nécessaire. Il a été souligné qu'une deuxième porte devra faire partie de l'abri transitoire. Cependant, en termes d'opérationnalisation de l'assistance en fonction du contexte, l'option d'uniquement prévoir la porte, en installant le cadre dans l'abri mais en laissant un remplissage temporaire ou une bâche pour fermer a également été validée.

En plus de la structure de l'abri transitoire, il est très important de prendre en compte son emplacement, comme indiqué par le standard Sphère 2 (les abris doivent se situer dans des emplacements sûrs et sans dangers, offrant suffisamment d'espace et un accès aux services et moyens de subsistance essentiels).

Même si la transition entre urgence et développement est difficile, il faut penser au développement dès le début et définir les besoins de réparation de maisons et de relocalisation et trouver des terrains le plus vite possible pour cette relocalisation afin de pouvoir commencer avec la construction d'abris transitoires avec fondations. Les abris d'urgence ont une durée de vie limitée de

maximum 6 mois et il faut essayer de passer au transitoire après ce délai. De plus, il faudrait favoriser la coordination entre acteurs humanitaires et de développement avec un rôle central des autorités nationales.

L'habitat durable

Le ministère de tutelle de l'atelier (MDPHASG) a mis en évidence l'importance d'un accès au logement décent pour les personnes rapatriées qui ne peuvent pas retourner sur leur colline et les PDI les plus vulnérables. Le ministère souhaiterait voir uniquement des abris suivant le modèle développé en 2008 et amélioré à partir en 2013, c'est-à-dire le modèle de 8 x 5.60 m par ménage, et de 3 chambres à coucher.

Il est estimé que les constructions en BTC dans les villages ont un coût avoisinant 10 millions de BIF par maison, tandis que les abris transitoires sont à peu près estimés à 6.5 millions de BIF par abri. En revanche, les constructions en briques adobe dans les collines sont moins chères et sont acceptées dans les collines, étant donné les aspects sociaux, économiques et logistiques. Toutefois, il faudrait encourager à faire des efforts pour améliorer la technique et protéger au mieux les briques de l'érosion et leur fragilisation dans le temps.

En ce concerne les VRI, les défis incluent notamment le financement des murs, le remplacement des bâches, l'inclusion des bénéficiaires, les difficultés à trouver des terrains adéquats. Les leçons apprises sont d'impliquer les administrations dès le début, de prévoir des terres de réinstallation, tandis que le manque de loi sur la gestion et prévention des catastrophes a été pointé, au même titre que la nécessité de développer un plan de contingence au niveau national.

Par la suite, plusieurs sessions ont été données sur les différents types de briques, donnant des explications sur les différentes techniques comme le torchis, la brique adobe, les BTC fabriqués avec des presses manuelles ou des presses hydrauliques, les briques cuites pleines et les briques cuites modernes (et améliorées). Pendant une des présentations, l'accent a été mis sur les facteurs de durabilité d'un mur expliqués par les points sensibles qu'on devrait renforcer comme la tête de mur et le pied de mur ou les ouvertures. Il a été souligné à plusieurs reprises que l'importance du matériel de qualité, de respecter les règles de l'art ainsi que l'entretien régulier est plus important que le choix de briques. Pour plus de détails sur les briques, voir le rapport dans « D.1. Annexe 1 ».

Pour les briques cuites, « seulement » 150 millions de briques sont en moyenne utilisées par année à Bujumbura. La brique cuite est très peu écologique mais la construction de fours modernes permettrait de réduire la consommation de bois d'environ 75 %. Par ailleurs, la brique perforée est plus résistante et diminue encore la consommation de bois.

La fin de la deuxième journée a été clôturée par une présentation sur les analyses environnementales et bioclimatiques. Le compte rendu donné souligne que les murs en adobes ont de loin l'impact environnemental le plus faible (et sont donc bien plus écologiques), suivi par les BTC et finalement les briques cuites dont la production est assez gourmande en bois et produit le plus de CO₂. Pour l'aspect bioclimatique, l'exposition au soleil, la plantation des arbres et de plantes ont été soulignés.

En ce qui concerne les aspects économiques, le coût d'une maison en adobe varie entre 2 à 3 millions de BIF dépendant de l'engagement des bénéficiaires dans l'auto-construction et de la main d'œuvre. Le coût d'une maison en BTC est de plus de 6 millions de BIF tenant compte aussi que le coût de l'eau est assez élevé. Le coût d'une maison en briques cuites est estimé à environ 3 millions de BIF.

Pour ce qui est des améliorations, en général il faut assurer un bon contrôle de la qualité de la terre et ajuster la teneur en eau des mélanges. Il est primordial d'éloigner les eaux de ruissellement de la maison, d'éviter des fosses d'extraction près des maisons et de prévoir un terrassement. Ainsi il faudrait que les fondations soient en moellons, soit avec de la terre, soit avec du ciment en fonction du contexte. Il est essentiel aussi d'avoir un soubassement et une barrière capillaire afin de limiter les remontées d'eau au niveau des murs. Pour assurer une meilleure protection des murs de la pluie, les toits doivent bien déborder les murs.

Une proposition pour améliorer les BTC est de diminuer le besoin d'eau pour la cure en prévoyant une distance faible entre lieu de production et lieu de cure et de recouvrir les BTC le plus vite possible.

Pour les briques de terre en adobe, il faut envisager de diminuer la taille pour une mise en œuvre moins pénible et la possibilité de combiner brique cuite et crue. Aussi, si les moyens le permettent, on peut prévoir un enduit avec un peu de ciment. Des autres améliorations possibles portent sur le renforcement des angles, un meilleur ancrage de la charpente et d'éviter une trop grande proximité des ouvertures avec les angles.

Les thématiques transversales

La prise en compte des aspects transversaux est fondamentale pour une réponse efficace en termes d'abris d'urgence, d'abris transitoires et d'abris durables. Ainsi, les sous ateliers transversaux évoqués comportaient les thématiques de (1) la situation foncière au Burundi ; (2) la modalité Cash (transferts monétaires) ; (3) le suivi et entretien des abris ; (4) la planification des sites ; (5) le genre, l'inclusion et la protection.

(1) Le compte rendu du mini-atelier sur la situation foncière portait sur les conseils du directeur général de l'Aménagement du Territoire (au Ministère des Transports, des Travaux Publics et de l'Équipement) de respecter les zones, lois et procédures pour appuyer les vulnérables sans terre et sans référence. De plus, il est fondamental pour les acteurs gouvernementaux de pré-identifier et acquérir des sites d'installation, ainsi que de prévoir et

coordonner la cartographie et la vulgarisation des sites avec les partenaires concernés.

- (2) En ce qui concerne le Cash, cette modalité peut être intéressante pour le secteur des abris et des ANA. Le développement d'analyses de marché sur les prix de rentes moyens par commune, sur la monétisation des ANA/matériaux de construction et l'établissement d'un Panier de Dépense Minimum (MEB) pour le secteur sont importantes, ainsi que des évaluations des besoins régulier sur les transferts monétaires. Il faudrait aussi renforcer le marché et prévoir une assistance technique.
- (3) Le groupe qui concernait le suivi et entretien des abris se concentrait sur les manières de rendre pérennes les constructions d'abri, tenant en compte d'une bonne préparation à la mise en œuvre de l'abri ainsi qu'une implication des bénéficiaires pour le suivi. Il a été accentué pour les abris d'urgence que les perches devraient être enfouies assez profondément, que pour l'ossature les perches soient bien dimensionnées, et de faire un suivi des liaisons et de la pose. Un suivi par les bénéficiaires est essentiel pour refixer les bâches après des vents violents ou même de réparer les bâches abimées. Pour les abris transitoires, il faut bien préparer le terrain, faire attention à l'orientation des ouvertures, respecter les standards de construction et entretenir les bâches. Même chose pour l'habitat durable, il faut préparer le terrain, faire un terrassement et vérifier la profondeur de la fouille pour les fondations. Le suivi technique, prévoir un faux-plafond et un entretien régulier comme une peinture contre les termites.
- (4) Le groupe qui a travaillé sur la planification des sites a mis en évidence la bonne ventilation et aération du site à tenir en compte, l'importance d'avoir un plan stratégique du site où la végétation doit être prévue d'être implantée à l'avance. De même, il faut éviter la proximité immédiate aux parcs nationaux (où l'écosystème demeure fragile) et faire une étude géographique du terrain, un plan topographique et des occupations, et tenir en compte de la norme Sphere de 3,5 m² de surface couverte minimum disponible par personne dans l'unité d'habitation.
- (5) Le groupe en charge de la thématique sur le genre, l'inclusion et la protection, s'est concentré sur le respect des droits des personnes et du besoin de tenir compte des besoins spécifiques liés lors de l'évaluation, la programmation, la mise en œuvre ainsi qu'au suivi. Ceci implique la participation des femmes, filles, hommes, garçons et autres identités en tant qu'individus et en tant que groupes, de tous les âges, avec handicaps physiques, sensoriels et mentaux ou non, les minorités ethniques, religieuses ou culturelles. Une attention particulière doit être apportée aux personnes les plus vulnérables susceptibles de ne pas avoir accès à l'aide ou partiellement pour diverses raisons (mobilité réduite, éloignement, personnes marginalisées ou discriminées) dans l'analyse des besoins et la réponse. Une analyse préalable de genre/inclusion/protection doit être menée afin de mieux comprendre les dynamiques et les potentiels risques existants. Les mécanismes de collecte de données utilisées à chaque étape ainsi que tout exercice d'évaluation ou de cartographie doivent être adaptées à cette diversité (focus-groups femmes et hommes/âge/appartenance religieuse ou ethnique séparés).

Les réparations d'abris

L'importance de prévoir une coordination entre les acteurs humanitaires et de développement a été soulevée afin de coordonner les efforts et apporter une réponse efficace à des besoins très élevés avec différentes modalités : les réparations de maisons et les constructions de maisons. En effet, il n'est parfois pas nécessaire de fournir une assistance à la construction d'abris, lorsqu'une approche à la réparation peut être plus efficace, toucher plus de ménages, et permet de renforcer les structures socio-économiques et mécanismes de résiliences existants.

Les modèles d'abris durables à la suite des expériences OIM, CRB et ADRA

En comparant les 3 modèles de maisons durables de l'OIM, CRB et ADRA, on peut constater que tous les modèles ont 3 chambres à coucher mais les dimensions varient d'une organisation à une autre. Il y a aussi des différences entre nombre, dimensions et matériels des ouvertures.

Les groupes ont proposé les idées suivantes à appliquer lors de futures constructions de maisons durables pour des personnes vulnérables ou affectées :

- Toutes maisons devraient normalement avoir au moins 8 x 5,6 m pour être conformes avec les plus grands ménages au Burundi. Ces dimensions pourront être modifiées ou adaptées en cas de contraintes financières, culturelles ou géographiques majeures afin d'assister un plus grand nombre de personne, sous conseil des coordinateurs du secteur Abris/ANA et du Ministère de tutelle.
- Pour les ouvertures, il faut prévoir 5 portes et 4 fenêtres. Idéalement, il serait bien d'augmenter la taille des fenêtres à 90 x 80 cm et la taille des portes à 90 x 200 cm. Le pourtour des ouvertures est idéalement renforcé avec du mortier de ciment.
- Une proposition d'idée était de diminuer la largeur des corridors à 80 cm et d'ainsi augmenter les dimensions de la chambre principale.
- La charpente peut être fixée avec des fils à ligature, selon des techniques d'attaches fiables afin d'augmenter la résistance aux vents. Il est recommandé de la construire avec une pente de 30% et de faire les murs de pignon en torchis pour éviter les risques sismiques. La tôle BG32 reste le matériel du premier choix. Un sous-plafond est aussi à prévoir dans l'idéal.
- Un consensus a été obtenu pour que pour que la technique des murs et les briques en adobe soient utilisées pour les collines et les BTC pour les VRI, afin de ne pas créer trop de différences entre les maisons des vulnérables et des autres maisons des communautés alentours existantes.
- Il a été recommandé de faire les fondations en moellons avec du mortier de terre pour abris dans les collines et avec du mortier en ciment pour les VRI. Il faudrait prévoir une barrière capillaire et un soubassement avec une pente vers l'extérieur.

- En ce qui concerne l'eau, les démarches de créer des terrassements si c'est nécessaire, de drainer les eaux de ruissellement, de protéger les fondations du ruissellement de l'eau et des eaux de pluie par des toits débordants, de prévoir des gouttières et des SCEP ont été mises en évidence.
- L'accès à l'eau est une question primordiale dans la réponse en abris, et doit être prise en compte (distance et sécurité du trajet de l'abri au point d'eau le plus proche, modalité de transport ou d'acheminement de l'eau...) ainsi que celle de l'assainissement et d'hygiène (mitigation aux risques de propagation des maladies liées à la défécation à ciel ouvert, etc).
- Il faudrait promouvoir encore plus le volontariat et la solidarité communautaire pour la production des briques.
- Il est essentiel d'impliquer les administrations locales, assurer la participation des autorités et aussi d'impliquer les secteurs concernés ou si besoin le Cluster global.
- Un recours au cash-for-work (transferts monétaires en échange de travail) devrait être envisagé afin de renforcer la main d'œuvre locale.
- Il a été suggéré qu'il faudrait prévoir plus d'accompagnements pour assurer la plantation de plantes et arbres autour de la maison pour fixer les sols et créer des espaces ombragés et protégés de vents violents.

Une recommandation finale du Ministère portait sur l'habitat groupé et encourageait à envisager de nouveaux types d'habitat adaptés à un contexte qui change, sous la forme des villages ruraux intégrés.

A.4. Conclusion : recommandations principales de la conférence

1. Les briques de terre comprimée autobloquantes seront utilisées dans les villages ruraux intégrés (VRI). Les briques adobes seront utilisés quant à elles, sur les collines, avec un crépissage des murs recommandé.
2. Pour la maison modèle durable standard, les dimensions sont dans les VRI et sur les collines d'une longueur de 8 m et d'une largeur de 5.6 m. La maison aura 5 portes dont 2 extérieures et 4 fenêtres pour un ménage moyen de 6 personnes. L'aménagement interne est de 3 chambres, un salon et aura une latrine-douche, et si possible une cuisine. Il est suggéré que la fondation sera à base de moellon.
3. Il faut assurer la transition entre les phases d'urgence, de transitoire, et de durable, dans un continuum anticipé. Pour chaque phase, des standards et normes d'abris convenus doivent respecter la dignité des ménages et des individus.
4. Si possible, inclure les bénéficiaires dans la construction ou réparation des abris.
5. Promouvoir le transfert monétaire dans la mise en œuvre des travaux de construction pour permettre aux bénéficiaires et aux membres de la communauté d'accueil d'accéder aux opportunités économiques.
6. Adapter les kits d'articles non alimentaires et l'abri d'urgence aux besoins des ménages en au contexte, dans la mesure du possible, en considérant l'inclusion

d'un kit de dignité. Ainsi, il faut permettre une meilleure coordination intersectorielle avec l'appui du gouvernement.

7. Disponibiliser des terrains d'évacuation en cas d'urgence et de réinstallation en cas de réintégration durable.
8. Redynamiser les structures de coordination des interventions dans le secteur de l'habitat en faveur des sinistrés.
9. Il faut accentuer la prévention et préparation des risques aux catastrophes afin de pouvoir mieux préparer la réponse aux urgences, avec notamment un pré-positionnement des abris d'urgence et kit d'articles non alimentaires pour les catastrophes naturelles.

B. Faisabilité technique et économique des normes et recommandations émises pour les ANAs et les constructions d'abris au Burundi



Crédit : AICRL

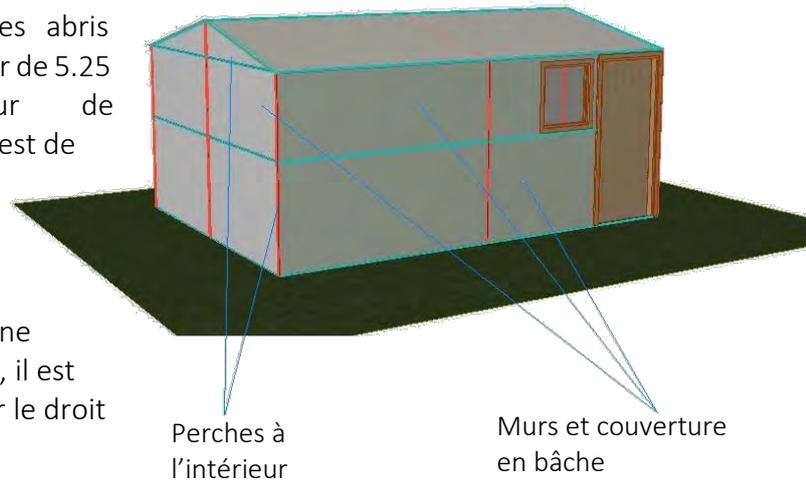
Les différents points évoqués dans cette partie consistent en une étude de faisabilité technique des propositions du comité. Ceux-ci sont séparés en deux groupes : les normes, qu'il serait souhaitable d'appliquer sur les bases des modèles d'abris, et les recommandations, à appliquer afin d'arriver à un niveau technique idéal, mais dont la mise en place reste sujet à des contraintes budgétaires, socio-culturelles et contextuelles.

B.1. Les abris d'urgence

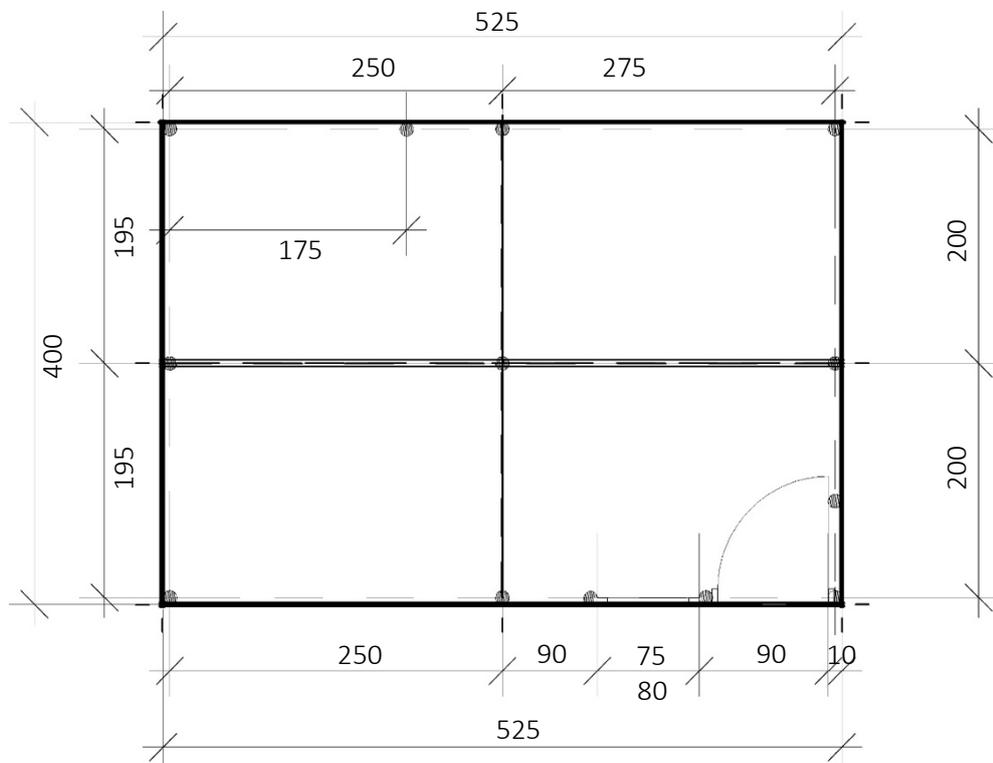
B.1.1. Architecture

Les dimensions standard des abris d'urgence sont d'une longueur de 5.25 m et d'une largeur de 4 m. L'aménagement interne est de 2 chambres (séparation parents et enfants) et un salon (voir croquis ci-bas).

Si le nombre de membres d'une famille dépasse 10 personnes, il est recommandé de leur octroyer le droit d'avoir deux abris d'urgence.



Vue en plan



Un autre aspect à traiter est celui de la ventilation dans l'abri. Il est ainsi recommandé de placer la porte et la fenêtre sur deux côtés opposés, afin de faciliter la circulation de l'air. Si les moyens le permettent, des petites ouvertures placées dans les bâches peuvent également être envisagées.

En ce qui concerne les espaces de cuisines, des travaux ménagers, ainsi que les latrine-douches, voir tableau.

	Dans la communauté	Sur un site
Cuisine, vaisselle, lessive	Si la cuisine est complètement détruite, il faut reconstruire (plan cuisine avec bâches). Si c'est partiellement détruit, il faut réparer.	Il faut prévoir des espaces de cuisines communes.
Latrine-douche	Si c'est complètement détruit, il faut reconstruire (plan latrine-douche avec bâches). Si c'est partiellement détruit, il faut réparer.	Il faut prévoir des blocs de latrines (séparées hommes-femmes).

Il est recommandé d'inclure les bénéficiaires dans la construction des abris pour leur permettre d'apprendre à construire, maintenir et réparer leur abri. Pour ceci, il est nécessaire d'organiser des formations inclusives et qui respectent le genre : hommes et femmes sans aucune discrimination lié au genre, appartenance, ou passif.

Les personnes n'ayant pas la capacité de participer à la construction (enfants plus jeunes, personnes avec handicap ou trop âgées) devraient être assistées dans la construction de leur abri.

De plus, un suivi technique devrait être réalisés pour maintenir, réparer et améliorer les abris des personnes les plus vulnérables : femmes, enfants chefs de ménage, personnes âgées, minorités liées au genre, apatrides, migrants, enfants seuls ou non accompagnés et personnes handicapées, etc.

S'il est prévu une rémunération des bénéficiaires (cash-for-work) : les personnes de tout genre, identité, âge, statut, appartenance, passif, ayant un handicap ou non, devraient recevoir un salaire égal.

B.1.2. Préparations avant la construction

B.1.2.1. Préparation du terrain

Avant de commencer à construire il est nécessaire de préparer le terrain à bâtir en le terrassant pour avoir une surface plane. Cette étape importante facilite ainsi la tâche du constructeur.

Dans la mesure du possible, le/la bénéficiaire de l'abri peut se charger de ces mesures. Si nécessaire, les organisations pourront également donner un appui en cash.

B.1.2.2. Enfouissement des perches dans le sol

Les perches en bois d'eucalyptus qui supporteront la charpente sont enfouées dans la terre à une profondeur d'au moins 50 cm. Cependant cette profondeur pourra varier suivant la nature du sol.

Ces perches seront protégées contre les insectes rongeurs d'un film polyane sur la partie qui sera en contact avec la terre. Les dimensions des perches seront d'une épaisseur de 10 cm ou plus, et d'au moins 6 m de longueur.

Il est recommandé d'employer du bois mûr, afin d'optimiser le cycle de récolte, la facilité de mise en œuvre, ainsi que la qualité du matériau.

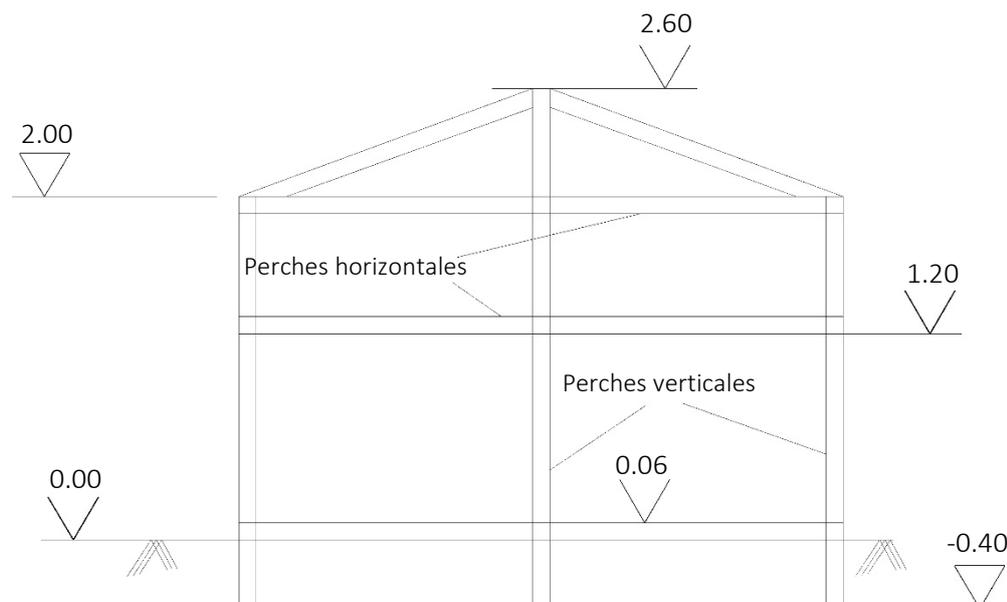
B.1.3. Élévation des murs

B.1.3.1. Normes

Les perches seront placées au niveau des angles, des intersections de murs extérieurs et intérieurs, au niveau des ouvertures, en plus de tout autre endroit pouvant favoriser la solidité de l'ouvrage. Ainsi la distance entre deux perches varie entre 1.5 et 2 m. La position des perches verticales tiendra compte aussi de la taille standard de la bâche.

Il faudra aussi renforcer l'ouvrage par au moins 3 cadres latéraux avec des perches d'une épaisseur d'au moins 8cm. L'un au niveau du terrain naturel, le deuxième au niveau du début de la fenêtre (1.20m) et un troisième au niveau de 2 m. Cette mesure se fera sur le contour extérieur aussi bien qu'à l'intérieur (voir croquis).

Coupe A-A

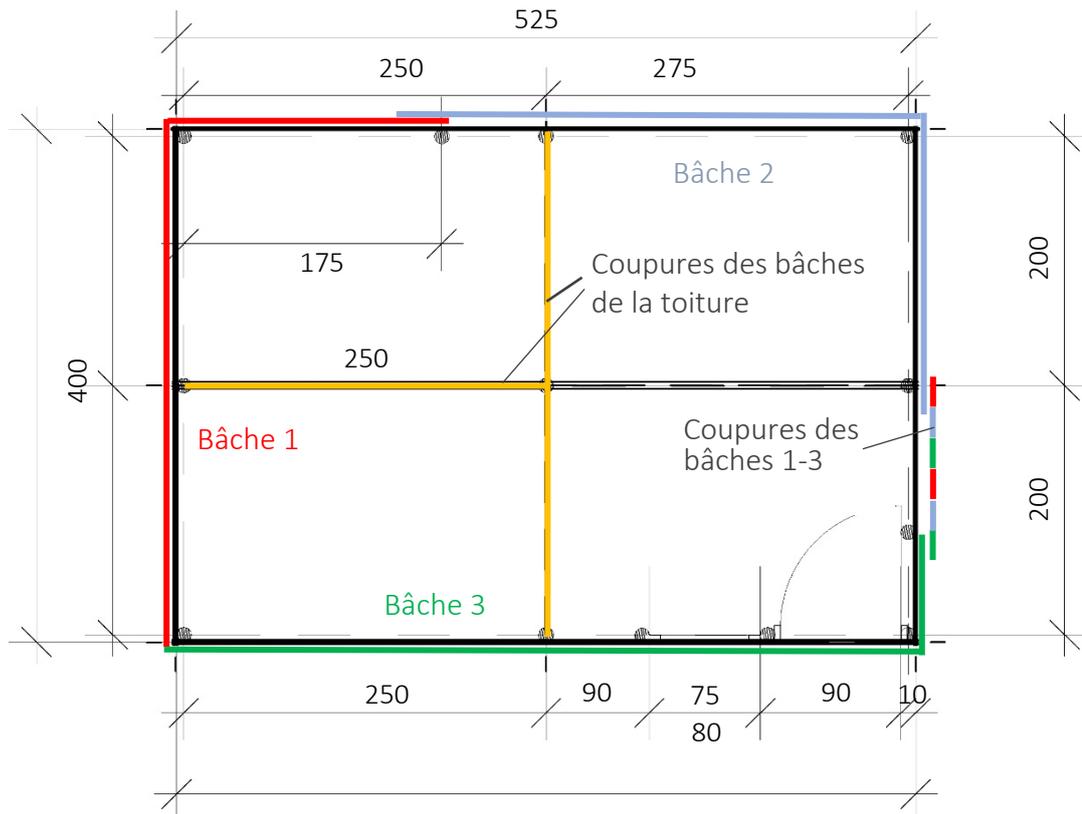


Ensuite, les bâches plastiques seront enroulées au niveau des faces latérales ainsi qu'à l'intérieur pour la séparation des différentes pièces de la maison. Des

lattes en bois d'eucalyptus (d'une longueur de 4 m et une largeur de 2.5 cm) seront employées pour bien fixer les bâches au bois.

En ce qui concerne le découpage des bâches, il faut tenir compte de la partie enfoncée dans le sol (il faut ajouter au moins 50 cm supplémentaire à la hauteur de 2 m du mur). Ceci évite des infiltrations d'eau pendant les précipitations.

Les dimensions standards d'une bâche sont de 4 x 6 m. 3 bâches seront parabri d'urgence pour les murs à l'extérieur. Les coupures des bâches utilisées pour couvrir la toiture seront utilisées pour construire les murs de séparation à l'intérieur.



Les clous à employer pour l'assemblage de l'ossature varient entre 8 et 10 cm. Cependant les clous à utiliser pour fixer les bâches au bois par les lattes en bois seront de 4 cm.

B.1.3.2. Recommandations

Pour éviter que les bâches soient déchirées ou même de les empêcher d'être emportées par les vents violents ainsi que d'assurer le contact entre les clous et les bâches, il est recommandé d'employer les éléments en caoutchouc. Une autre mesure contre les vents permettant une meilleure protection de la construction sera d'employer des fils à ligaturer entre deux éléments en bois comme des contreventements. Ceci permettra également une utilisation rationnelle du bois.

Il faudrait employer des cordes partout où cela semble nécessaire pour éviter toute entrée du vent ou de la pluie par la partie de recouvrement.

B.1.4. Charpente et toiture

L'abri n'aura pas de fermes mais un arbalétrier et quelques autres perches sur lesquelles s'appuieront les bâches plastiques qui serviront de couverture. Les bâches devront être bien tendues s'il le faut à l'aide des cordes pour ne pas permettre aux eaux de pluies d'y stagner.

2 bâches seront utilisées pour la couverture du toit. Les coupures de ces bâches seront utilisées pour les murs à l'intérieur.

Comme avec les murs, il est recommandé que des fils à ligaturer soient employés pour renforcer la charpente. De la même manière pour éviter des infiltrations d'eau pendant les précipitations, il est recommandé de prévoir un recouvrement de la bâche d'environ 1m.

B.1.5. Menuiserie en bois (portes et fenêtres)

Les normes pour un abri d'urgence d'un ménage moyen de 6 personnes prévoient 1 fenêtre et 1 porte par abri. Ces derniers seront menuisés en bois de Grevillea bien sec. La porte sera munie d'un système de verrou solide (avec ajout d'un cadenas possible) à l'intérieur, aisément utilisable pour des personnes vulnérables (personnes âgées, à mobilité réduite, enfants).

Afin de faciliter la ventilation de l'air dans l'abri, il est suggéré de placer la porte et la fenêtre sur des murs opposés.

Les pièces intérieures n'auront pas de portes mais un morceau de bâche au niveau des ouvertures permettant de préserver l'intimité des personnes dans chaque pièce.

B.1.6. Protection

L'intérieur de l'abri d'urgence sera dans la mesure du possible divisé en trois pièces séparées par une bâche jusqu'à 2m de haut afin de permettre aux ménages de séparer les coins nuits des adultes et des enfants et des filles et garçons.

Pour les sites, l'emplacement des abris doit prendre en compte la distance avec le premier point d'eau potable et les équipements (latrines, toilettes), de même que les autres services de base (point d'accès à l'alimentation, centres de santé, école) accessibles de manière sécurisée pour toute personne (éviter les voies d'accès sombres ou isolées ainsi que les lieux à risques tels que les lieux de boisson, lieux d'attroupement, etc.).

Une attention particulière doit être accordée aux personnes les plus à risques comme les femmes seules, enfants chefs de ménage, personnes âgées ou handicapées, dont les emplacements doivent être placés à courte distance des services de base.

Il est recommandé de fournir au moins 2 lampes facilement transportables par un enfant, munies de panneaux solaires rechargeables en journée. Ceci permettra aux bénéficiaires de se déplacer la nuit aux latrines / douches situées à l'extérieur de la maison. Idéalement le modèle de lampe peut être posé ou s'accrocher aisément. Si possible, installer de petits panneaux solaires sur la parcelle.

B.1.7. Réduction des risques de catastrophes

Pour protéger le site contre les risques de stagnations d'eaux pluviales ou des inondations, il est important de creuser des caniveaux au tour du site et des rigoles tout autour de chaque abri. Il est nécessaire de sensibiliser les bénéficiaires à l'importance d'un entretien régulier des caniveaux et des rigoles. Ceci est particulièrement important pour éviter des stagnations d'eaux profondes où des petits enfants pourraient se noyer.

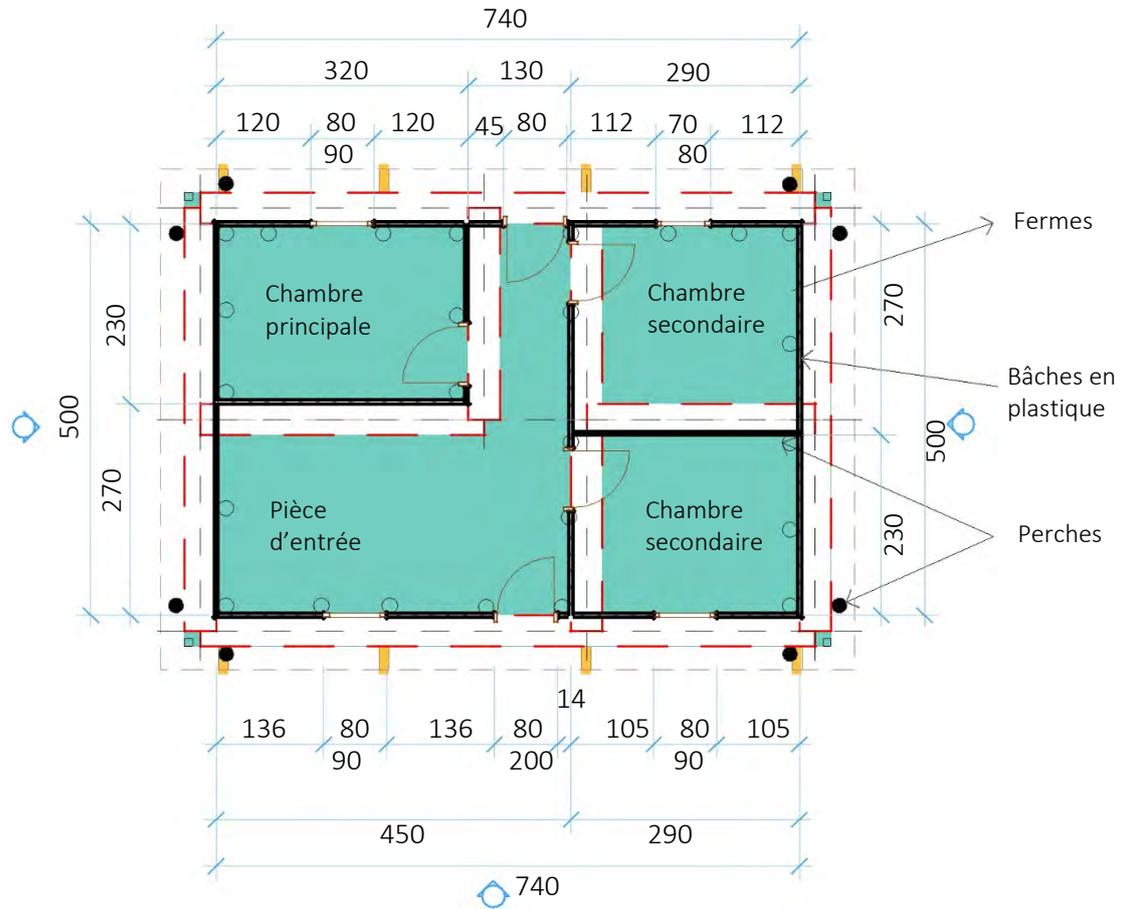
Il est aussi primordial d'aménager le bassin versant du site pour éviter d'autres inondations.

B.2. Les abris transitoires

B.2.1. Architecture

Les dimensions standard des abris transitoires est d'une longueur de 743 cm et d'une largeur de 503 cm. L'aménagement interne est similaire à l'habitat durable avec 3 chambres et un salon. Chaque maison aura une latrine-douche.

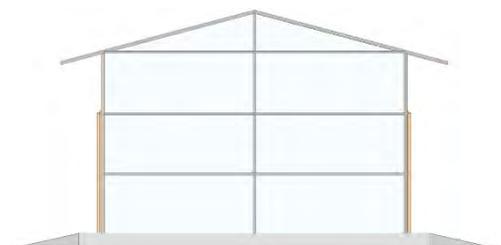
Plan en vue



Façade principale



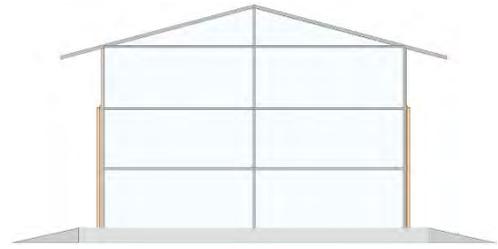
Façade gauche



Façade arrière



Façade droite



De plus, il est fortement recommandé d'ajouter une cuisine à l'abri transitoire pour éviter que les bénéficiaires commencent à cuisiner à l'intérieur.

Pour les cas de villages, un espace suffisant doit être prévu pour mener les activités essentielles de la vie de la famille (cuisine, vaisselle, lessive, etc.) et les activités de soutien à la famille (activités génératrices de revenu). Dans le kit donné aux bénéficiaires des perches et tôles pour la construction de cuisines et latrine-douches sont inclus. Des formations et un suivi technique doit être assurés aux bénéficiaires pour une bonne utilisation du matériels acquis.

Il est recommandé d'inclure les bénéficiaires dans la construction des abris pour leur permettre d'apprendre à construire, maintenir et réparer leur abri. Pour ceci il est nécessaire d'organiser des formations inclusives et qui respectent le genre : hommes et femmes sans aucune discrimination lié au genre, appartenance, ou passif. Les personnes n'ayant pas la capacité de participer à la construction (enfants plus jeunes, personnes avec handicap ou trop âgées) devraient être assistées dans la construction de leur abri.

De plus, un support technique et un suivi devraient être réalisés pour maintenir, réparer et améliorer les abris des personnes les plus vulnérables : femmes, enfants chefs de ménage, personnes âgées, minorités liées au genre, apatrides, migrants, enfants seuls ou non accompagnés et personnes handicapées, etc.

S'il est prévu une rémunération des bénéficiaires comme le '*cash-for-work*', alors toutes les personnes concernées, peu importe leur genre, identité, âge, statut, appartenance, passif, ayant un handicap ou non, devraient recevoir un salaire égal.

B.2.2. Préparations avec la construction

B.2.2.a. Préparation du terrain

Le terrain à bâtir doit être terrassé pour avoir une surface plane et ainsi faciliter la tâche du constructeur. La considération d'un système de drainage est cruciale lors de cette phase, en plus du choix de la parcelle (mitigation aux risques d'inondations ou de glissements de terrain).

Si c'est possible, le/la bénéficiaire de l'abri peut s'en charger.

B.2.2.b. Enfouissement des perches dans le sol

Comme aux abris d'urgences, les perches en bois d'eucalyptus qui supporteront la charpente sont enfouées dans la terre à une profondeur d'au moins 50 cm. Cependant cette profondeur pourra varier suivant la nature du sol. Elles seront protégées contre les insectes rongeurs d'un film polyane sur la partie qui sera en contact avec la terre. Elles seront également d'une épaisseur variante entre 10 et 12 cm. Il est recommandé d'employer du bois bien sec pour les perches.

B.2.3. Elévations des murs***B.2.3.a. Normes***

Les perches seront placées au niveau des angles (intérieur et extérieur), au niveau des ouvertures ainsi qu'à tout autre endroit pouvant favoriser la solidité de l'ouvrage. La distance entre deux perches varie entre 1.5 et 2 m. Il faudra aussi renforcer l'ouvrage par au moins 3 cadres latéraux. L'un au niveau du terrain naturel, le deuxième au niveau du linteau (2.10m) et un troisième au niveau de 2.70m. cela se fera sur le contour extérieur aussi bien qu'à l'intérieur.

Les bâches plastiques seront enroulées au niveau des faces latérales ainsi qu'à l'intérieur pour la séparation des différentes pièces de la maison. Les lattes en bois d'eucalyptus (long.4m, largeur 2.5 cm) seront employées pour bien fixer les bâches au bois.

Les clous à employer sont de 8 et 10cm pour l'assemblage de l'ossature et de 4 cm pour la fixation des bâches au bois par les lattes en bois.

B.2.3.b. Recommandations

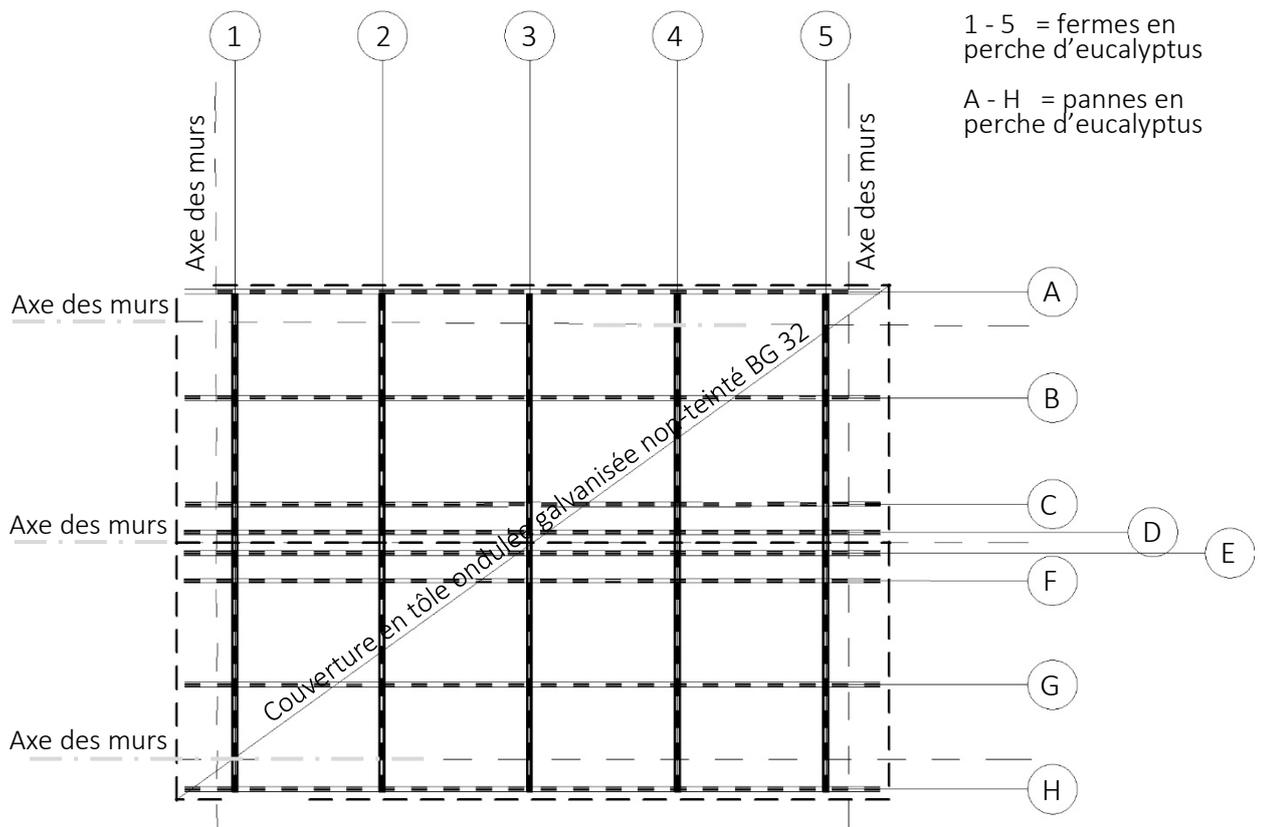
Pour éviter que les bâches soient déchirées ou même leur éviter d'être emportées par les vents violents ainsi que d'assurer le contact entre les clous et les bâches, il est recommandé d'employer les éléments en caoutchouc. Une autre mesure contre les vents permettant une meilleure protection de la construction sera d'employer des fils à ligaturer entre deux éléments en bois comme des contreventements. Ceci permettra également une utilisation rationnelle du bois.

Il faudrait employer des cordes partout où il semble nécessaire pour éviter toute entrée du vent ou de la pluie par la partie de recouvrement.

B.2.4. Charpente et toiture***B.2.4.a. Normes***

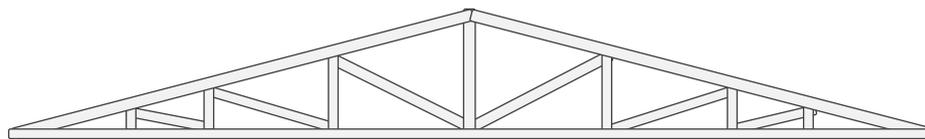
Pour toutes les maisons, l'assemblage des fermes est fait de perches en eucalyptus d'au moins de 10 cm de diamètre. Les pannes sont d'au moins 8 cm de diamètre. La charpente aura 5 fermes avec au minimum 30 % de pente. La couverture est en tôles galvanisées BG 32 au minimum.

Projection en plan de la charpente



La technique d'assemblage doit respecter les règles de l'art afin de rendre la charpente plus solide et supporter la statique.

Détail de la toiture



Les débords de toiture doivent respecter au moins 40 cm pour les maisons principales ainsi que les annexes (latrine/douche, cuisine etc.). Comme souvent pour les 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.

Il faut aussi prévoir un recouvrement entre tôles suffisant pour éviter des infiltrations concentrées en cas de dégradation des tôles (min. 10 cm en longueur et 5 cm en largeur).

Il faut également prévoir un débord de 10 cm aux extrémités des pannes.

B.3.4.b. Recommandations

Si possible, dans le cas d'abris destinés aux VRI, il faudrait avoir une charpente en madriers en eucalyptus.

B.3.4.c. Ancrage de la charpente

Pour toutes les maisons, il est dispensable de renforcer tous les nœuds de la ferme avec les pannes par des fers feuillards pour résister aux effets des vents violents.

Pour les maisons aux murs en BTC, l'ancrage se fait par des fers feuillards qui proviennent du chaînage supérieur.

Pour les maisons en briques adobes, l'ancrage de la toiture se fait par des fers feuillards qui partent de linteaux jusqu'à la charpente et qui seront cachés par le crépissage des murs extérieurs.

B.2.5. Menuiseries en bois (Portes et fenêtres)***B.2.5.a. Normes***

Chaque maison d'un ménage moyen de 6 personnes aura 4 fenêtres et 5 portes, dont 2 portes extérieures et 3 à l'intérieur pour chaque chambre respectivement.

Les huisseries sont faites en bois massif dont les panneaux sont assemblés en batée. Les portes sont de dimensions 90x200 cm tandis que les fenêtres sont de dimensions 80x90 cm.

L'installation de verrous simples, aisément utilisable par un enfant, à l'intérieur de chaque porte y compris des latrines, constitue une norme de protection essentielle.

B.2.5.b. Recommandations

Il est fortement recommandé d'utiliser au moins pour les portes extérieures le bois d'eucalyptus, les autres en planches de Grevillea bien sec avec peinture. Les fenêtres doivent être en bois de Grevillea, même que le bois d'eucalyptus est fortement recommandé.

Il est recommandé de prévoir une porte cadenas/verrous pour sécuriser les portes d'entrée.

B.2.5.c. Ancrage des portes

Les portes doivent être ancrées dans la maçonnerie en adobes par des clous de 15 cm ou des barres des scellement de 15 cm. De plus, il est recommandé de resceller tous les cadres des ouvertures au béton maigre. Il faut toutefois faire attention à soigner l'interface entre le ciment et la terre pour que l'adhérence soit correcte.

Il est généralement admis qu'en zone sismique et à cause des vents violents, les ouvertures doivent être espacées d'au moins 60 cm.

B.2.5.d. Trous de ventilation et moustiquaires

C'est la norme d'ajouter des ouvertures d'aération au niveau des pignons, 2 claustras disposés verticalement pour chaque pignon. Généralement, la dimension standard des claustras est 40x20cm.

Il est recommandé aussi de prévoir des claustras au-dessus des ouvertures, en générale 1 claustra au-dessus des fenêtres et 2 claustras au-dessus des portes extérieures.

Il faut prévoir un cadre moustiquaire en bois à l'extérieur de chaque claustra.



Moustiquaire utilisée pour les maisons Croix-Rouge à Muyinga. Photo : AICRL

B.2.6. Protection

B.2.6.a. Normes

L'emplacement des maisons doit prendre en compte la distance avec le premier point d'eau potable et les équipements (latrines, toilettes), de même que les autres services de base comme le point d'accès à l'alimentation, centres de santé ou les écoles, accessibles de manière sécurisée pour toute personne. Si possible il faut éviter les voies d'accès sombres ou isolées ainsi qu'à proximité des lieux à risque tels que les débits de boisson, lieux d'attroupement, etc.

Une attention particulière doit être accordée aux personnes les plus à risques (femmes seules, enfants chefs de ménage, personnes âgées et handicapées) dont les emplacements doivent être placés à courte distance des services de base.

B.2.6.b. Recommandations

Un autre point de protection porte sur l'éclairage. En ce qui concerne l'éclairage artificiel, en plus des petites torches il faudrait voir ce qui est possible comme l'installation de petits panneaux solaires. Ces 2 petites torches doivent être facilement transportables par un enfant et être munies de petits panneaux solaires qui peuvent se recharger pendant la journée. Cette mesure de protection est surtout importante le soir et la nuit si les bénéficiaires ont besoin d'aller aux latrines situées en dehors de la maison.

B.2.7. Réduction des risques de catastrophes

B.2.7.a. Normes

Il est nécessaire de creuser des caniveaux de drainage des eaux autour de la maison. En attendant que ces caniveaux soient construits, la pose de sacs de

sable autour de l'abri ou de briques servant de « masse d'usure » pour éviter l'infiltration et la pénétration des eaux est fortement recommandée.

La plantation d'arbre en tant que contrevent dans la parcelle doit être prise en compte lors de la construction d'un abri. Ceci permettra également d'absorber une partie de l'eau présente dans le sol, de renforcer la stabilité de celui-ci, de réduire l'impact des vents sur les habitations et de fournir de l'ombre sur la parcelle.

B.2.7.b. Recommandations

Il est fortement recommandé d'installer des gouttières et si possible un système de collecte des eaux pluviales. Il faut absolument éviter les eaux stagnantes n'importe où dans la parcelle.

Si l'on installe un système de collecte des eaux pluviales (SCEP), il faudra un tuyau de descente et couvrir ces réservoirs d'eau pour éviter que les moustiques et mouches pondent leurs œufs à la surface de l'eau (même un petit volume d'eau stagnante suffit pour qu'un moustique femelle peut pondre jusqu'à 250 œufs).

Dans le cadre de sensibilisation des bénéficiaires à l'entretien et de la protection de l'abris, il est nécessaire de prévoir des séances d'information, d'éducation et de communication (IEC) sur le WASH, problèmes et barrages sanitaires, etc.

B.2.8. Le passage du transitoire au durable

La transition du transitoire au durable se fait surtout par la construction de la fondation (si pas encore existante) et l'élévation des murs. L'élévation des murs prend en moyenne 5 jours si la fondation est déjà en place. Comme le passage se fait assez vite, il est recommandé que le bénéficiaire de la maison n'y habite pas pendant ces jours de transition. Ainsi, quelques étapes peuvent être observées pour y parvenir :

- Mettre des renforts pour soutenir la charpente durant les travaux de remplacement des murs en bâches par des murs en briques;
- Faire la fouille de la fondation pour murs extérieurs sans toutefois toucher les perches verticales;
- Si la fondation n'était pas mise en place lors de la construction de l'abri transitoire, il faut d'abord construire les fondations des murs extérieurs et puis l'élévation des murs extérieurs;
- Déplacer les ouvertures (portes et fenêtres) des murs en bâches vers les murs en maçonnerie;
- Récupérer les perches en bon état pour servir d'échafaudage pour la suite des travaux de maçonnerie;
- Démonter soigneusement les lattes des bâches et/ou joints plastiques pour qu'elles soient employées dans la mise en œuvre du faux plafond aussi bien que les bâches;
- Détacher les fers feuillards des perches verticales pour qu'ils soient utilisés pour renforcer la toiture de la cuisine et/ou latrine-douche;

- Enlever les perches verticales à l'aide d'une scie à bois à 50-80 cm du sol ce qui facilite d'enlever la partie qui reste dans le sol. Ceci est pour éviter des perturbations au niveau de la charpente et de la fondation;
- Continuer les fondations de l'intérieur et l'élévation des murs intérieurs au fur et à mesure. Si c'est le bénéficiaire qui fait la construction de cette partie, il faut le soutenir avec un encadrement technique;
- Au cas où que le bénéficiaire n'a pas d'autre choix que de rester dans sa maison pendant la phase de transition, il faut construire une pièce après l'autre pour ne pas créer des encombrements à l'intérieur de la maison;
- A la fin de chaque pièce finie, procéder à l'enlèvement des perches verticales.

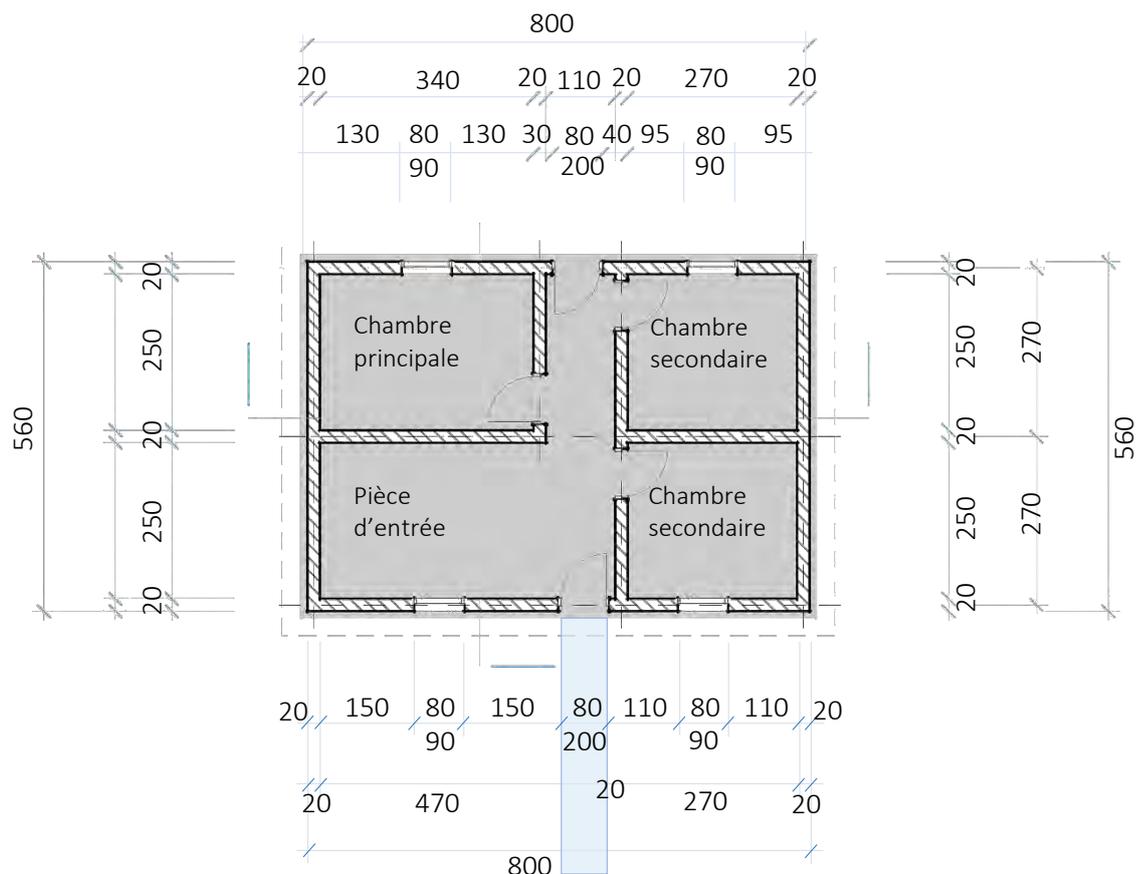
B.3. L'habitat durable

B.3.1. Architecture

B.3.1.a. Normes

Les dimensions standard sont sur les collines et dans les VRI d'une longueur de 8 m et d'une largeur de 5.6 m. L'aménagement interne est de 3 chambres et un salon. Chaque maison aura également une latrine-douche.

Vue en plan



B.3.1.b. Recommandations

Il est fortement recommandé d'ajouter une cuisine pour éviter que les bénéficiaires commencent à cuisiner à l'intérieur de la maison.

Il est recommandé d'inclure les bénéficiaires dans la construction des abris pour leur permettre d'apprendre à construire, maintenir et réparer leur abri. Pour ceci il est nécessaire d'organiser des formations inclusives sans aucune discrimination liée au genre, à l'âge, à l'appartenance sociale, culturelle, religieuse, l'origine ou tout autre motif d'exclusion.

Les personnes n'ayant pas la capacité de participer à la construction (enfants plus jeunes, personnes avec handicap ou trop âgées) devraient être assistées dans la construction de leur abri.

De plus, un support technique et un suivi devraient être réalisés pour maintenir, réparer et améliorer les abris des personnes les plus vulnérables : femmes, enfants chefs de ménage, personnes âgées, minorités liées au genre, apatrides, migrants, enfants seuls ou non accompagnés et personnes handicapées, et toutes autres personnes identifiées comme plus vulnérables dans le contexte d'intervention.

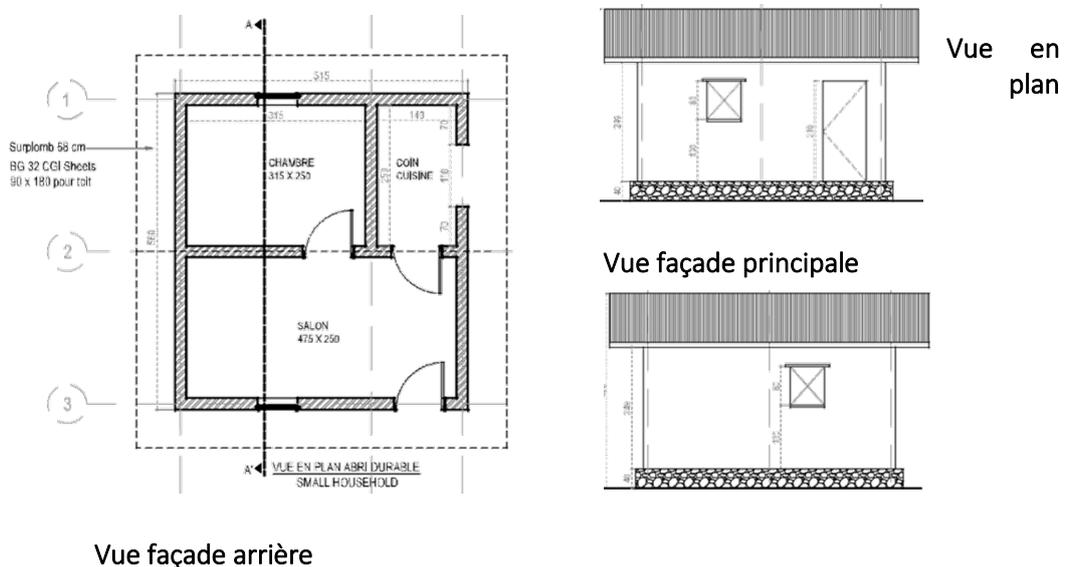
S'il est prévu une indemnisation des bénéficiaires comme par exemple à travers le *cash-for-work*, les personnes devraient recevoir un salaire égal quel que soit leur sexe, âge, statut, identité ou appartenance sociale, culturelle, religieuse ou origine.

B.3.1.c. Dimensions adaptées aux besoins des bénéficiaires dont personnes handicapées ou ménages hors-normes

En ce qui concerne les personnes handicapées ou à mobilité réduite, il est recommandé de construire les ouvertures de portes et les couloirs plus larges, d'un minimum de 100 cm. Il faudrait éviter les escaliers ou les marches aux entrées. S'il y a un dénivelé, une solution serait de construire une rampe selon le descriptif (de préférence finition en ciment et massif en moellons ou briques). Si le dénivelé entre terrain naturel et palier de repos est grand, il faut orienter la rampe dans les sens de la longueur du bâtiment (c'est à dire le long de la fondation) pour avoir une plus faible pente. Les cuisine et latrines doivent être situées le plus proche possible de la maison, lorsqu'elles ne sont pas intégrées dans la maison même. Il faudrait aussi adapter les latrines-douches, si nécessaire.

Pour des personnes âgées, il faudrait prévoir des adaptations similaires comme éviter les escaliers ou les marches aux entrées, situer la cuisine et les latrine-douche le plus proche possible de la maison tout en respectant les normes relatives à l'eau, l'hygiène et l'assainissement, construire le tout sur un seul niveau etc.

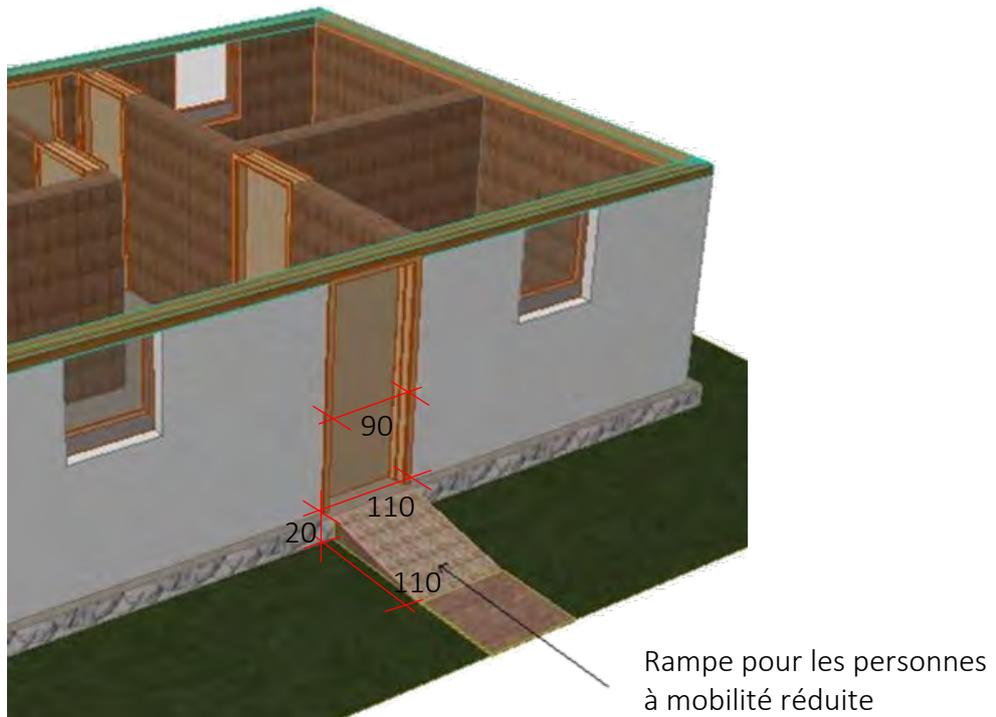
Dans le cas rare de ménage simple c'est à dire pour une personne seule ou un couple âgé sans enfant, on pourrait adapter la maison en planifiant une réduction des dimensions sur une pièce d'entrée et une chambre principale.



B.3.1.d. Rampes sur les portes d'entrée

Tenant compte de l'aspect protection dans la mise en œuvre des projets de construction des abris, il est recommandé de construire une rampe devant les portes d'entrée extérieures des ménages où soit des personnes à mobilité réduite ou vivant en chaise roulante, soit des personnes âgées.

Ces rampes doivent avoir une largeur qui dépasse légèrement la largeur d'une porte de 90 cm de chaque côté au moins de 10 cm. Les dimensions des rampes seront donc de 110 cm de largeur avec une hauteur de 20 cm (hauteur fondation sur sol). Les pourtours des rampes sont renforcés par une fondation en moellons de 20 cm de largeur avec une profondeur d'encastrement de 20cm minimum. Il est recommandé de prévoir le passage dans tous les sens - devant, à gauche et à droite.



En ce qui concerne la constitution de la rampe, les contours sont réalisés en fondation de moellons de 20 cm de largeur avec mortier de ciment dosé de 200 kg / m³. Le massif cependant est fait par remplissage de terre sablonneux avec des moellons/cailloux compactés. Il sert de couche de base pour la dalle de la rampe. Après, l'hérissonage a lieu, où une couche de moellons d'une épaisseur de 15 cm est placée sur le massif compacté. Finalement, pour la plateforme un béton de forme avec une épaisseur de 5 cm dosé à 300 kg /m³ est répandu sur l'hérissonage comme couche de roulement.

B.3.2. Fondation

B.3.2.a. La fondation

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. Il est important de bien compacter le fond de fouille avant de commencer la maçonnerie des fondations.

Dans les collines, la fondation sera à base de moellon avec mortier de terre mélangé avec du sable. S'il n'y a pas de disponibilité de moellon, il est recommandé de faire la fondation en brique cuite de qualité (en argile).

Dans les VRI, la fondation sera à base de moellon avec mortier de ciment.

Pour les détails de dimensions, voir croquis B.3.1.a. Généralement, des tranchées de fondations de 40cm de profondeur et 30-40cm de largeur suffisent (tenir compte de la nature du sol).

B.3.2.b. Le soubassement

Dans tous les cas, il faut que la fondation dépasse le niveau du sol de 20 cm. Il faut que le soubassement dépasse la largeur du mur et 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.

Il est important de prévoir une barrière capillaire réalisée par l'intégration d'un film polyéthylène à la maçonnerie posé sur une chape en mortier de ciment ou de terre.

B.3.3. Elévation des murs

B.3.3.a. Les murs en briques adobe

Sur les collines les briques adobes seront utilisés avec un crépissage des murs. Le minimum est un crépissage en mortier de terre mélangé avec du sable à défaut d'un mortier de ciment. De plus, chaque ferme doit reposer sur une plaque en madrier dépassant en longueur les jointes des briques en-dessous (entre 60 et 80 cm).

On rappelle l'importance de ne pas juger des performances d'un matériau en soi, mais selon les fonctions qu'il doit atteindre, 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 générale du bâtiment. Surtout pour les constructions en briques adobe, il est primordial pour la bonne réussite du projet à moyen et long terme que cet entretien des abords, de la toiture et du crépissage soit fait régulièrement par les bénéficiaires.

Pour l'amélioration de qualité de production voir annexe « D.1. Annexe, point 6.1. ».

Il est aussi recommandé de revoir les dimensions des adobes utilisées. En particulier, des dimensions compatibles avec les dimensions des briques cuites s'avèreraient très intéressantes pour construire des maçonneries mixtes, avec une intégration stratégique de briques cuites de bonne qualité pour renforcer certains emplacements. Voir « D.1. Annexe 1, point 6.2.6. Renfort des angles » pour lire plus sur cette technique.

B.3.3.b. Les murs en BTC

Les BTC stabilisées au ciment avec un dosage de 5% seront utilisées dans les villages ruraux intégrés (VRI). Chaque ferme doit reposer sur une plaque en madrier dépassant en longueur les jointes des briques en-dessous (entre 60 et 80 cm).

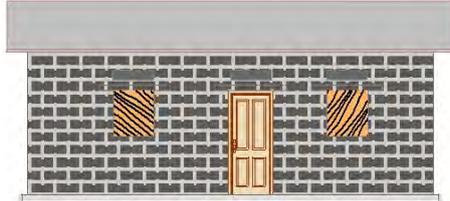
En comparant les briques adobe et les BTC d'un point de vue économique, on ne peut pas ignorer l'écart important entre ces deux types de briques. Pour cette raison les BTC seront seulement choisies pour une application à certains programmes et en particulier pour les constructions dans les VRI. L'écart des coûts serait encore plus marqué si l'on considère que dans le cas des briques adobe le principe de l'auto-construction est souvent appliqué, donc les bénéficiaires participent à certaines tâches de la construction de leur maison. Pour la construction en BTC, la part de budget qui couvre la rémunération de main d'œuvre est aussi plus élevée comme le besoin en main d'œuvre qualifiée et leur niveau de rémunération sont importants.

L'alternative technique que représente les BTC maçonnés (et non autobloquants) pourrait être intéressante dans le cadre de certains programmes.

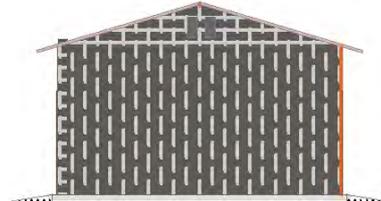
Enfin, les programmes de construction à grande échelle comme les VRI ont des conséquences fortes sur leur environnement qui doivent être prises en compte dans un contexte tel celui du Burundi - un pays dont le capital naturel se dégrade inexorablement depuis plusieurs décennies. Cette prise en compte doit se faire

au niveau local avec une utilisation raisonnable de la ressource, comme au niveau global via une limitation des émissions de CO₂, fortement liées à la production des briques cuites et du ciment, mais aussi au transport des matériaux.

Façade principale



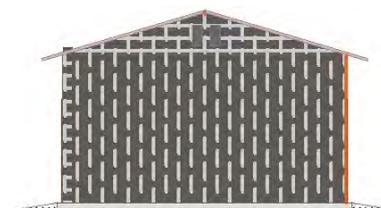
Façade gauche



Façade arrière



Façade droite



B.3.3.c. Chaînage haut

Pour les maisons en briques adobe, c'est la norme de mettre en place un chaînage haut en planches (voir croquis sur la prochaine page) pour tous les murs. S'il y a des termites, ceci est déconseillé, alors il faut utiliser des fers feuillards ou fers à béton.

Pour les maisons en BTC, il est indispensable de mettre un chaînage haut en fers feuillards enrobé dans un mortier de ciment (150kg/m³).

Idéalement, la meilleure solution consisterait à couler du ciment entre deux rangées de briques cuites, entre lesquelles ont préalablement été du bois ou des fers à béton.

Chaînage haut en planches
pour les abris en briques
adobe



B.3.4. Charpente et toiture

Idem abri transitoire, voir B.2.4.

B.3.5. Menuiseries en bois (portes et fenêtres)

Idem abri transitoire, voir B.2.5.

B.3.6. Protection

Idem abri transitoire, voir B.2.6.

B.3.7. Réduction des risques de catastrophes

Idem abri transitoire, voir B.2.7.

B.3.8. Entretien

Il faut sensibiliser les bénéficiaires au bon entretien de leur maison. Ceci 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 et de renouveler le crépissage en cas de besoin.

B.3.9. Cuisine et foyer améliorée

Il est recommandé de construire une cuisine avec un foyer amélioré. En cas de manque de financement de la construction de cuisines, il est nécessaire de prévoir des séances de sensibilisation et de formations des bénéficiaires au sujet de l'auto-construction.

La construction des foyers améliorés est fortement recommandée, permettant un gain de bois de chauffage, de temps et de travail. En cuisinant de façon traditionnelle ou avec des foyers locaux, chaque ménage a besoin d'un fagot de bois par jour, ce qui fait 7 fagots par semaine. Avec les foyers améliorés, un fagot dure une semaine, ce qui économise 6 fagots par ménage par semaine. 85.7% d'économie de fagots est une solution durable permettant la préservation des espaces boisés. Ceci économise aussi du temps et du travail des femmes et des enfants qui font traditionnellement la collecte de bois de chauffage. Aussi l'aménagement de la cuisine avec un foyer amélioré permet d'éviter des accidents domestiques avec les enfants.

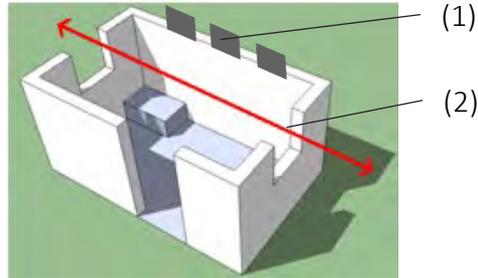


Pour plus de détails comment construire un foyer amélioré, voir en « D.3. Annexe 3 ».

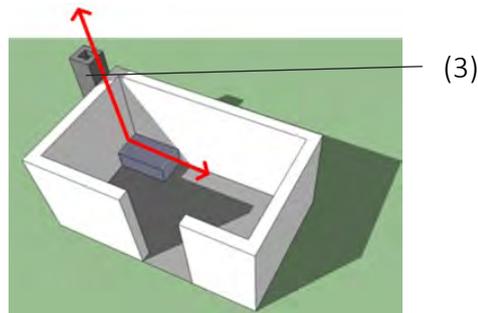


Foyer amélioré utilisé à Muyinga. Crédit : AICRL

Un grand problème constaté au niveau des cuisines est l'aération inappropriée et souvent même manquante. Des solutions peuvent être soit tout simplement quelques ouvertures d'aérations sur le mur situé derrière le foyer amélioré (1) où la fumée peut s'échapper, soit même de planifier des ouvertures supplémentaires (2).



Une autre solution serait, dans le cas de la construction de foyers améliorés, de construire en même temps aussi des vrais conduits de cheminée (3) afin d'assurer la longévité de ces derniers et garantir un bon tirage.

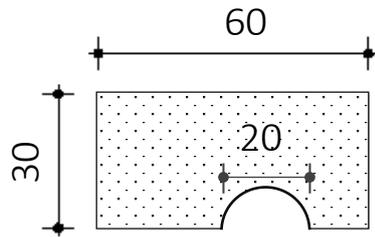


B.3.9. Latrine-douche

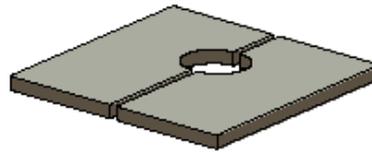
L'ajout, à chaque maison, d'une latrine avec douche, s'avère être une des recommandations principales. La fondation est maçonnée en moellons, liés par mortier de terre et rejointoyé avec un mortier de ciment bien dosé. La latrine-douche sera couverte de tôles ondulées galvanisées BG32.

La dalle de latrine sera fournie de dimension de 60x60 cm en béton. Sa décomposition en deux éléments a pour intérêt d'être facilement transportable. Le dosage se fait en 350kg/m³ avec 1 sac de ciment (50kg), une brouette (60l) de sable et 2 brouettes (120l) de gravier de rivière. Ce dosage coïncide avec 10 dalles à l'exclusion du petit couvercle pour recouvrir le trou ce qui empêche les mouches à entrer dans la fosse.

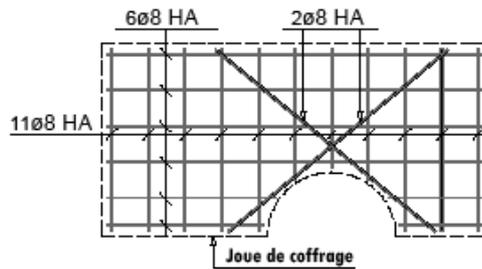
Vue en plan d'un élément de dalle



Vue d'une dalle au complet



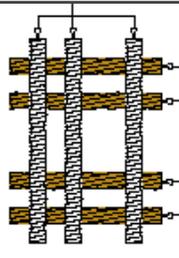
Ferrailage d'un élément de la dalle



La dalle sera posée sur un quadrillage de 7 poutres en perches de bois de diamètre minimal de 15 cm (voir croquis).

Disposition des poutres en perches pour la pose de la dalle

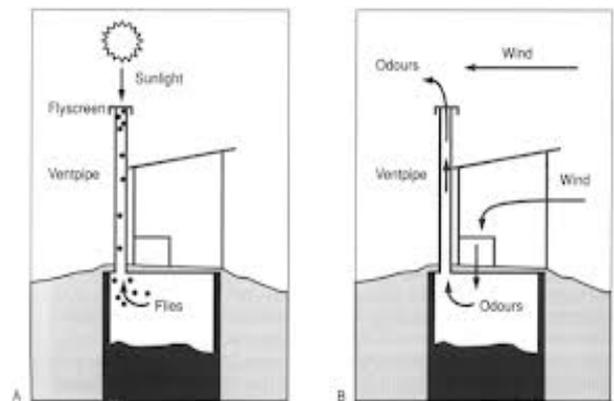
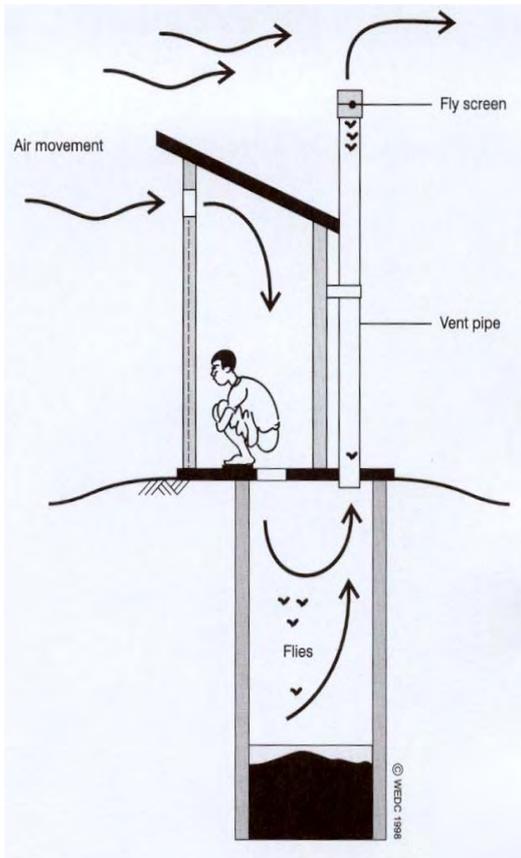
Etape 2 :
Pose des perches : la dalle est posée après cette étape



Etape 1 :
Pose des perches : elle est le 1^{er} lit de perches au-dessus de la fosse

Dans le modèle de latrine utilisé (VIP – Ventilated Improved Pit latrines), les problèmes d’odeur et des mouches et moustiques sont évités par l’installation d’un tuyau d’aération et évacuation des odeurs. Les mouches, essayant de remonter le tuyau pour chercher la lumière, y périssent grâce à l’installation d’une moustiquaire.

Il faut prévoir un couvercle pour couvrir le trou de la fosse afin de garder l’obscurité dans la fosse et bloquer l’entrée et la sortie aux mouches.

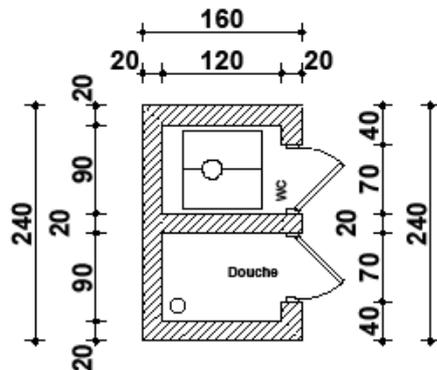


Crédit : DR

Au niveau de l’implantation des services il faut prévoir les distances requises entre les bâtiments et être attentifs à l’écoulement des eaux de toiture.

La latrine et la douche sont juxtaposées dans le même bâtiment (voir croquis).

Vue en plan



Vue principale d’une latrine-douche



Crédit : DR

Au niveau de la douche, il faut bien prévoir un pavé du sol (au moins des briques cuites de même taille bien posées. Si possible, il est préférable de les rejointoyer avec un mortier de ciment) avec une pente suffisante qui évite de l’eau stagnante dans la douche. Il faut prévoir également des trous d’aération en haut du mur de la douche.

Il est important d'orienter la latrine-douche avec la longueur dans le sens de l'écoulement des eaux de ruissellements pour que les eaux pluviales du toit et l'eau de la douche s'écoulent dans cette direction-ci.

Chaque porte doit être munie d'un loquet simple de type verrou à l'intérieur, facilement utilisable par un enfant.

À l'extérieur de la latrine il faut installer un tipi-tap ou 'agasuga', un dispositif de lavage de main (en anglais : 'hand-wash tool' ou Honyora nkarabe).



Crédits : AICRL

B.4. Les ANA

Tous les kits devraient être distribués dans un sac qui sera aussi utile pour le transport. Ce sac robuste de 1 x 1 m pourra contenir jusqu'à 50 kg.

Tous les kits à l'exception des kits de dignité (distribués en fonction du projet) seront distribués par ménage, basés sur une composition moyenne de 6 membres par ménage, comprenant le même ensemble de pièces par ménage.

De manière courante, les kits distribués sont les kits ANA (kits de cuisine, kits de couchage et kits de puisage et de conservation d'eau), les kits d'hygiène et les kits de dignité.

Tous les kits, ou combinaisons de kits mentionnés et distribués à un ménage nécessiteraient dans l'idéal d'être complétés de 6 pochettes plastiques hermétiques avec fermeture afin de conserver les papiers administratifs en cas d'inondation pour chaque membre de la famille.

La composition des kits ci-dessous est la suggestion idéale à adopter, pour un ménage moyen burundais (6 personnes). En cas de crise majeure ou soudaine, à laquelle les capacités des secteurs concernés seraient insuffisantes, cette composition pourra être revue par les parties prenantes de la réponse afin d'assister la population de la manière la plus adéquate et digne possible, tout en évitant les possibles impacts négatifs (tensions entre les ménages assistés et non assistés, inflation des prix du marché liés à la revente d'articles sur les marchés, etc.)

B.4.1. Kit de cuisine

Le kit de cuisine comprendra idéalement les éléments suivants :

- 2 Casseroles avec couvercles (1 de 7 l et un autre de 5l)
- 1 Panneau (poêle) de 2.5L avec manche
- 6 Gobelets de 0.3L chacun
- 6 cuillères de table de 10 ml chacune
- 6 fourchettes de 17 cm
- 6 assiettes de 0.75L
- 1 couteau de cuisine de 15 cm de lame
- Louche à servir de 35 mL
- Louche en bois

Il est fortement recommandé que tous ces éléments sauf la louche en bois soient en acier inoxydable.

B.4.2. Kit de couchage

Le kit de couchage comprend :

- 3 couvertures de 2 x 1.5 m avec un poids variant entre 1.5 - 2.4 kg
- 3 moustiquaires de 1.9 x 1.8 x 1.5 m
- 6 nattes de 1.8 x 0.9 m

Les couvertures seront de matières synthétiques et non d'origine de laine. Le type thermique sera moyen. Les nattes seront en polypropylène.

B.4.3. Kit de puisage et de conservation d'eau

Le kit de puisage et de conservation d'eau regroupe les éléments suivants :

- 2 seaux de 14L munis de couvercles avec bouchon à clipser
- 1 bassin de 10L
- 1 bidon de 10L
- 1 bidon de 20L

Pour faciliter le transport le bidon de 10L sera en plastique pliable et celui de 20L sera en plastique dur.

B.4.4. Kits d'hygiène

Des savons spécifiques seront distribués pour la lessive et l'hygiène corporelle. 1 kit composé de 1.5 kg de savon de lessive et 2 kg de savon de toilette sera distribué à chaque ménage chaque mois.

On ajoute aussi 6 brosses à dent et 3 dentifrices (chiffres à adapter aux nombres de personnes du ménage).

B.4.5. Kit de dignité

Contrairement aux autres kits, où la même quantité et éléments devraient être distribués par ménage, indifféremment du nombre de personnes vivants dans ce ménage, le kit de dignité est distribué en fonction de la composition du ménage. On tient compte du nombre de jeunes filles et femmes qui en auront besoin. On prévoit en moyenne pour la planification 2.5 kits de dignité par ménage.

Composition minimum recommandé pour un kit de dignité :

- Serviettes hygiéniques lavables réutilisables (1 lot de 3 grandes et medium)*
- Sous-vêtements adaptés à la taille fille/femme
- 1 peigne

**Il faut s'assurer d'un accès suffisant à l'eau propre et au savon dans le contexte où ce produit est distribué, afin de mitiger tout risque de mauvaise utilisation ou d'infection. Dans le cas où l'accès à l'eau et au savon serait trop difficile, on peut considérer les serviettes jetables disponibles sur le marché.*

C. Sélection et information des bénéficiaires



Crédit : OIM

C.1. Critères de sélection

La sélection de bénéficiaires doit être précédée de l'établissement de critères de sélection au préalable, adapté au type de projet ou d'assistance fournie mais en se basant sur une analyse du genre et des principes d'inclusion afin de s'assurer que les plus marginalisés ont accès aux services. Ainsi, les femmes seules, enceintes ou allaitantes, les mineurs non-accompagnés, les vieillards, les personnes souffrantes de handicaps physiques, mentaux, ou de maladie chroniques, les gens sans terre ou sans abris doivent être pris en considération en priorité.

Toutes ces personnes doivent avoir accès à la bonne application des lois et réglementations liées à la propriété et au logement, y compris les règles de résolution des conflits. Les besoins des personnes apatrides qui n'auraient pas accès à un titre de propriété doivent être adressés dans la mesure du possible.

C.2. Répartition des bénéficiaires

Dans les abris collectifs, les familles vulnérables, femmes seules, enfants séparés ou non accompagnés doivent rester avec leurs propres groupes afin d'identifier les espaces dédiés aux familles et aux individus assurant assez de sécurité et d'intimité.

C.3. Information

Les communautés affectées doivent être informées de leur affectation. L'information doit être disséminée largement. Ceci inclut : les supports visuels (images, pictogrammes, affiches, pancartes), les langues adaptées, des formats audio (radio, etc.) à des points de rassemblement (comme les écoles, marchés, églises etc.) facilement accessibles par toute personne quel que soit le genre, l'âge, le handicap et autre considération liée au contexte.

C.4. Formation

Les équipes et volontaires engagés dans les activités d'abris, depuis les phases de sélection et d'information sont sensibilisées sur les questions transversales que sont l'inclusion, le genre et la protection afin d'assurer un accès significatif au service d'abri pour toutes les personnes vulnérables, sans discrimination liée à l'âge, au sexe, à la condition (handicap physique ou mental), au statut (migrant, apatride, etc...) ou à l'appartenance (minorités ethniques, religieuses ou culturelles). Ces éléments doivent être pris en considération à toute étape de l'intervention, de l'évaluation des besoins à l'attribution des abris et ANA, de façon à ce que les besoins spécifiques des personnes les plus vulnérables soient couverts.

Les équipes et volontaires engagés dans les activités d'abri ont une bonne connaissance de la réglementation relative au logement et à la propriété au Burundi de façon à orienter au mieux les besoins des bénéficiaires.

D. Annexes



Credit : OIM

Table des matières des annexes

D.1. Annexe 1 : Étude technique : Analyse comparative des techniques de maçonnerie en terre	II
D.2. Annexe 2 : Conclusions de l'atelier sur les techniques de construction dans la région des grands lacs, avril 2013	LXXI
D.3. Annexe 3 : Comment construire un foyer amélioré	XCVI
D.4. Annexe 4 : Vue générale sur les normes et recommandations des abris d'urgence	XCVII
D.5. Annexe 5 : Vue générale sur les normes et recommandations de l'abri transitoire	XCIX
D.6. Annexe 6 : Vue générale sur les normes et recommandations de l'habitat durable	CI
D.7. Annexe 7 : Vue générale sur les ANA	CIII
D.8. Annexe 8 : Devis quantitatifs et estimatifs	CIV

D.1. Annexe 1 : Étude technique : Analyse comparative des techniques de maçonnerie en terre

Par le IFRC SRU, consultante : Eugénie Créte
27 février - 8 mars 2019

Table des matières

D.1. Annexe 1 : Etude technique: Analyse comparative des techniques de maçonnerie en terre	II
D.1. Résumé exécutif	II
D.1.1. Présentation générale du contexte	V
D.1.2. Les différentes techniques de maçonnerie au Burundi	X
D.1.3. Objectifs et méthodologie de l'enquête	XXI
D.1.4. Etudes de cas.....	XXIV
D.1.5. Recommandations sur la production et la mise en œuvre des matériaux	XLI
D.1.6. Amélioration de la qualité de mise en œuvre	XLVI
D.1.7. Conclusions.....	LXIV
D.1.8. Liste des acronymes	LXVIII
D.1.9. Bibliographie.....	LXVIII

D.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) auto-bloquants. 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 auto-bloquant 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 auto-bloquants, d'autre part, qui reviennent deux à trois fois plus chères. Cet écart est encore plus marqué si l'on considère que les bénéficiaires participent bénévolement à certaines tâches de la construction² : le coût de construction des maisons en BTC auto-bloquants est alors près de quatre fois plus important que celui des maisons en adobes.

La part de budget qui couvre la rémunération de main d'œuvre est environ deux fois 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).

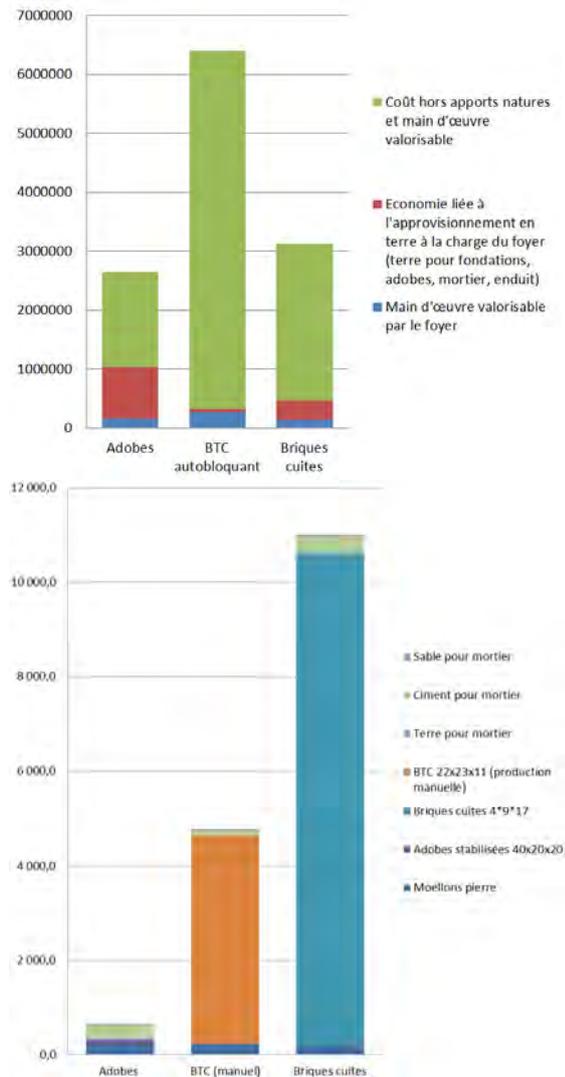
Par ailleurs, un indicateur clef pour comparer l'impact environnemental de ces trois techniques est la production équivalente en CO₂³.

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

Budget investi (BIF)	Kigwena			Muyinga		
	Adobes	BTC	B Cuites	Adobes	BTC	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 (BIF)	16 067 884	38 288 656	22 583 524	14 269 325	35 295 479	20 532 066
Argent investi nationalement (BIF)	73 403 220	70 428 042	78 469 306	75 878 372	69 791 081	79 280 780
Dont argent investi localement (BIF)	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

² 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.

³ Il a été considéré des briques cuites produites par des fours améliorés moins énergivores que les fours traditionnels pour prendre en compte une amélioration possible des fours dans les prochaines années. A l'heure actuelle, l'empreinte CO₂ des briques cuites est 2 à 3 fois plus importante.



Graphes de comparaison financière (en BIF, à gauche) et des empreintes CO₂ (en kgéqCO₂, à droite) des trois techniques, cas de Kigwena

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). 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 autobloquants) 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-bloquants, 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.

D.1.1. Présentation générale du contexte

D.1.1.1. Contexte géographique

Le Burundi est un pays à forte prédominance rurale, avec moins de 20% de population citadine⁴ 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 récents⁵. 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 occupé 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

⁴ La population urbaine était de 10% en 2008 selon le recensement national.

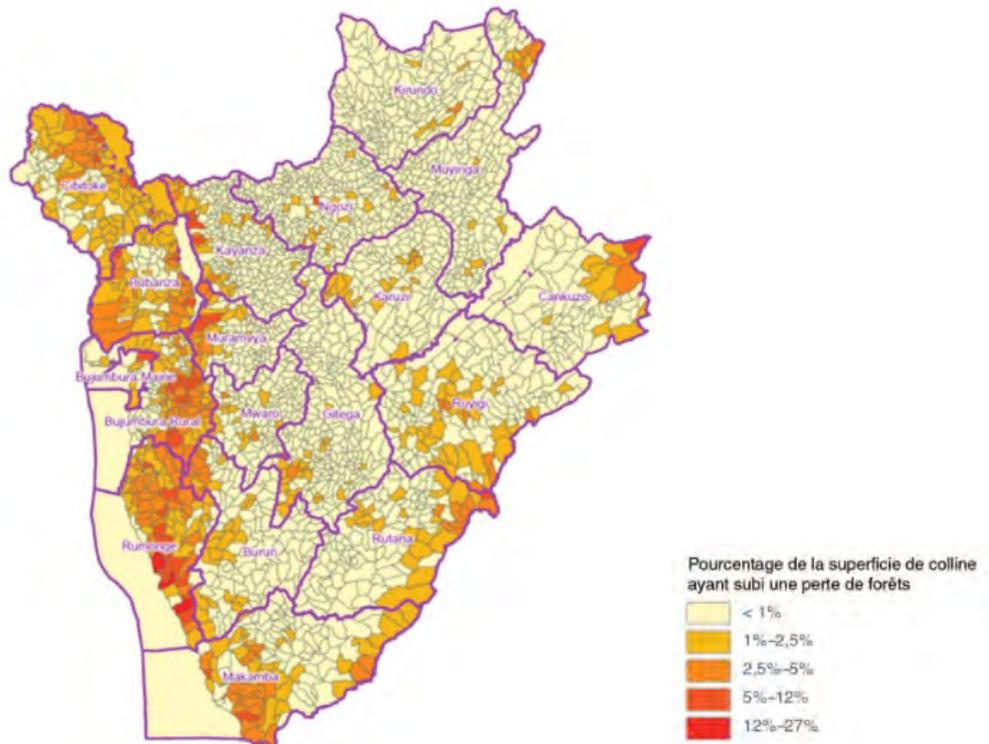
⁵ <http://bi.chm-cbd.net/biodiversity/presentation-du-burundi/aspects-physiques-du-burundi/geologie-et-pedologie-du-burundi>

centraux est constitué de sols lessivés, pauvres en silice et riches en fer, perméables, avec des argiles peu gonflantes en surface⁶.

Le climat est de type tropical, avec une saison des pluies qui s'étend de septembre à avril⁷.

D.1.1.2. 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 causes principales d'une déforestation majeure. Alliée à des pratiques de cultures intensives sans gestion adéquate des terres, cette déforestation contribue à une forte érosion des sols⁸. Les principales conséquences en sont une perte importante de productivité agricole et la recrudescence de glissements de terrain lors des forts épisodes pluvieux.



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 respiratoires⁹.

Les matériaux de construction utilisés exercent une contrainte importante sur ce capital naturel fragile. Les briques cuites et les tuiles proviennent de

⁶ <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

⁷ Fiche pays Burundi, FAO Aquastat, 2005

⁸ 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

⁹ Burundi – Analyse environnementale du pays, World Bank et Terrafrica, 2017

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 alternatives¹⁰. 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-énergie¹¹).

D.1.1.4. 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 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 années¹². Ce risque doit donc être pris en compte lors de la définition et la mise en œuvre des programmes de construction. Les solutions constructives parasismiques sont très onéreuses et il est nécessaire de faire appel à des entreprises très compétentes pour les mettre en œuvre.

D.1.1.5. 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 d'au moins 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.

¹⁰ Selon la ministre burundaise de l'Éducation 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)

¹¹ 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

¹² Constructions scolaires pour l'École Fondamentale dans le contexte du Plan Sectoriel de Développement de l'Éducation 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>).

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%)¹³. 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 personnes 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 besoins¹⁴. En 2018, on estime à 440 000 le nombre de personnes nécessitant un relogement¹⁵.

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 performante¹⁶. 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).

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 habitants¹⁷.

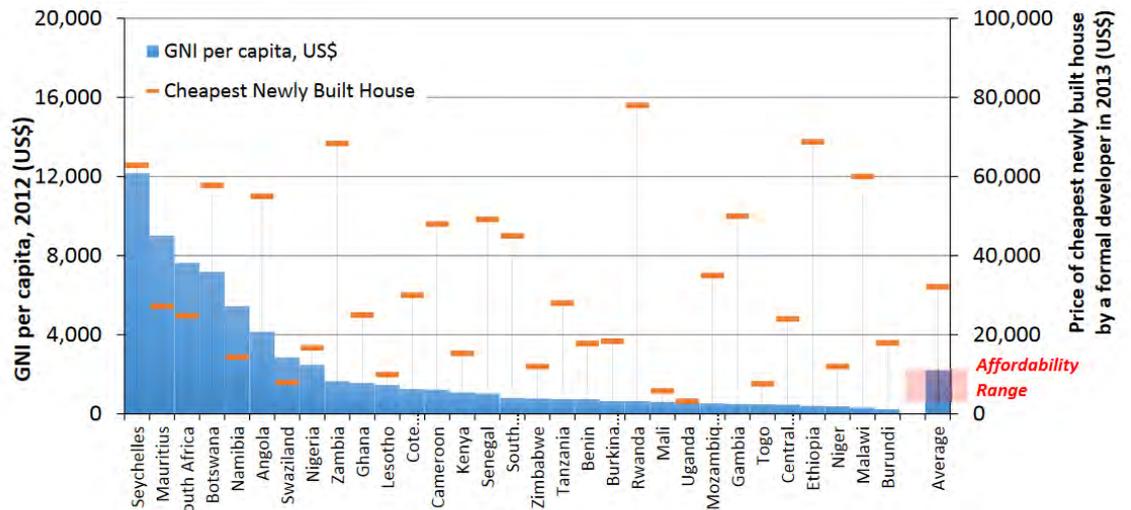
¹³ Rapport d'enquête sur plusieurs types de villages et collines au Burundi 2006-2008, Information, Counselling, Legal Assistance (ICLA) Conseil Norvégien pour les Réfugiés (CNR), 2008

¹⁴ 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

¹⁵ Selon l'estimation de la Croix Rouge du Burundi (termes de référence de la mission).

¹⁶ Addressing Fragility And Demographic Challenges To Reduce Poverty And Boost Sustainable Growth - Systematic Country Diagnostic, World Bank, 2018

¹⁷ 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



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 personnes déplacées et rapatriées 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-bloquants pour la construction des murs.

Ces maisons sont accompagnées de deux annexes constituant la cuisine et les latrines. Elles ont comme principales caractéristiques techniques¹⁸ :

- 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.

¹⁸ 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

D.1.2. Les différentes techniques de maçonnerie au Burundi

D.1.2.1. Historique des différentes filières

Jusqu'à 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 torchis¹⁹ dans les années 20 (*étape 2*), puis l'évolution du plan qui devient rectangulaire dans les années 40, les toitures passant d'une forme conique 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 Mirwa²⁰. 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} siècle²¹, 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} siècle²². 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 large²³.

En 2004, le PNUD achète une dizaine de presses hydrauliques (presses Hydraform) puis manuelles pour la production de BTC auto-bloquants. Les presses encore en fonctionnement sont actuellement mises à la disposition des

¹⁹ Les murs en torchis sont construits en appliquant un mélange de terre et de fibres humide sur un tressage de bois ou de cannes.

²⁰ Le Burundi, Jean-Louis Acquier, Collection Architectures traditionnelles, Editions Parenthèses, 1986

²¹ Etude de la filière terre / terre cuite, Pascal Rutake et Faustin Musare, CURDES, Université du Burundi, 1987

²² Etude de la filière terre / terre cuite, Pascal Rutake et Faustin Musare, CURDES, Université du Burundi, 1987

²³ Construction en terre au Burundi – Conference paper « Earth construction technologies appropriate to developing countries », Frédérique Bizimana, 1984

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 voisins²⁴.

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

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 financière 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 Bujumbura²⁵.

D.1.2.2. 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%)²⁶.

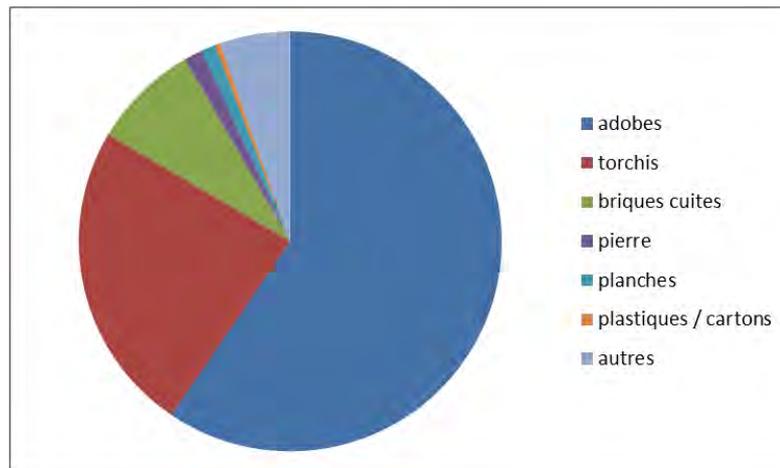
Les constructions en torchis sont encore bien présentes sur le territoire burundais (estimées à 24% à l'échelle du territoire), et particulièrement dans la région de Kirundo et dans celle de Muyinga. Mais il semble que leur proportion diminue avec la raréfaction du bois.

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.

²⁴ 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).

²⁵ Entretien avec l'équipe SKAT de PROECCO le 7 mars 2019 à Bujumbura.

²⁶ Ceci reste vrai à l'échelle régionale, sauf dans les régions de Kirundo et de Muyinga.



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 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 PROECCO²⁷.

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 alluviales²⁸. On trouve généralement des moellons de qualité correcte dans les zones montagneuses, facilement dans les zones de Musinga 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)²⁹. On trouve ce ciment sur le marché burundais (marque BUCECO), au côté de ciments tanzaniens, kenyans ou ougandais. Il n'est

²⁷ Disponible sur

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

²⁸ Entretien avec Théodose Simuyeye le 4 mars 2019 à Bujumbura.

²⁹ Idem et entretien avec le gérant d'un site d'extraction de roches carbonatées le 5/03/19 à Ngozi.

toutefois pas de la classe de résistance souhaitée pour la fabrication des BTC hydroform (42,5 recommandé), mais suffit pour certains mortiers et enduits³⁰.

Il existe aussi une usine de recyclage d'acier produisant des fers à béton et clous locaux de qualité médiocre³¹ 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 importés³². 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 Bujumbura³³. Les durées d'acheminement sont longues et incertaines et les ruptures de stocks régulières³⁴.

D.1.2.3. Organisation de ces filières et processus de production / mise en œuvre

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 éventuelles³⁵. 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 Burundi³⁶.

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-

³⁰ Entretien avec l'ingénieur CRB en charge du suivi du projet de construction de Kigwena le 4/03/19 à Bujumbura.

³¹ idem

³² Idem, et entretiens avec différents distributeurs à Rumonge, Muyinga, Ruzo.

³³ 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

³⁴ 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/>

³⁵ Construction en terre au Burundi – Conference paper « Earth construction technologies appropriate to developing countries », Frédérique Bizimana, 1984

³⁶ L'impact écologique des programmes de réfugiés / rapatriés soutenus par le Conseil Norvégien des Réfugiés au Burundi, ProAct Network, 2009

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 ciments 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 élanement 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

convient³⁷.

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 compte³⁸. 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

³⁷ Entretien 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

³⁸ 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 (environ 3 cm), 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'épaisseur³⁹. Actuellement, la hauteur des adobes produites varie généralement entre 10 et 17cm, leur largeur entre 15 et 20cm, et leur longueur entre 30 et 35cm⁴⁰. 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 BIF pour les adobes de 40cm x 20cm x 20cm, à Muyinga⁴¹.

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 BIF/adobe⁴².

Briques cuites

Les briques cuites sont produites dans de nombreuses régions du Burundi⁴³. Leur production demande des terres très argileuses⁴⁴, des savoirs techniques

³⁹ Construction en terre au Burundi – Conference paper « Earth construction technologies appropriate to developing countries », Frédérique Bizimana, 1984

⁴⁰ Valeurs issues de relevés lors de l'enquête terrain et du recensement réalisé par le IFRC-SRU en 2012.

⁴¹ Entretien avec l'équipe de la CRB à Muyinga le 5/03/19

⁴² 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

⁴³ Comme le montre le recensement effectué dans le cadre du projet PROECCO : <http://madeingreatlakes.maps.arcgis.com/apps/MapTools/index.html?appid=7e4e9a0bed1e4e65984559fdcaee5b54>

⁴⁴ 40 à 60% d'argiles minimum

précis, des investissements initiaux importants et un permis d'exploitation des gisements d'argile délivré par les autorités en contrepartie d'une taxe annuelle⁴⁵. Elles ne peuvent donc être produites par les habitants dans des processus d'autoproduction / construction. Les méthodes de cuisson actuellement en vigueur sont très peu efficaces : elles consomment de grosses quantités de bois⁴⁶, et produisent des briques cuites de qualité médiocre⁴⁷. Au manque de maîtrise de la technologie s'ajoute une baisse de qualité des argiles employées, en raison d'un accès de plus en plus difficile aux gisements⁴⁸. 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 sont⁴⁹ :

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 four 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 four⁵⁰. 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

⁴⁵ 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 BIF à l'Etat et de 100.000 BIF à la commune, auxquelles s'ajoutent une taxe de 3500 BIF / benne (soit 5000 briques) pour la commune.

⁴⁶ 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.

⁴⁷ 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.

⁴⁸ Entretien avec Théodose Simuzeye le 4/03/19 à Bujumbura

⁴⁹ 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

⁵⁰ Environ 4000BIF/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).

transport est généralement effectué par les femmes qui portent plusieurs (dizaines de) kilogrammes de briques sur leur tête⁵¹.

Les briqueteries sont des lieux de production de poussières et de fumées et le travail y est très pénible avec des risques d'accident conséquents⁵².

Partant de ce constat, le programme PROSECCO 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 combustibles⁵³.

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

On peut estimer la part de main d'œuvre pour la production d'une brique à 15 BIF⁵⁴, dont 5 BIF 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)

⁵¹ Ce travail est très pénible physiquement et ne peut être effectué qu'un jour sur deux. Il est rémunéré environ 1600 BIF/jour, soit un revenu moyen de 800 BIF/ 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

⁵² Rapport de l'étude sur « le genre et le travail dans le secteur de production des matériaux de construction », PROECCO, 2013

⁵³ Entretien avec le chef de chantier BTC le 1/03/19 à Kigwena

⁵⁴ La part de main d'œuvre peut être estimée à 8 à 10BIF 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.



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

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 posé 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 transportent 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).

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 0).

Les BTC auto-bloquants 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 satisfaisante⁵⁵. On peut toutefois

⁵⁵ Appui A La Définition Et A La Préparation D'un Programme D'infrastructures Scolaires Au Burundi – Rapport final, CRAterre, 2018

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-bloquants 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 0).

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 fini⁵⁶. 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.

⁵⁶ 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).



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

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



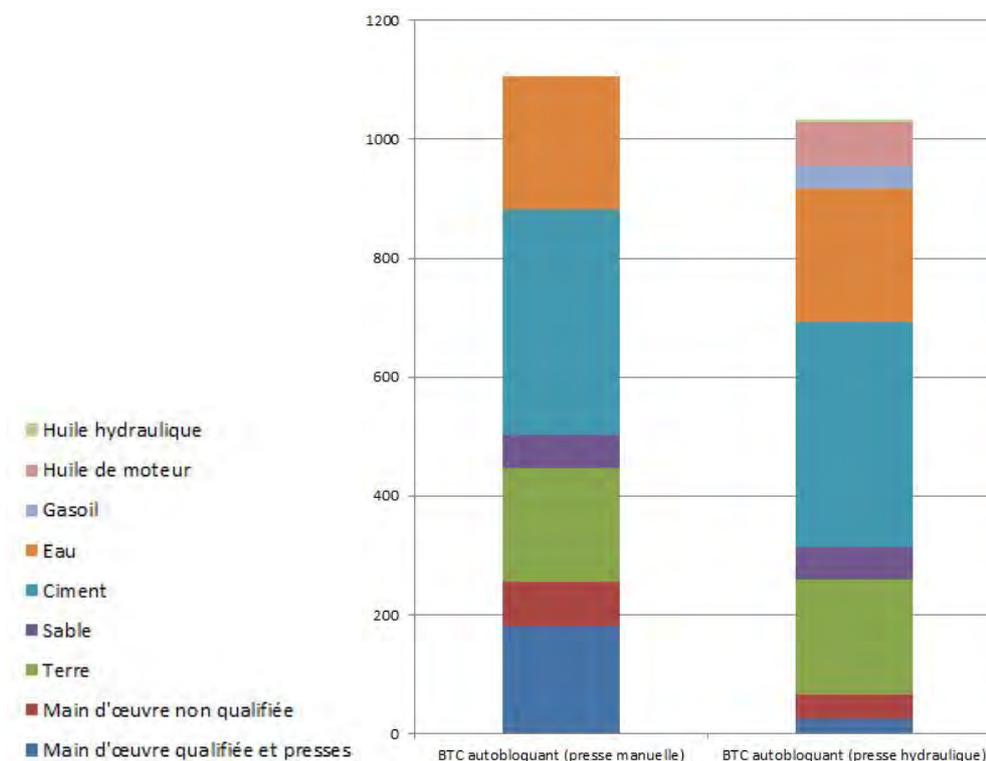
Par ailleurs, il est important de noter que les BTC peu ou mal stabilisés sont d'autant plus sensibles aux infiltrations d'eau.

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-bloquants 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 arrêtée⁵⁷.

Le prix d'un BTC auto-bloquant produit sur place avec environ 8% de ciment était estimé à environ 900 BIF en 2015⁵⁸. 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 0). Les coûts estimés pour la production des BTC sont les suivants (en BIF, hors location et entretien des presses hydrauliques, qui sont considérées comme mises à disposition par le PNUD) (détail en annexe 7) :

⁵⁷ CRAterre, 2012

⁵⁸ 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



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

D.1.3. Objectifs et méthodologie de l'enquête

D.1.3.1. 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.

D.1.3.2. Méthodologie

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 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, déclinées pour trois techniques de construction des murs : adobes, BTC auto-bloquants et briques cuites. Ce quantitatif porte sur les maisons et n’inclue pas la construction des bâtiments annexes (cuisine, latrine-douche). 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 :

Scénario de référence	Adobes	BTC autobloquants	Briques cuites artisanales
Fondations	40 cm de profondeur et 30 cm 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 2,3m de haut en façade principale, 3,1m au pignon	22cm d'épaisseur BTC 22 x 22 stabilisé sable (20%) et ciment (7%) Mortier 6 terre, 6 sable, 1 ciment 2,3m de haut en façade principale, 3,1m au pignon	17cm d'épaisseur Briques cuites 17 x 9 x 4 Mortier terre 2,3m de haut en façade principale, 3,1m au pignon
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		

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 ;

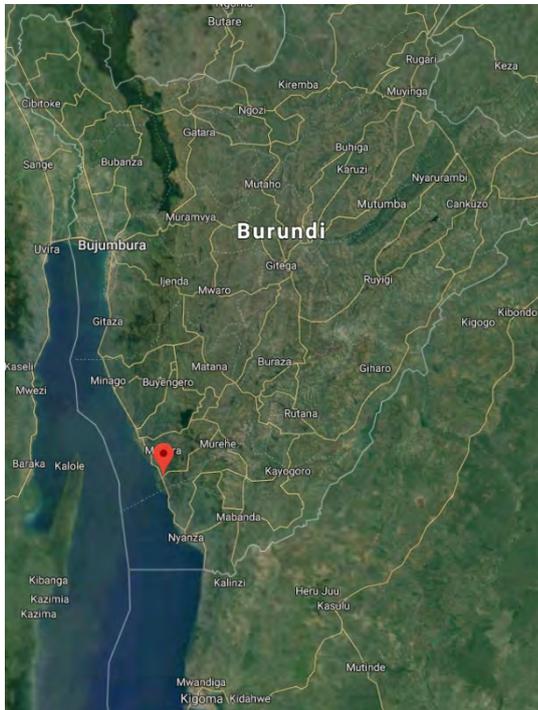
- La part du budget allouée à la rémunération de main d'œuvre (avec une distinction entre emploi qualifié et non-qualifié) ;
- La part de budget investie au Burundi ;
- L'économie possible sur le coût de construction grâce à un approvisionnement en terre à la charge du bénéficiaire et une participation 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.

D.1.4. Études de cas

D.1.4.1. Analyse du VRI de Kigwena

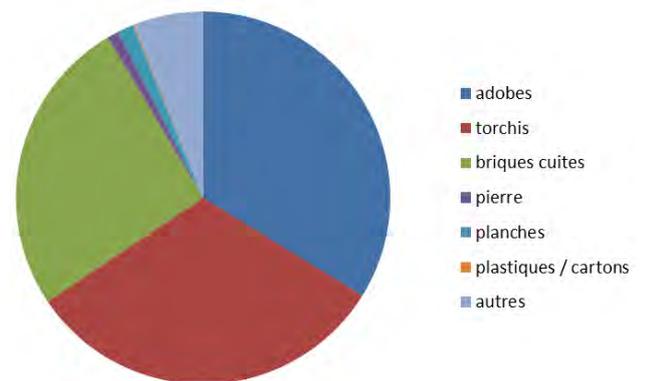
Le projet

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 CRL en 2017 / 2018 près du village de Kigwena. Il s'agit d'abris transitoires avec des fondations en moellons maçonnés au ciment, des toitures en tôle et des murs en bâche.



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

Sur les 174 maisons, 18 ont vu leurs murs construits en BTC auto-bloquants grâce à un financement du gouvernement et le PNUD a accepté de financer le reste des murs dans une deuxième phase. 5 maisons ont été construites lors de cette deuxième phase et la CRB est le partenaire d'implémentation du PNUD qui 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 : AICRL



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.

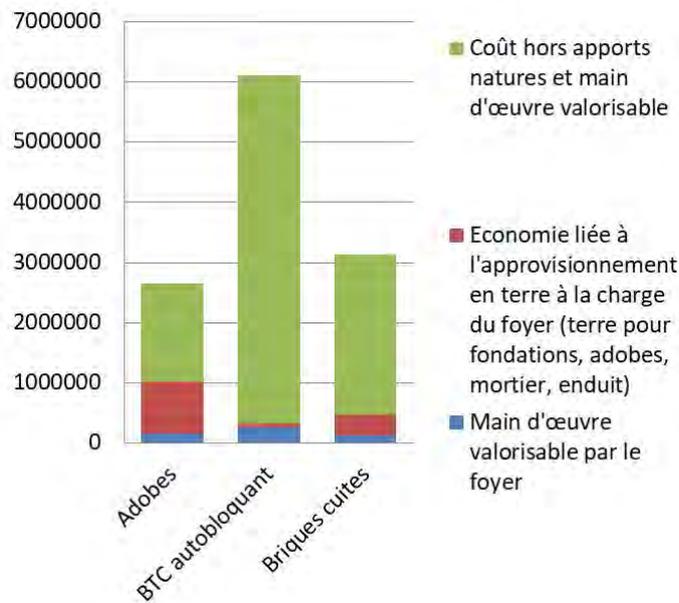
Analyse financière

Les estimations financières et environnementales découlent d'un quantitatif (dont le détail est présenté en annexe 3) réalisé à partir des caractéristiques techniques détaillées au paragraphe 0 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.

Accessibilité économique

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

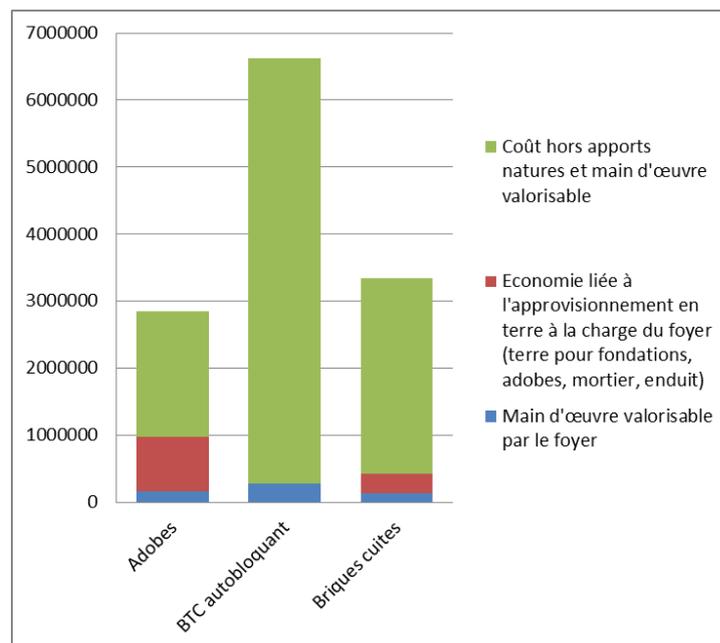
- Le budget qui peut être économisé dans le cas où les bénéficiaires participent bénévolement à la production des matériaux et à leur mise en œuvre non-qualifiée, dans une limite de 90 jours de mise à disposition d'une personne par foyer ;
- Le budget qui peut être économisé si la terre nécessaire pour 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 BIF) avec le scenario de référence

Dans le cas où des fondations de 40cm de profondeur et 35cm de large en moellons maçonnés au ciment⁵⁹ 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-bloquants ;
- 10% dans le cas d'une construction en briques cuites.



⁵⁹ 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 (en BIF)

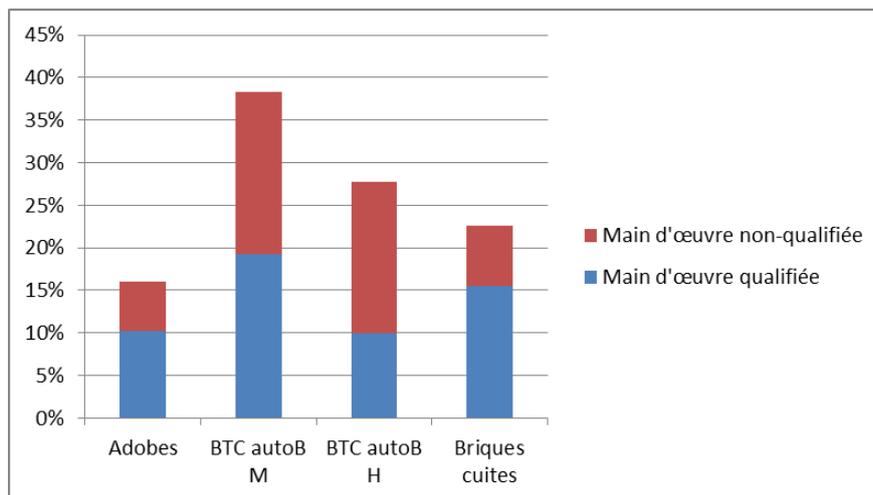
Dans le cas où des presses hydrauliques seraient mises à disposition gratuitement et leur entretien pris en charge par une organisation extérieure, le coût restant à charge pour l'organisation finançant les constructions diminue de 5%.

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 §0).

Quel investissement dans l'économie locale ?

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-bloquants par presse manuelle ; BTC autoB H : BTC auto-bloquants 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

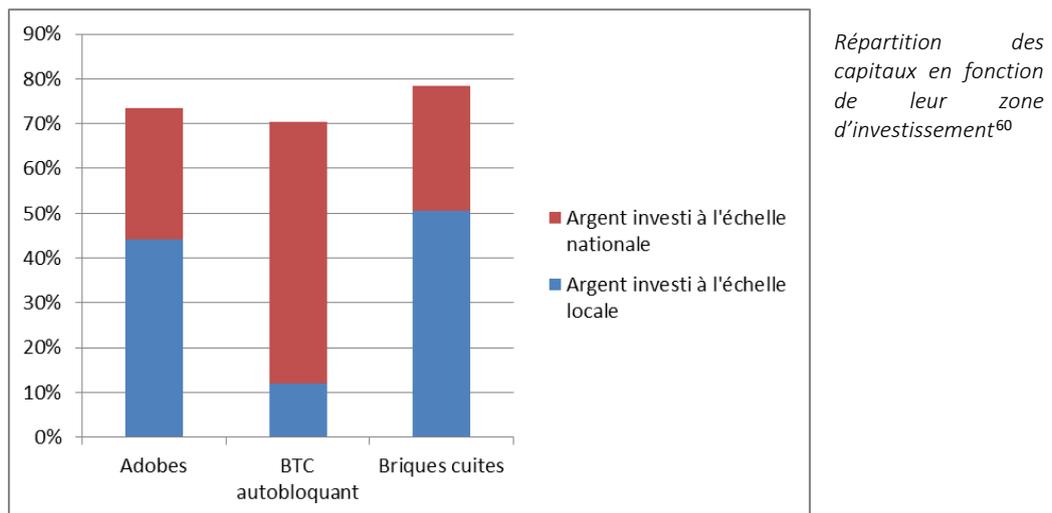
formés à la technique de construction en BTC est 1,5 à 2 fois supérieure à celle d'un maçon classique.

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.



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-qualifiée⁶¹.

⁶⁰ Estimation réalisée à partir du cas d'étude de Kigwena. Les résultats sont similaires dans le cas de Muyinga.

⁶¹ 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 compte entraînerait donc une diminution encore plus nette de la proportion de capitaux investis localement et nationalement.

Quelle dépendance aux importations ?

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-bloquants.

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-bloquants (presse manuelle)	Brique cuite
Mortier de fondation terre	Estimation transport national (BIF)	100 000	350 000	140 000
	Estimation coût de construction hors apport en nature (BIF)	1 620 000	6 070 000	2 660 000
Mortier de fondation ciment	Estimation transport national (BIF)	120 000	370 000	160 000
	Estimation coût de construction hors apport en nature (BIF)	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 BIF.

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 prises en charge par le PNUD.

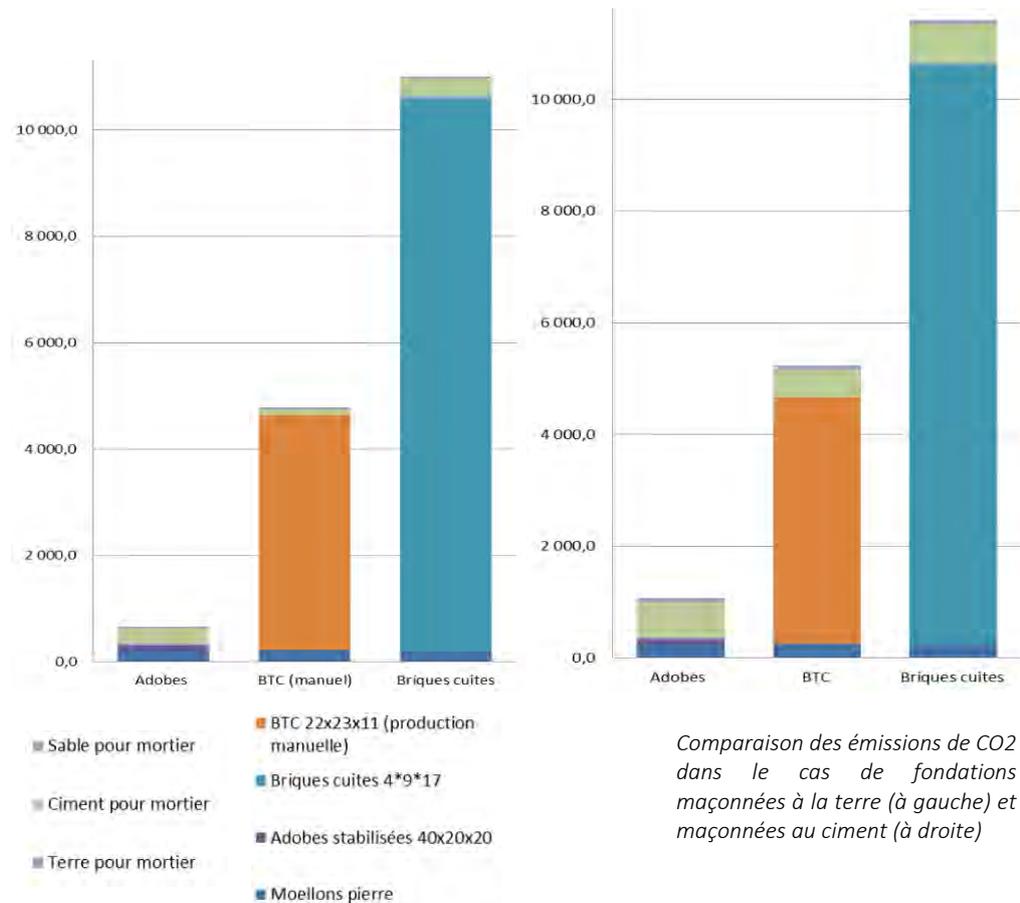
Analyse environnementale

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-bloquants 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 aux distances 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



La production de CO₂ a été estimée en considérant une cuisson des briques cuites dans des fours améliorés. Elle est à l'heure actuelle, avec une cuisson dans un four traditionnel, de deux à trois fois supérieure pour cette technique.

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.

Impact sur la déforestation

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

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.

La consommation d'eau

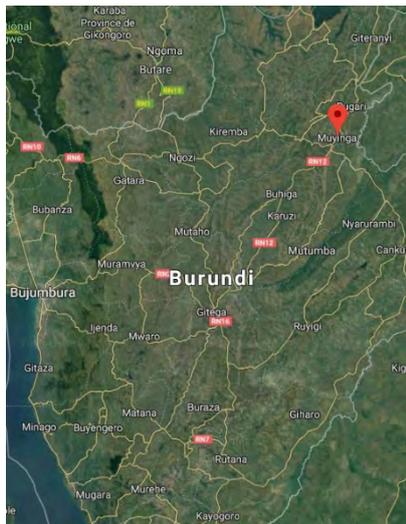
La production d'une brique cuite nécessite environ 0,6 L d'eau⁶², soit 10m³ d'eau pour la production des briques d'une maison. Par adobe de 40 x 20 x 20, il faut compter environ 10L d'eau, soit sensiblement la même quantité d'eau à l'échelle de la maison (10m³) que pour une construction en briques cuites.

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

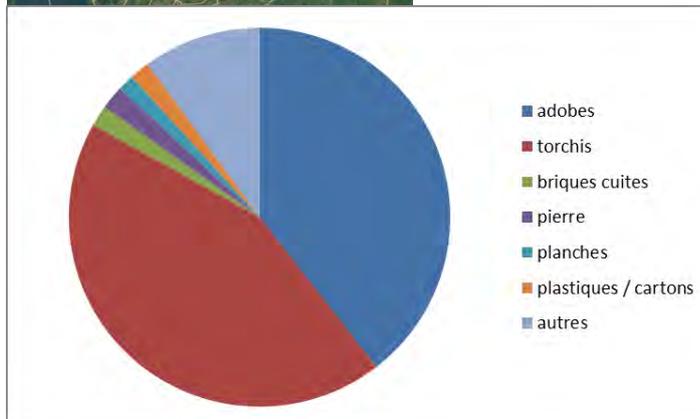
D.1.4.2. Analyse des maisons construites dans la province de Muyinga

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 Maps



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

⁶² 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*



*A gauche : Maison dans la province de
Muyinga (crédit CRAterre) et à droite :
Abri de fortune appelé blindé dans la province de
Muyinga (crédit CRAterre)*



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 5.6 m 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 communautaires, 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 problème⁶³.

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 plantes⁶⁴.

Analyse financière

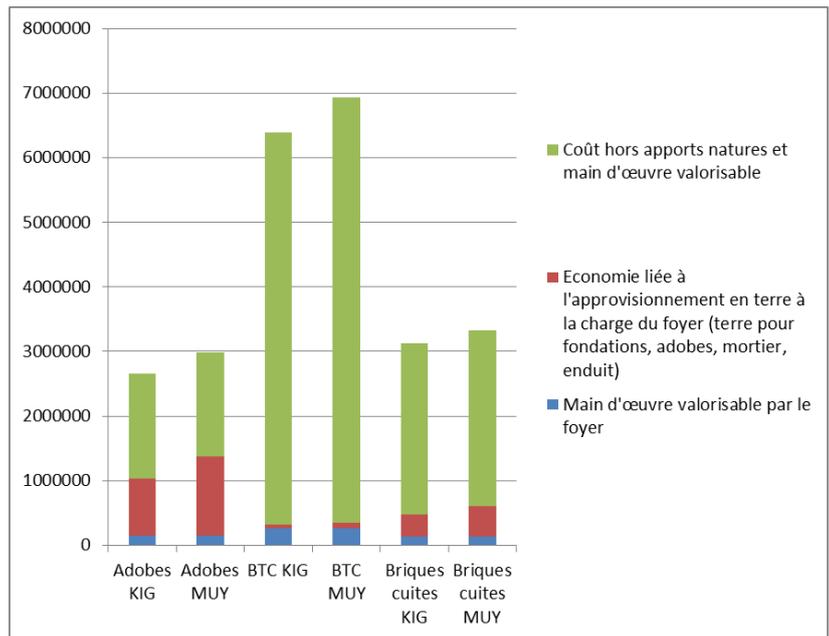
Le tableau ci-dessous synthétise les principales différences entre Kigwena et Giteranyi, en termes de coût de matériaux et main d'œuvre :

	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 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.

⁶³ Entretien avec l'équipe CRB de Muyinga le 5/03/19

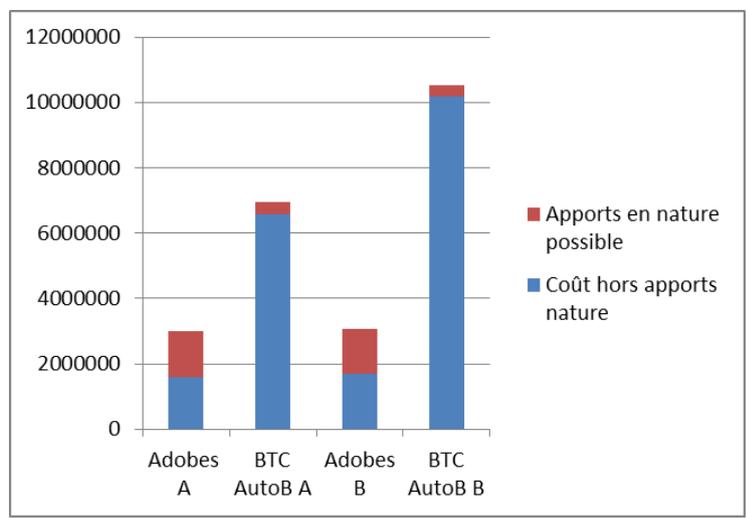
⁶⁴ Une bénéficiaire a mentionné l'ajout d'une plante, Umurendarenda, comme renforcement efficace des enduits terre utilisés en intérieur et en extérieur.



Comparaison des coûts de construction à Kigwena et à Muyinga

Si l'on considère des fondations en moellons maçonnés au ciment, de 40 cm de profondeur et 35 cm 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 en briques cuites.

Par ailleurs, le coût de l'eau considéré dans le scénario de référence (scénario A) de 2BIF/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 10 BIF/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.



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.

Analyse environnementale

Les hypothèses suivantes ont été faites relativement à la 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.

D.1.4.3. Quelle généralisation possible ?

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 regroupées 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 matériaux⁶⁵ 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 nécessaire pour la production du mortier est lui aussi impactant, et ce d'autant plus que la zone est peu accessible⁶⁶.

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.

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.

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.

Variabilité prévisible des indicateurs dans le temps

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

⁶⁵ Le transport de la terre nécessaire à la production des adobes, des briques cuites et des mortiers n'est pas inclus.

⁶⁶ Augmentation du budget transport, par rapport au budget indiqué dans le tableau, de 20 000 BIF à Kigwena, et de 40 000 BIF à Giteranyi

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 salaires⁶⁷.

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%⁶⁸.

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.

⁶⁷ 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.

⁶⁸ D'après les factures de la CRB.

D.1.5. 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.

D.1.5.1. Amélioration de la qualité de production

La zone de production

La zone de production doit être aplanie, 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 ou d'adobes stabilisées, il faut anticiper la cure en stockant les blocs sur des bâches (voir paragraphe 0).

Dans la zone de production visitée, les distances à parcourir pour amener les BTC des presses jusqu'à leur zone de séchage était très importante, 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 : AICRLI



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.

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 référence⁶⁹.



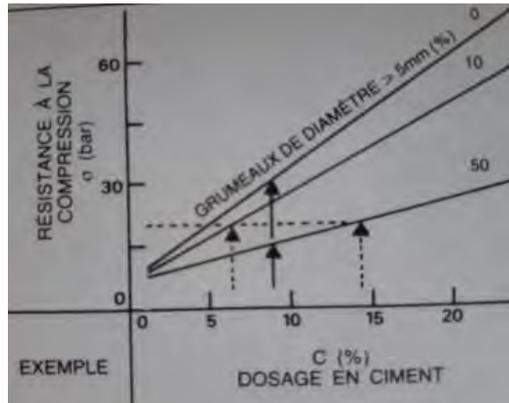
Selon la longueur du morceau qui tombe lorsque l'on fait glisser un cigare de terre d'environ 3cm de diamètre et 20cm de long (fabriqué en enlevant les particules de plus de 5mm de diamètre), on peut estimer l'argilosité de la terre : si la longueur est inférieure à 7cm, la terre est plutôt sableuse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

⁶⁹ Pour plus de détails, voir Production manual for the Great Lakes Region, SKAT, CRATERre et Confédération suisse, 2015, <https://craterre.hypotheses.org/3105>

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 BTC⁷⁰.

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.



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).

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 moitié⁷¹. 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.

La teneur en eau adéquate du mélange pour la production de BTC peut être estimée par le test de la boule⁷². 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.

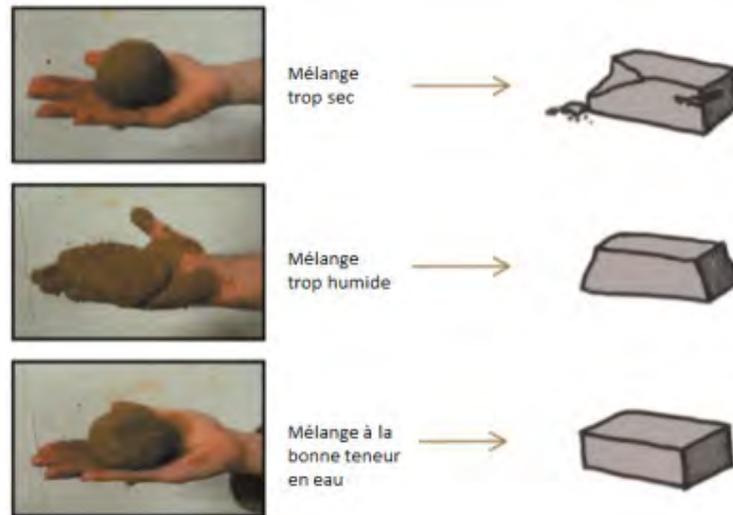
En ce qui concerne la fabrication d'adobes, il est au contraire souhaitable d'avoir un temps de retenue relativement long. Cela permet aux argiles de s'imprégner d'eau et de jouer leur rôle de colle. On obtient classiquement de très bons résultats avec des temps de retenue de l'ordre de 12h, mais cela peut parfois être augmenté à plusieurs semaines, comme cela a été documenté en Ouganda

⁷⁰ Cette valeur est à ajuster en fonction de la presse utilisée.

⁷¹ Traité de construction en terre, CRAterre, 1989

⁷² Pour plus de détails, voir Production manual for the Great Lakes Region, SKAT, CRAterre et Confédération suisse, 2015, <https://craterre.hypotheses.org/3105>

pour la production d'adobes de très bonne qualité⁷³. 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).

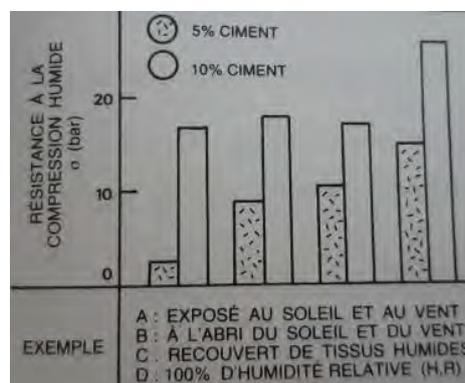
Le moulage et démoulage des adobes

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.

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 CRATERre, 1989).

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

⁷³ Entretien avec O.Moles la 16/03/19.

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%.

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. Cela faciliterait aussi une mixité de maçonnerie entre adobes et briques de terre cuite.

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.

D.1.6. Amélioration de la qualité de mise en œuvre

D.1.6.1. 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 terrasse plutôt qu'en pente⁷⁴. 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 para cycloniques telles les barrières végétales, voire planter des arbres utilisables ultérieurement pour des extensions ou réparations (par exemple du *Grevillea*⁷⁵).



Maisons avec auvents à Giteranyi



⁷⁴ Burundi Landscape Restoration Project, World Bank 2017

⁷⁵ 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

D.1.6.2. 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 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. Cela représente, pour la construction des fondations et du soubassement, deux bennes de moellons par maison. 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 de la main d'œuvre dans cette étude, cela ne représente pas une source d'économie dans les contextes étudiés.

D.1.6.3. 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 (moellons maçonnés au ciment par exemple). Dans le cas où les moellons seraient difficilement accessibles, il peut être intéressant d'utiliser des adobes stabilisées à 10% de ciment⁷⁶, 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.

D.1.6.4. 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

⁷⁶ On estime toutefois que cette solution engendre une consommation importante de ciment, qui dans nos cas d'étude engendre un surcoût important.

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 est toutefois probable que le résultat soit satisfaisant, puisque l'adhérence entre la terre et le ciment est mauvaise.



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



Une solution alternative peut être de maçonner les encadrements de portes avec des briques cuites, en insérant régulièrement des éléments bois ou métalliques entre les briques maçonnés 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 PROECCO, 2015

D.1.6.5. 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 10 (voire 15 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'élancement 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 bois⁷⁷ 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.



Photographie extraite de PROECCO, 2015

Dans les maisons en BTC, deux fers plats font office de chaînage haut : ils sont soit cloués aux BTC (ce qui semble problématique car les BTC se fissurent lorsqu'on les cloue), soit noyés dans un lit de mortier terre stabilisé. Il serait préférable de prévoir un chaînage haut du type de celui décrit pour la construction de maisons en adobes, ou conforme aux prescriptions Hydraform

⁷⁷ 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.

(les quatre derniers lits de BTC auto-bloquants sont maçonnés au ciment et chaque lit de mortier est renforcé par des aciers de type Brickforce)⁷⁸.

D.1.6.6. 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 2016⁷⁹. Photographie extraite de PROECCO, 2015

Concernant les constructions en BTC auto-bloquants, la production de blocs de hauteur réduite (8cm au lieu de 11), possible grâce aux presses manuelles, pourrait 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. Une autre solution consiste à acquérir un moule spécifique permettant de réaliser des blocs avec réserve et l'intégration d'aciers verticaux et horizontaux coulés dans un mortier ciment, au niveau des angles.



Credit : Hydraform

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

⁷⁸ D'après Hydraform International (PTY) Ltd, 2010

⁷⁹ Entretien avec l'équipe SKAT du projet PROECCO à Bujumbura le 7/03/19.

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 (à angle arrondi) ou des briques cuites pour maçonner les angles des maisons. Une intégration de briques cuites demande 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. Photographie extraite de PROECCO, 2015

D.1.6.7. Le triangle supérieur du mur pignon

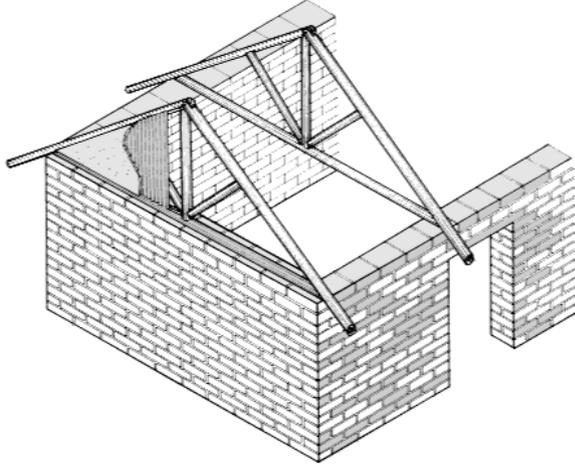
Cette partie des constructions avec toiture à deux pentes est très vulnérable en cas de séisme. Il est donc recommandé de la construire en torchis. Cela est aussi le cas pour les surélévations de murs que certains habitants réalisent à l'intérieur de leur domicile.

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 instables et dangereuses 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.

Dans le but d'améliorer la ventilation de la maison, des ouvertures peuvent être aménagées dans le triangle supérieur des murs pignons. Dans ce cas, il est conseillé de fournir un plafond aux bénéficiaires, ou au minimum de les sensibiliser au fait qu'ils ne devront pas surélever les murs intérieurs pour garantir une bonne circulation de l'air d'un mur pignon à l'autre, ce qui est particulièrement important dans le cas de vents violents. Il est par ailleurs mentionné que pour une ventilation efficace de la maison quel que soit la direction des vents, il serait souhaitable de positionner les fenêtres sur les murs pignons et non en façade.

D.1.6.8. 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 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).

D.1.6.9. La charpente

Les charpentes des constructions visitées, y compris les plus récentes, utilisent de nombreuses perches et gagneraient à être retravaillées. Trois fermes sont prévues, une centrale et une à chaque extrémité de la construction. Les fermes qui se situent à chaque extrémité gagneraient à être conservées pour servir de support à un triangle supérieur des murs pignons en torchis, et, dans le cas où ce triangle serait maintenu en maçonnerie, pour éviter un effondrement de ce

triangle supérieur à l'intérieur de la maison en cas de séisme. Une alternative pourrait être d'appuyer les poutres directement sur le mur pignon et d'assurer le confinement du triangle par des fils de fer.

Par ailleurs, 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. Des fils de fer peuvent aussi être utilisés pour contreventer une charpente (attention dans ce cas à bien tendre les fils de fer dans les deux diagonales, car ils ne peuvent travailler qu'en traction).

Des liaisons combinant taille à mi-bois et cloutages 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 bénéficiaires 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.

D.1.6.10. 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 protégées, 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.

D.1.6.11. 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.

D.1.6.12. 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 construire les toitures avec des pentes supérieures à 25°. 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 : AICRI

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 support⁸⁰. 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 mécaniques⁸¹, 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.

⁸⁰ Par exemple 1 volume de ciment pour 3 volumes de chaux et 12 volumes de sable

⁸¹ Par exemple en enduisant un grillage préalablement cloué au mur

Une mesure de protection des murs les plus exposés à la pluie battante intéressante consiste à dresser une palissade à 50cm du mur, ce qui permet aussi de l'ombrager et d'améliorer le confort thermique de l'habitation.



Exemple de protection au Bangladesh, Photographie extraite de CRAterre, 2017

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



D.1.6.13. 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/la 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.



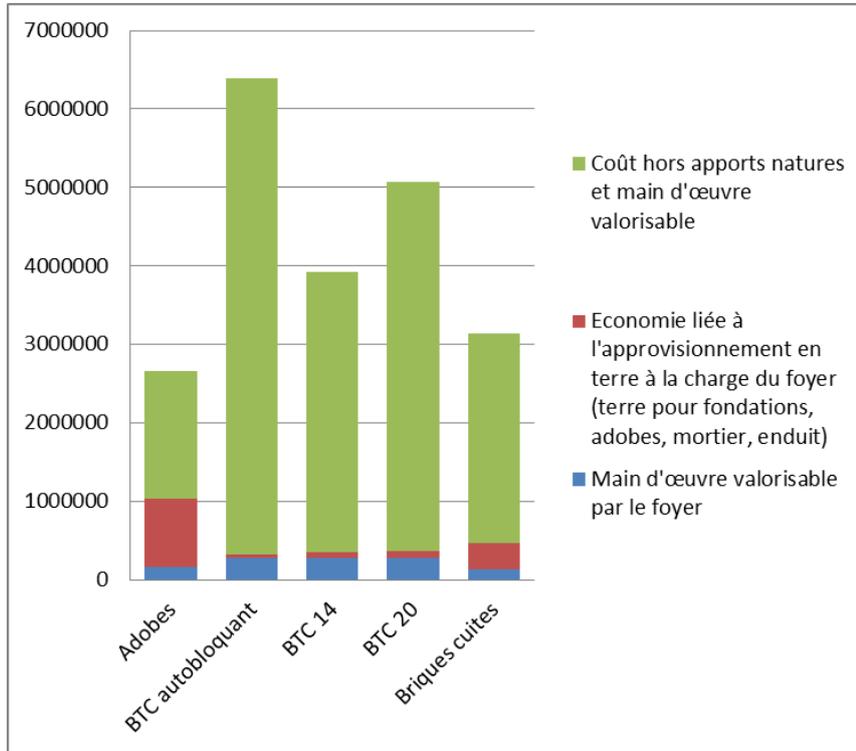
Exemple d'extension dans le VRI de Bohomba

D.1.6.14. L'alternative BTC maçonnés

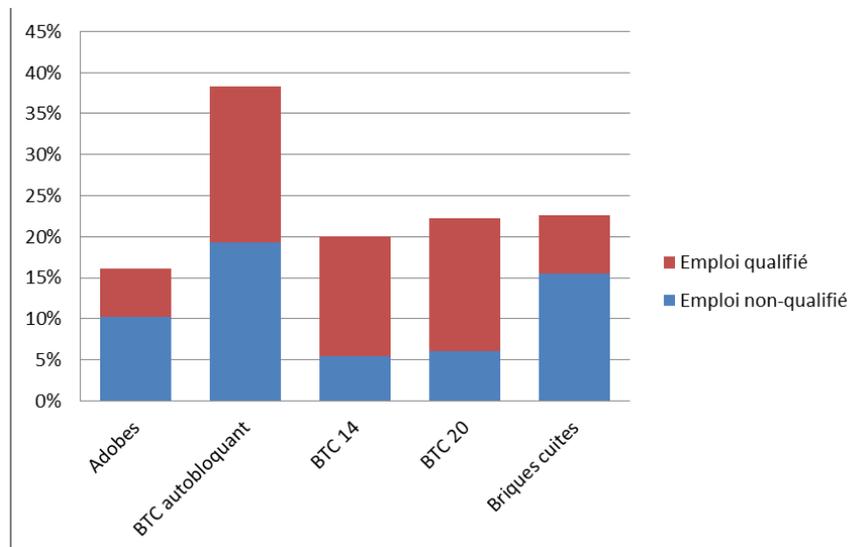
Les BTC maçonnés représentent une alternative qui pourrait être intéressante dans certains contextes burundais. Ces blocs sont stabilisés et comprimés manuellement par des presses, mais avec des taux de compression inférieurs à ceux des BTC auto-bloquants, ce qui rend leur production moins pénible et 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-bloquants 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-bloquants, 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 aux

dimensions du bloc. Cela peut éventuellement poser des difficultés, puisque ce n'est pas dans la manière de faire des artisans⁸².

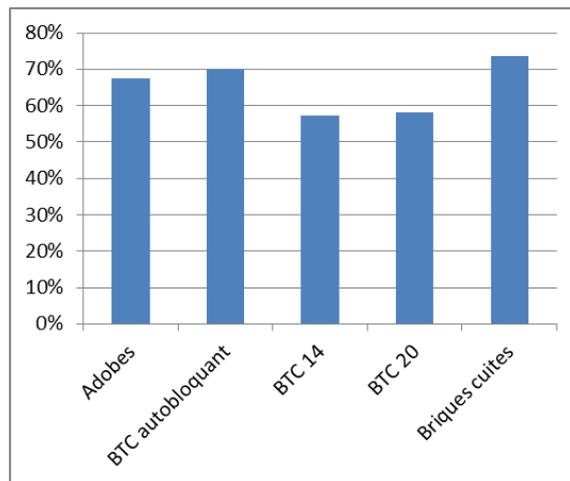


Comparaison du coût de construction en BTC (murs de 14 et 20cm d'épaisseur)

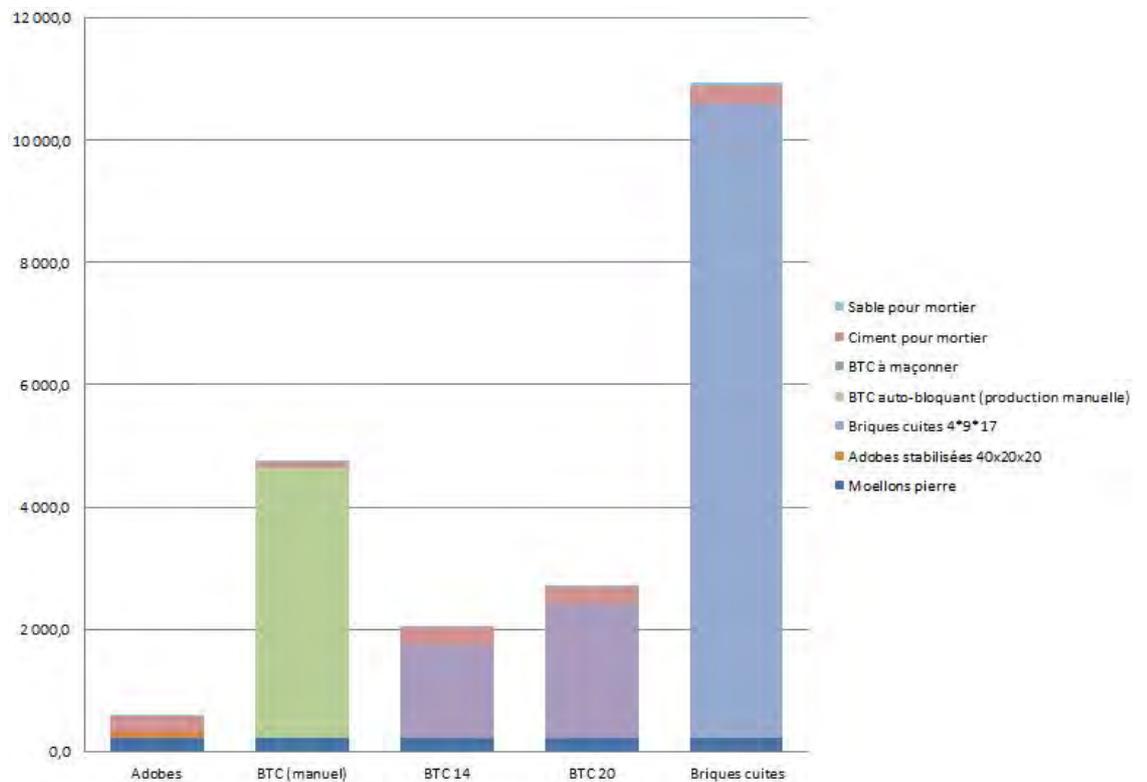


Comparaison des capitaux liés à la rémunération de main d'œuvre

⁸² 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 de production en CO₂ (en kgéqCO₂) des différentes techniques de maçonnerie

D.1.7. Conclusions

D.1.7.1. 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 construction⁸³, comme le montre le tableau ci-dessous.

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 BIF :

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

D.1.7.2. 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 :

⁸³ 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 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.
- La cure des BTC telle que pratiquée actuellement sur le site de Kigwena 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 construire les toitures avec des pentes supérieures à 25°, 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-bloquants) 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-bloquants.

D.1.7.3. 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 0 et 0). 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 locales⁸⁴, 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

⁸⁴ 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>

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 des transports de matériaux. A l'échelle de l'habitat, les matériaux utilisés participent 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.

D.1.8. 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, 1989, Traité de construction en terre
- CRATERre, 2003, Guide de construction parasismique, <https://craterre.hypotheses.org/393>
- CRATERre, 2017, Local Building Cultures for sustainable and resilient habitats, examples of local good practices and technical solutions, <https://craterre.hypotheses.org/1774>
- 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
- Hydraform International (PTY) Ltd, 2010, Hydraform Building System Agreement Certificate 96/237
- 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=7e4e9a0bed1e4e65984559fdcaee5b54>

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/>

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.

D.2. Annexe 2 : Conclusions de l'atelier sur les techniques de construction dans la région des grands lacs, avril 2013

Restitution de la conférence sur les techniques de construction de l'habitat rural dans la région des grands lacs, 2013

Table des matières

D. Les annexes	43
D.2. Annexe 2 : Conclusions de l'atelier sur les techniques de construction dans la région des grands lacs, avril 2013	LXX
D.2.1. Introduction.....	LXX
D.2.2. Site d'implantation	LXXII
D.2.3. Fondation	LXXVI
D.2.4. Structures	LXXVIII
D.2.5. Toitures.....	LXXXI
D.2.6. Services.....	LXXXV
D.2.7. Dimensions et nombre de chambres	LXXXVIII
D.2.8. Tableau récapitulatif de toutes les améliorations proposées.....	LXXXIX

D.2.1. Introduction

L'atelier organisé par la Croix-Rouge du Burundi et la Croix-Rouge luxembourgeoise avec l'appui technique de l'IFRC-SRU s'est tenu du 22 au 24 avril 2012. L'objectif était de revoir le modèle de maison actuellement utilisé, qui fût établi par le HCR et d'identifier les améliorations possibles. Cinquante participants ont assisté à l'atelier durant les trois jours. Le public de cette conférence était composé d'acteurs divers intervenant directement ou indirectement dans la construction d'abris.

Nous tenons à remercier HCR, World Outreach Initiatives, Terre des Hommes, la Fédération Luthérienne Mondiale, le PARESI, la COPED, le SKAT, EELCO, la BTC CTB, l'Université du Burundi, la Fédération Internationale de la Croix-Rouge et du Croissant Rouge, la Croix-Rouge d'Allemagne, la Croix-Rouge de Belgique (communauté francophone et néerlandophone), la Croix-Rouge de la RDC province du Nord Kivu et du Sud Kivu et la Croix-Rouge du Rwanda pour leur participation.

Depuis 2002 des familles de réfugiés ont été assistées à leur retour au Burundi dans des programmes de réinsertion socio-économique, ils ont été soutenus dans la construction d'abris par le HCR et autres organisations travaillant dans ce domaine comme la Croix-Rouge du Burundi.

Pour faciliter ces projets de construction un guide de construction a été développé depuis 2006 et revu entre temps. Néanmoins dans le domaine de la

construction au Burundi on se retrouve toujours et encore plutôt avec une vision d'urgence qu'avec une vision de durabilité. Afin de se détacher de cette vision il est important que tous les partenaires impliqués dans ce domaine valident des nouvelles normes et standards dans un nouveau guide approuvé par les autorités burundaises.

L'atelier sur les techniques de construction d'abris avait comme but d'améliorer la qualité des constructions avec des considérations purement techniques afin d'améliorer la qualité des ouvrages. Néanmoins lors de la conférence il est devenu de plus en plus clair qu'un tel guide ne peut pas être établi en trois jours et que de telles décisions doivent être prises par les plus hautes sphères politiques du pays. Il a donc été convenu qu'il soit produit un document mentionnant toutes les améliorations proposées par les participants à l'atelier et qui pourront par la suite faire objet d'un nouveau guide de construction de l'habitat. Ces améliorations tiennent compte du guide de l'habitat produit par le HCR et inspirer par les constructions rurales habituelles de la région des grands lacs. Elles résultent des expériences acquises sur terrain, des lacunes observées et des solutions proposées pour y remédier.

Ainsi donc, ce document se veut 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. Le souci étant toujours d'améliorer la qualité des services rendus aux plus vulnérables.

Les bénéficiaires de ces projets de construction sont principalement des réfugiés retournant dans leur pays ainsi que des vulnérables qui sont restés dans le pays. Les bénéficiaires reçoivent un kit de matériel (tôles, clous, ciment, portes et fenêtres, perches, fers plats) ainsi que de l'appui technique d'un maçon. De leur part les bénéficiaires appuient la construction en fabriquant les briques pour construire leur maison. On part d'une approche participative par les bénéficiaires. L'organisation se charge de la supervision et du suivi du chantier. Dans un souci environnemental la replantation des arbres abattus pour la construction est un autre volet de ces projets.

Description du modèle de base

- ✓ 7x5 mètres par ménage (35 m²)
- ✓ 2 chambres et un salon
- ✓ Structure en adobe
- ✓ Perches d'eucalyptus pour la charpente
- ✓ Tôle pour couvrir la toiture
- ✓ 2 portes et 4 fenêtres pour la maison principale
- ✓ Latrine et cuisine séparée

L'agenda :

L'atelier comportait des travaux en groupes, des discussions et des présentations relatives au procès de construction. Chaque présentation a été composée de cas documentés par le IFRC-SRU lors d'une visite de terrain préalable, une comparaison avec les bonnes pratiques et donnant des recommandations pour chaque élément documenté.

Jour 1

- Présentation des participants
- Présentation du guide HCR et des innovations faites au guide
- Implantation et Site

Jour 2:

- Exercices pratiques d'implantation
- Fondations
- Test de sols"
- Structure
- Toitures et Charpentes

Jour 3:

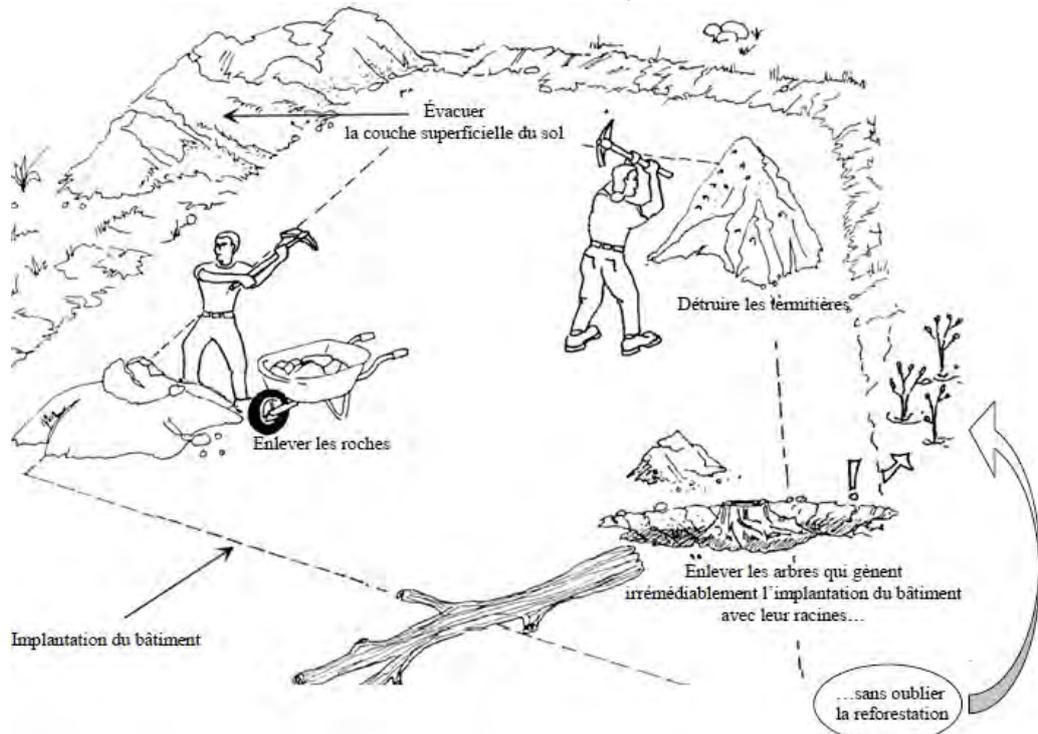
- Cuisines
- Latrines
- Conclusions (travaux en groupes)
- Validation des conclusions
- Présentations des différents participants

Dans ce document nous allons revisiter les points discutés de deux manières : Dans la première partie nous présentons des tableaux relatifs aux différents éléments de la maison en soi. Des tableaux reprenant les problèmes et les solutions proposés à ces différents problèmes qui ont été dressés pour les sujets du « SITE/IMPLANTATION », « FONDATION », « STRUCTURE » et « TOITURE ». Dans la deuxième partie nous allons retracer les majeurs problèmes rencontrés au niveau technique, les causes de ces problèmes, quelles actions peuvent être envisagées pour contrer ces problèmes et quelles sont les stratégies à suivre pour réduire ces problèmes et en fin de compte aboutir à l'amélioration des constructions.

D.2.2. Site d'implantation

Six améliorations ont pu être constatées au niveau du site dont les plus importantes sont la préparation du site, l'établissement du bon sol et le traçage des ouvrages. Il est primordial d'avoir des bons maçons qui sont bien formés et qui sont équipés de bon matériel afin de pouvoir assurer une bonne préparation du site.

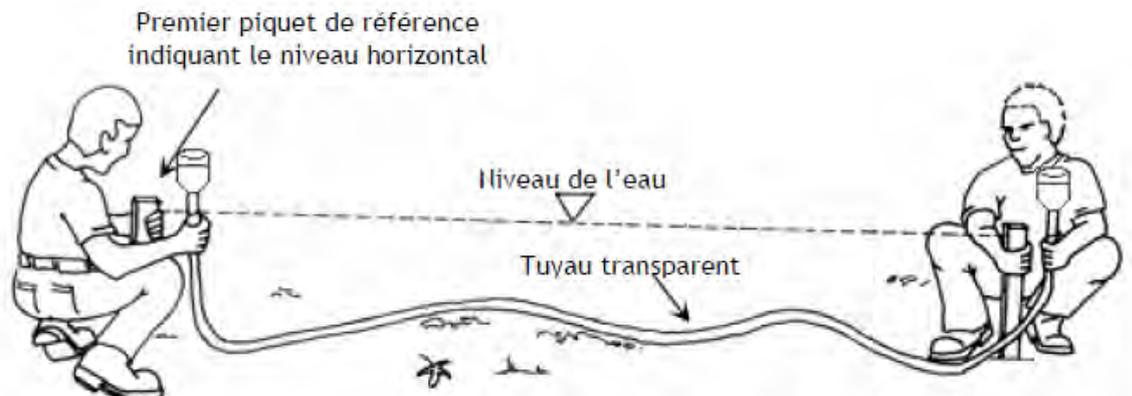
Avant la construction, il est nécessaire de nettoyer le terrain.



La couche de terre non stable doit être enlevée. Cela permettra à la construction de reposer sur un sol ferme et stable. Enlever les matières organiques qui pourraient éventuellement se trouver sur le site choisi : sinon ces matières organiques vont pourrir et attirer les animaux (rongeurs, termites). Mettre le terrain de niveau pour garantir le démarrage de la construction sur une surface parfaitement horizontale. Après le nettoyage du site on va utiliser le niveau pour deux choses:

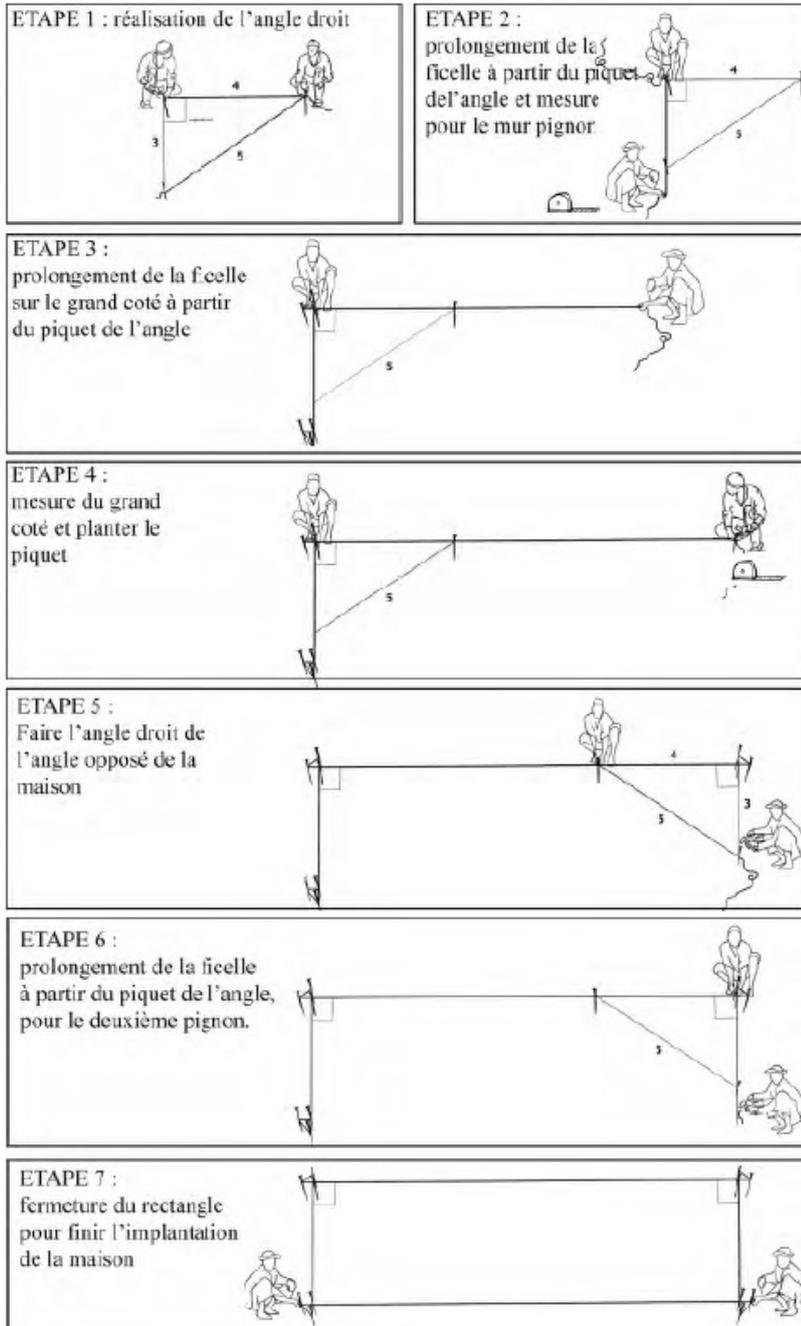
- 1) Identifier la pente du terrain afin de connaître la direction de pente pour l'évacuation des eaux de ruissellement des eaux
- 2) Sinon préparer le terrain en pente d'approximativement 2 cm sur 1 m (2%)

Comment utiliser un niveau à Eau :



A l'aide d'un tuyau transparent, il est très facile de reporter le niveau horizontal de référence sur tous les autres points du terrain. Une fois l'eau stabilisée dans le tuyau, faire une marque sur les autres piquets. Cette marque indiquera le niveau horizontal de référence.

Une fois que le terrain est bien en niveau horizontal. Il est primordial de tracer les angles de 90° parfait. Car si au moment du début de chantier et de préparation du site, ces aspects ne sont pas respectés, toute la stabilité et longévité du bâtiment sont mises en péril.



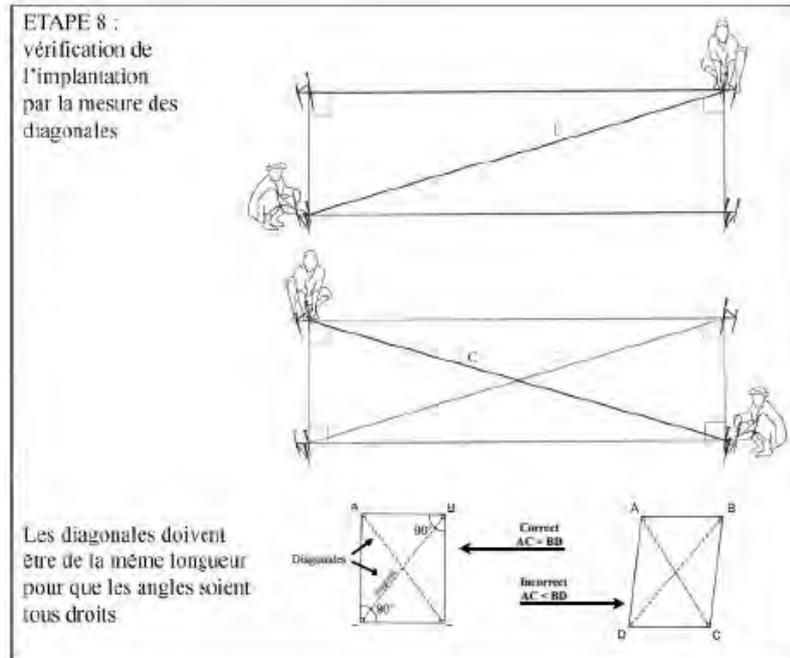
Définition :

Le tracé au sol d'une construction est le marquage (repérage) de sa position (fondations, largeurs des murs, poteaux, etc.) sur le terrain.

Fonction :

Cette étape est très importante et exige beaucoup de précision.

Elle permet d'éviter les problèmes de liaison entre les murs du bâtiment, entre ses mêmes murs et la toiture. Elle permet aussi de garantir une esthétique correcte du bâtiment.



Outre les problèmes liés à la préparation, des problèmes ont été constatés au niveau de l'implantation des maisons. Il faut absolument vérifier que des constructions soient possibles sur les terrains attribués aux bénéficiaires.

Vérifier la zone de construction et au besoin changer de terrain, avant l'attribution du terrain au bénéficiaire. Un terrain idéal possède une faible pente pour assurer l'écoulement des eaux de ruissellements. Pas de remblais. De plus, il faut respecter les distances minimum (10 mètres par rapport aux pentes et aux rivières). Absolument à proscrire sont toutes les zones inondables, les pentes pour éviter les glissements de terrain et porter une attention particulière aux zones sismiques.

En ce qui concerne les pentes, on peut dire que

- Pente de moins de 10% : ok
- Entre 10% et 35% : une étude par un ingénieur géotechnique est *nécessaire*
- Plus de 35% : ne pas construire

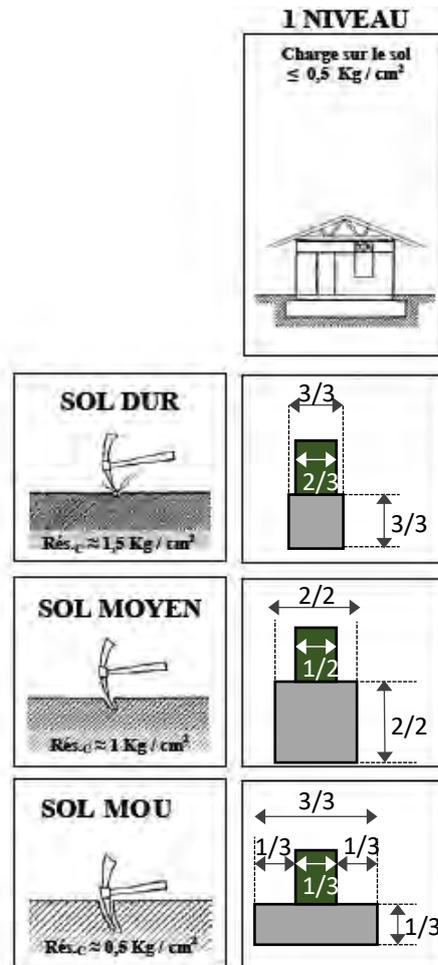
Au niveau de l'orientation il faut anticiper les effets du climat sur la construction. Il faut éviter d'exposer la façade qui a le plus d'ouvertures face aux pluies. Pour éviter les fortes chaleurs, il faut éviter d'exposer la façade qui a le plus d'ouvertures face au soleil. On peut aussi diminuer les effets du vent en implantant la maison à l'abris de fortes végétations pour les protéger des vents violents. Ou bien y remédier avec des plantations, s'il n'y a pas de végétation présente.

En ce qui concerne les ouvertures il est primordial de privilégier une ventilation transversale, qui garantit le taux de renouvellement d'air, ainsi qu'une luminosité dans toute la maison. Pour des raisons de santé il faut

impérativement sensibiliser les bénéficiaires afin de ne pas obstruer ou fermer les trous de ventilation.

D.2.3. Fondation

Huit améliorations possibles ont été identifiées et validées au niveau de la fondation dont a été retenu la plus importante, de respecter les proportions des fondations.

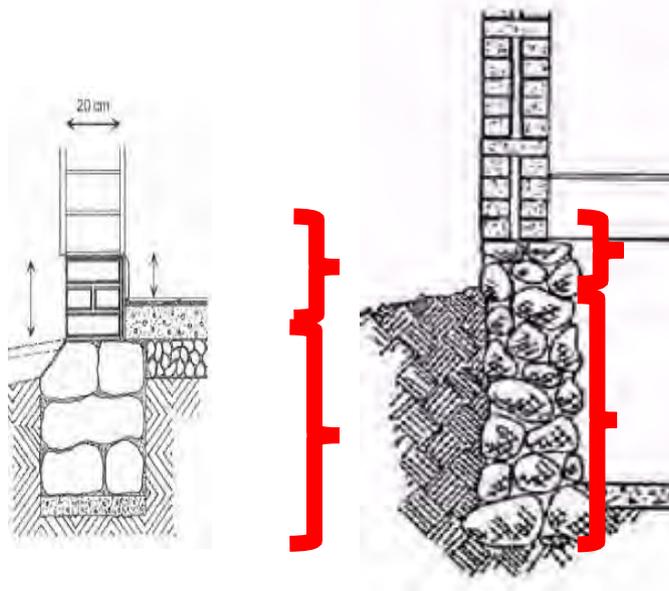


Les fondations doivent être dimensionnées en fonction:

- De la taille de la maison (nombre d'étages, surface)
- De la qualité (capacité porteur) du sol
- Du type de construction (structure en bois, structure en brique ou bloc ciment, structure en béton, etc.)

En règle générale on peut postuler que la fondation doit être au minimum 2 fois plus large que l'épaisseur du mur. Ceci dépend naturellement de la qualité du sol. Il faut aussi uniformiser les contraintes au sol afin d'éviter les poinçonnements.

La descente des charges doit bien être comprise. Le strict respect de la verticalité et de l'horizontalité est primordial afin d'assurer que la fondation puisse avoir ses effets. Les alignements verticaux et horizontaux doivent déjà se faire lors de l'implantation sur le site, avec les méthodes vues plus haut.



- Le soubassement est la partie au-dessus du sol.
- La fondation est la partie qui reste enterrée.

Importance des soubassements : Afin de mieux protéger la construction contre les pluies il est important de surélever le niveau final du mur de fondation. Ainsi on peut protéger le pied du mur. Si néanmoins il reste un débordement il faut éviter les eaux stagnantes :

- Gérer l'évacuation d'eau autour de la maison à l'aide de pentes et caniveaux pour diriger l'eau loin de la construction
- Entretien des abords directs du bâtiment (dégager la végétation)
- Respecter une pente de min 2% du soubassement
- Protéger les fondations et le soubassement contre l'humidité avec des finitions en ciment

Pour éviter les remontées capillaires, trois différentes variantes ont été proposées afin d'introduire une barrière d'étanchéité : le cimentage, le plastic roofing (plastic sheeting) et/ou une couche bitumeuse. Il faut être très attentif à respecter la relation entre niveau extérieur et intérieur.

Afin de prévenir les eaux de ruissèlement on peut :

- Réaliser des toitures débordantes pour que l'eau de pluie qui s'écoule du toit retombe plus loin et ne vienne pas rebondir sur la base du mur
- Monter le soubassement avec une petite pente pour évacuer les eaux de pluie et protéger les murs
- Installer des rigoles périmétriques avec une pente minimum de 2% avec des caniveaux en matériaux étanches
- Intégrer un point d'enfouissement (puisart) pour ne pas créer des zones avec eaux stagnantes

Le problème du déchaussement du pied des murs peut être contourné avec les méthodes décrites ci-haut. Si néanmoins le pied du mur se déchausse, il faut être très attentifs, car ceci peut engendrer des problèmes de stabilité graves, voir irréversibles.

Un autre moyen pour remédier à ce problème consiste dans le remblayage interne et compactage. Pour le sol intérieur de la maison il faut remblayer et compacter ces sols en faisant attention de ne pas utiliser de la terre végétale.

Afin d'étanchéiser les structures le crépissage ou le recouvrement avec des pierres plates, peut garantir cet effet. Ce crépissage doit se faire sur une hauteur minimum de 1 mètre. Aussi faudra-t-il sensibiliser les bénéficiaires sur la bonne maintenance d'expliquer l'importance d'un bon suivi.

D.2.4. Structures

Au niveau des structures on peut retenir plusieurs améliorations proposées et retenues, dont entre autres la **composition de l'adobe** pour fabriquer les briques ainsi que la promotion d'une certaine taille de blocs afin de garantir une meilleure stabilité.

Il est important à indiquer ici qu'il n'existe pas une seule recette unique et appropriée pour le mélange de l'adobe. Le mélange dépendra toujours de la nature du sol utilisé, donc de la nature du sol sur lequel la construction à lieu. (Attention dans une même région, province, commune ou même colline, celle-ci peut changer de site en site) Il est donc primordial de former les maçons et les bénéficiaires à appliquer des tests simples de stabilité.

L'adobe est composé de différentes matières (ceci ne représente pas une recette type) :

- Argile (10% -18%)
- Limon (10% -28%)
- Sable (55% -75%)
- Paille (0% -3%)
- Eau

Les étapes à suivre :

- Arroser la terre
- Ajouter la paille progressivement.
- Malaxer en piétinant l'adobe afin de bien mélanger la paille (brins de 3 cm de long). Veiller à obtenir un mélange homogène
- Humidifier les bords du moule puis le poser sur un fond (plaque de bois...).
- Avec les deux mains, décoller en tirant et roulant vers soi une boule de boue
- La déposer dans le moule, égaliser.
- Démouler après quelques minutes
- Laisser sécher sans exposition à un soleil trop mordant.

Les briques seront assemblées avec un mortier de terre qui pourra être une préparation similaire à celle des briques.

Il existe différents tests de sols qu'on peut faire, ici on va utiliser le test des cigares :



- Avec la terre mouillée mais plastique, former un cigare d'une longueur de 20 à 25 cm



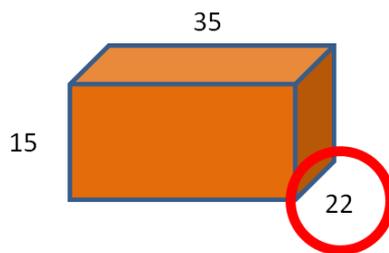
- En le soulevant dans la main sans pression et que le bout qui tombe a une longueur entre 5 et 15 cm la terre testée est de bon mélange. Pour assurer plus de stabilité on peut néanmoins rajouter de la paille.



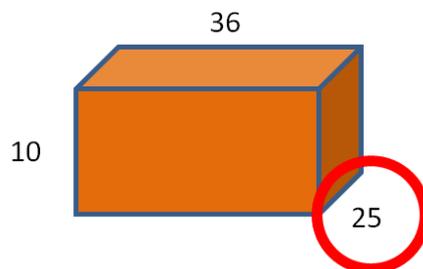
- Si le bout qui tombe a une longueur de moins de 5 cm, la terre contient trop de sable et devient donc inutilisable. Il faut y rajouter de l'argile et du limon.

- Si le bout qui tombe à plus de 15 cm, la terre contient trop d'argile, il faut y rajouter du sable et du limon.

La forme des blocs joue un rôle important en ce qui concerne la stabilité du bloc.



- Taille de bloc standard utilisée au Burundi



- Proportion présentant le meilleur produit fini garantissant la meilleure qualité
 - meilleur stabilité (plus de largeur +/- 10%)
 - nombre de brique total plus grand
 - ht = 1/3 en moins

On a pu retenir aussi d'autres améliorations possibles, dont l'utilisation d'un tamis avant la fabrication des briques, ainsi on peut extraire tous les morceaux trop gros comme des cailloux et autres qui enfin peuvent affaiblir la construction. Passer la terre à travers d'un tamis avant utilisation pour fabrication de briques garantit une meilleure qualité de terre en fin de compte.

Pour le séchage et le stockage des blocs ainsi que pour la cure il faut prévoir un endroit propre et pas trop exposé au soleil. Afin d'assurer une meilleure qualité et longévité des blocs et du bâtiment.

Si les moyens financiers le permettent dans le cadre d'un projet on peut stabiliser les blocs d'adobe en y rajoutant du ciment. Le rajout de ciment se fait selon proportion, on peut indiquer environ 10% comme proportion moyenne. Il est important de prendre en compte la cure du ciment dans ce cas.

Pour le montage du mur il est important de respecter le maximum de routes. Comme exemple on peut dire qu'il ne faut pas faire plus de 4 courses par jour et prévoir un à deux jours de repos entre chaque route.

L'épaisseur des joints ne doit pas dépasser la hauteur de 1/3 de la hauteur de la brique. Dans le cas de la nouvelle brique proposée, les joints ne doivent pas être plus hauts que 3,33 cm.

Les percements et linteaux au niveau des ouvertures sont primordiaux pour garantir la stabilité de la construction.

Il faut observer des dimensions proportionnelles à l'ouverture.

- Encastrement latéral
- Épaisseur propre
- Triangle de décharge

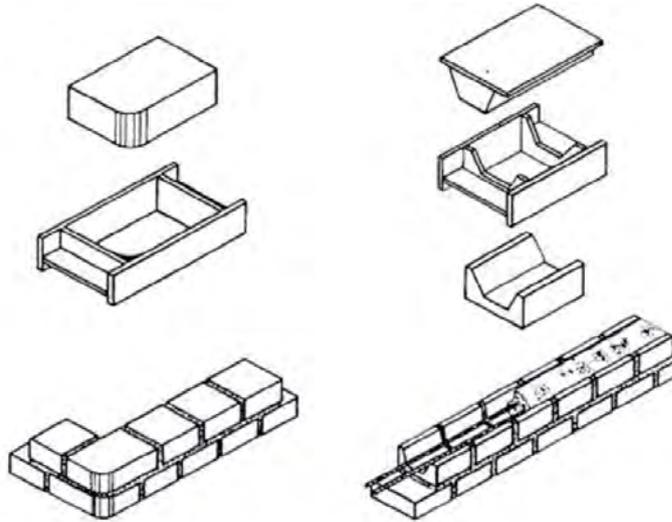
Il ne faut pas faire des percements d'ouvertures sous les points de pincements de la ferme de la charpente.

Il faut faire attention et insister au séchage du bois car si le bois est utilisé encore humide, il travaille plus, ce qui mène à des déformations et donc une déstabilisation du bâtiment.

Le crépissage protège le bâtiment de l'extérieur ainsi que de l'intérieur. Il est très important d'utiliser du bon matériel lorsqu'on fait le crépi. Les matériels adoptés sont la taloche et le lissoir. Il faut appliquer le crépi avec beaucoup de force pour une bonne cohésion. Il faut impérativement sensibiliser les bénéficiaires à l'entretien régulier du crépissage afin d'assurer une longévité du bâtiment.

Pour les hauts des murs il est proposé d'utiliser un modèle de bloc adobe spécifique en forme de canal qu'on puisse remplir de béton avec des armatures de liaisonnement, afin d'assurer une meilleure assise des fermes et d'éviter les poinçonnements des efforts.

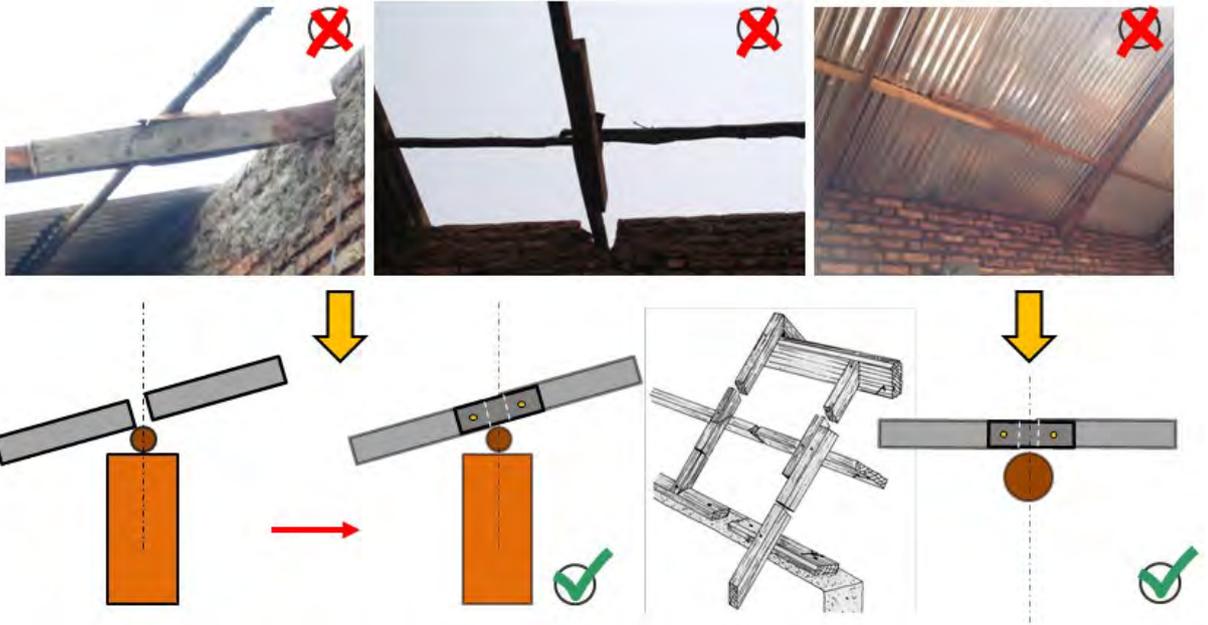
Il est aussi proposé d'utiliser un moule spécial pour fabriquer des blocs d'angles afin d'éviter les arêtes vives et les points de tension du crépissage.



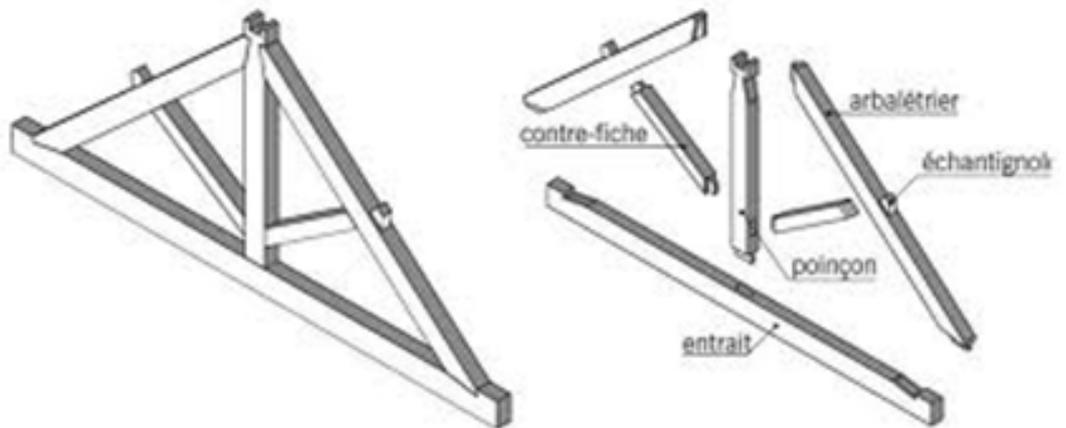
D.2.5. Toitures

Au niveau de la toiture, les jonctions et connexions et le mauvais assemblage des différents éléments pose de grands problèmes car après des observations sur le terrain il est devenu clair que ces principes semblent mal compris.

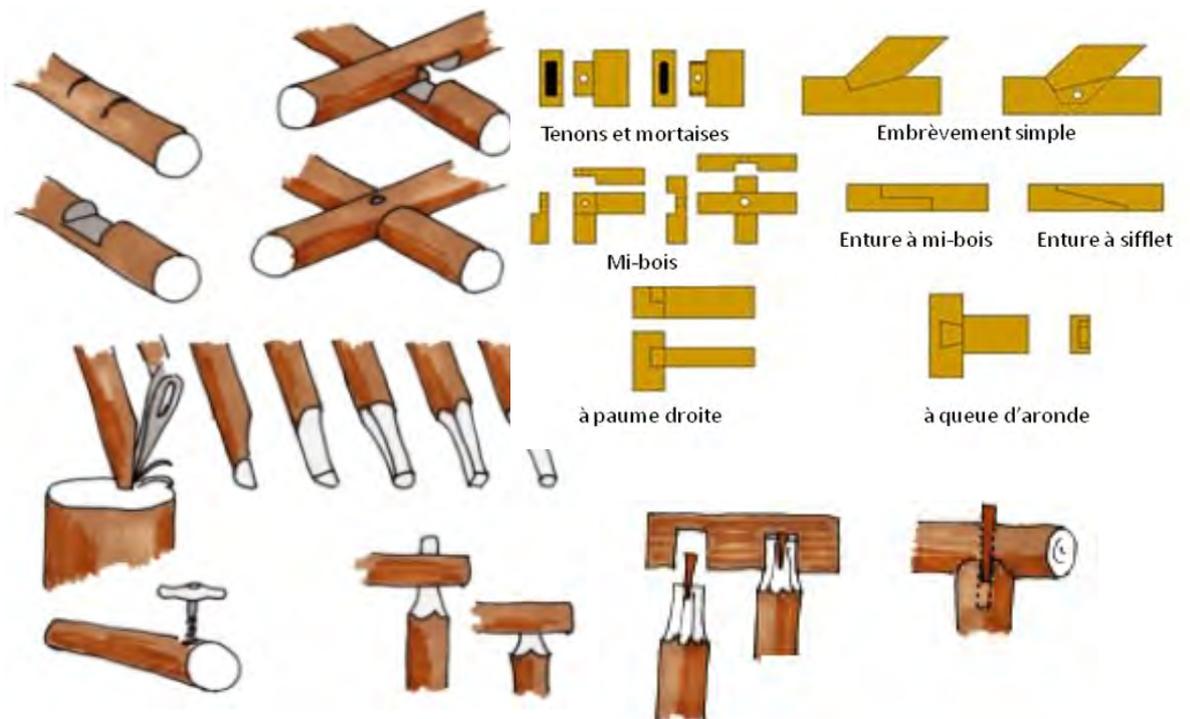
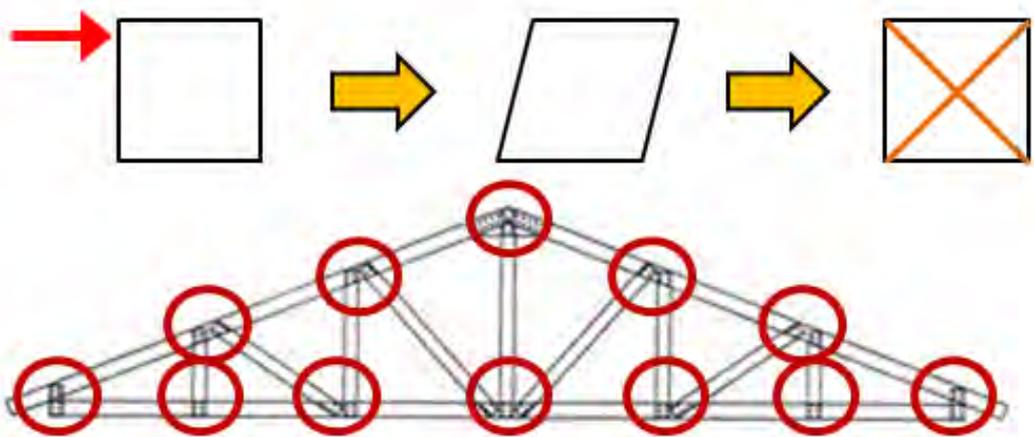
Les jonctions : exemples et bonnes pratiques



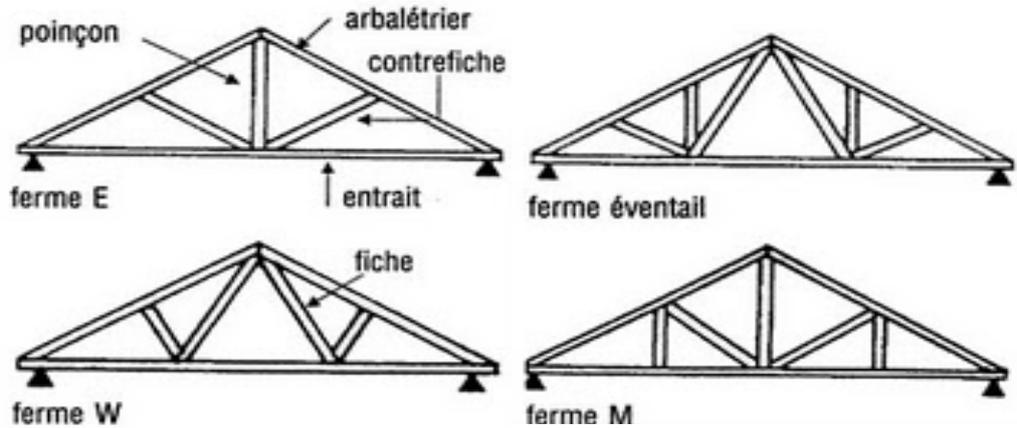
La ferme de la charpente : exemple



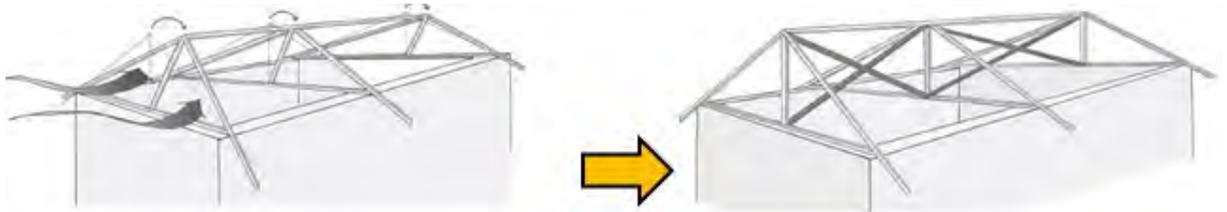
Assemblage et nœuds



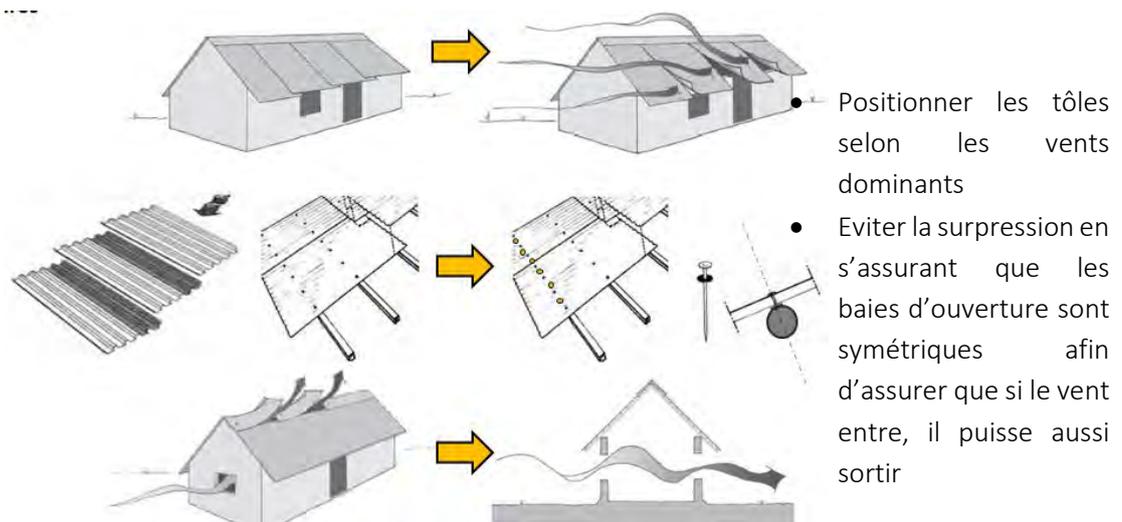
Exemples de fermes



Les contreventements, mise en œuvre de la croix de Saint-André



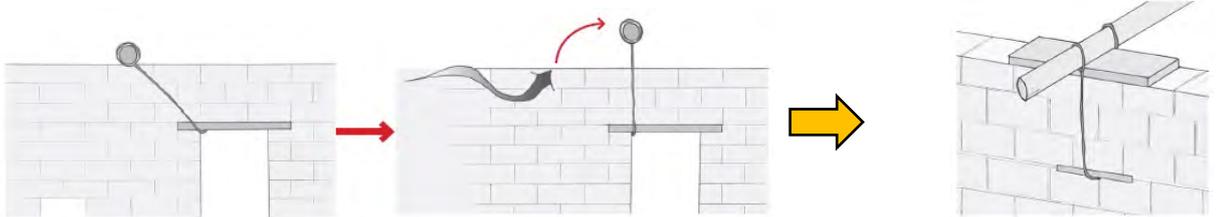
Lors de l'implantation il est important de savoir d'où viennent les vents dominants afin de pouvoir assembler le toit d'une manière cohérente. Ceci est surtout important à savoir pour bien superposer les différentes tôles.



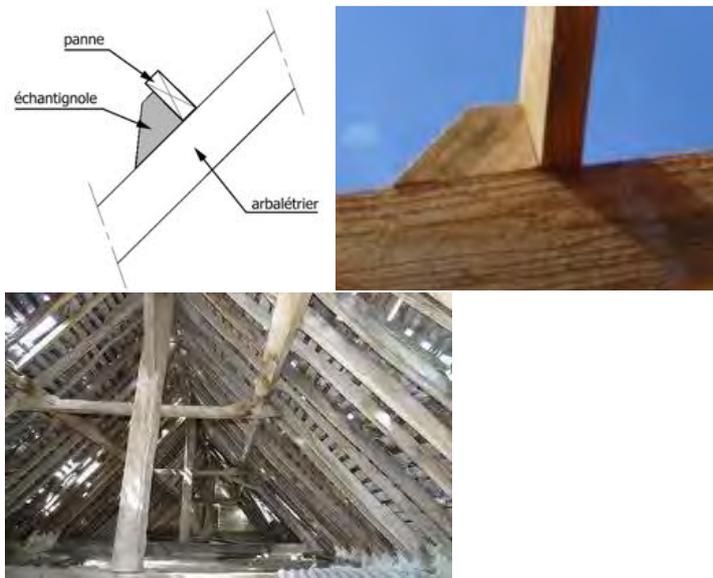
Afin de pouvoir protéger les structures et les murs ainsi que le crépissage de ces derniers, une possibilité proposée sera d'installer un toit avec débordement. En plus de protection ce débordement pourra offrir de l'ombre. Mais afin d'éviter

des arrachements de ce toit débordant, il faut impérativement installer des bracons.

Au niveau de la fixation, l'ancrage de la toiture doit être fait avec des asselets de répartition afin d'éviter les risques d'arrachement et de cisaillement.



Afin de maintenir les pannes il faut créer une assise à travers une échantignole.



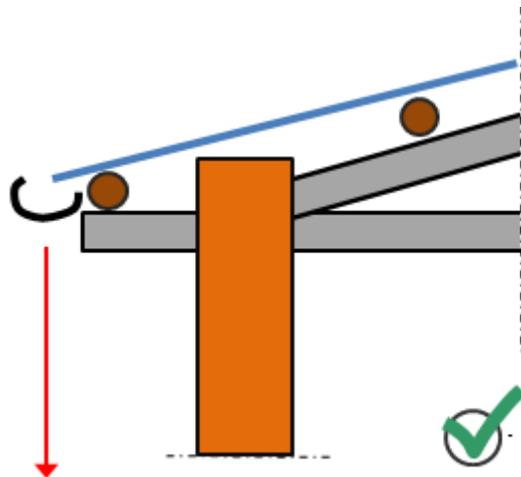
Pour éviter les risques d'infiltration d'eau, surtout en tête du mur, il faut s'assurer de la bonne mise en place du recouvrement et surtout d'un double clou afin d'éviter un arrachement. Une toiture non étanche équivaut à une durée de vie très réduite du bâtiment.

La pente ainsi que le poids propre de chaque matériel de toiture dépendent fortement du matériel utiliser. Chaque matériau à une pente propre afin d'éliminer l'eau. Le poids des différents matériaux doit être calculé et pris en compte lors du choix de la charpente, car le poids impacte directement le dimensionnement des éléments. Une charpente calculée pour un recouvrement en tôle ne peut être recouvert avec des tuiles ou de la paille.

	Poids	Structure Dimension et portée	Pente
Paille	20 - 25 kg/m ²	Bois équarri Chevron diam: 8cm Perches diam: 6cm	40° à 50°
Tuiles	50 - 90 kg/m ²	Bois équarri Pannes diam: 15cm Chevron diam: 8cm	30°
Tôles	8 - 10 kg/m ²	Bois équarri Fermes diam: 10cm Pannes diam: 8cm	15°

Le faîtage, la protection du point de jonction des 2 pans de la couverture de la toiture, doit respecter l'orientation par rapport aux pluies et au vent dominant.

Les gouttières doivent respecter une pente unique de 1,5% à 2% et doivent être en débordement du toit.



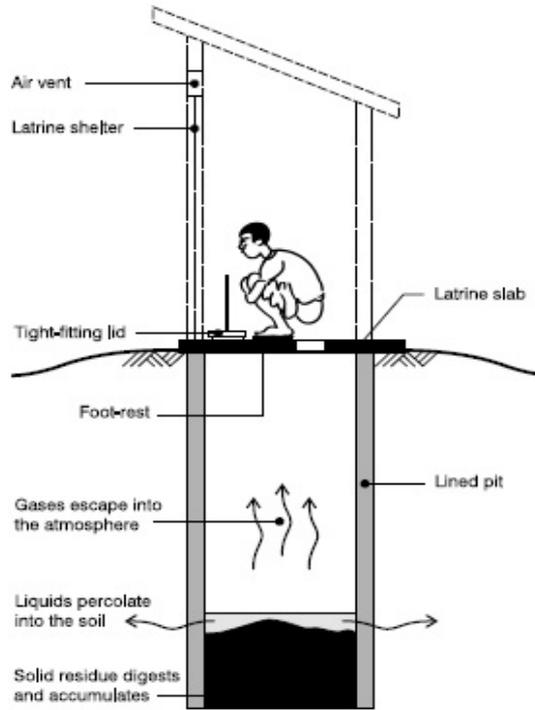
D.2.6. Services

La dalle de latrine fournie, soit 60x60 cm n'est pas assez généreuse, il faut impérativement augmenter la taille de la dalle, une proposition serait de fournir des prédalles armées plus légères et plus grandes et de faire sur place un béton structural de 80x80 cm.

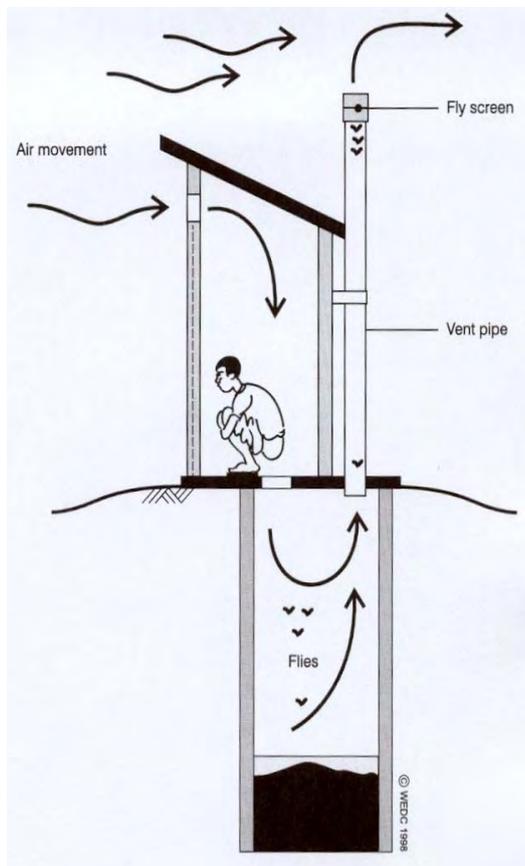
Il faut orienter la latrine avec la longueur dans le sens de l'écoulement des eaux de ruissellements.

Au niveau du terrassement de la latrine, il faut impérativement prévoir un blindage de fouille, mais attention on risque l'enfouissement du travailleur lors de l'ouvrage.

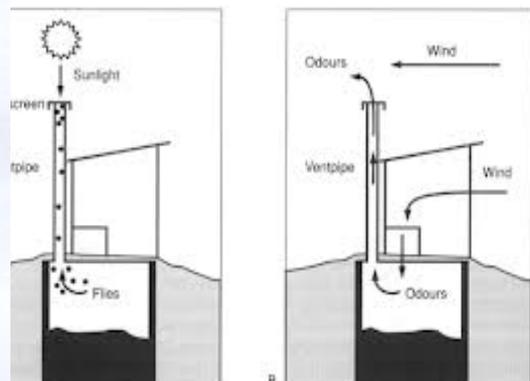
Ci-contre deux modèles de latrines : le modèle utilisé ainsi qu'un modèle amélioré.



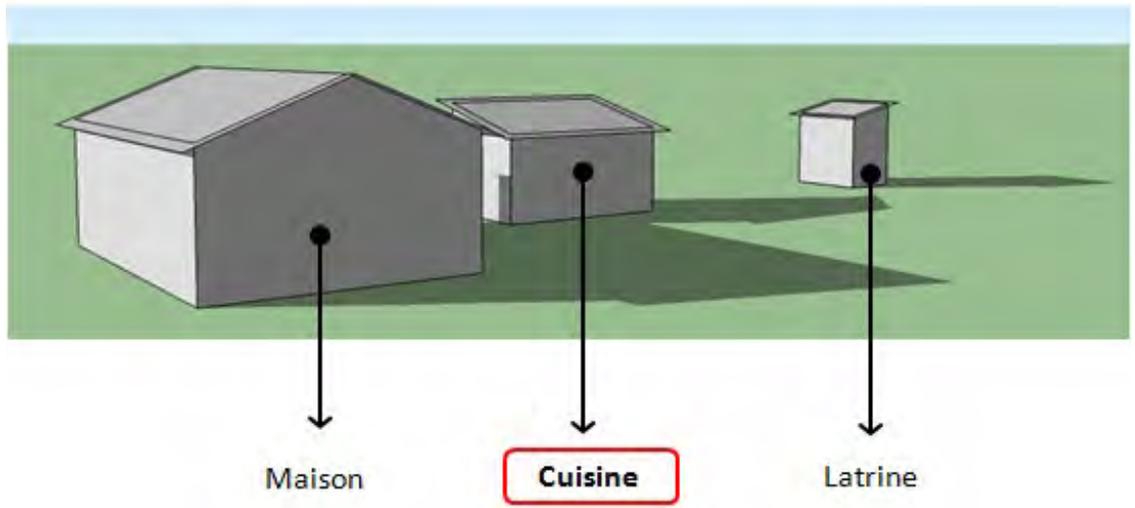
Dans le modèle simple utilisé, la propagation des moustiques ainsi que les odeurs posent un problème.



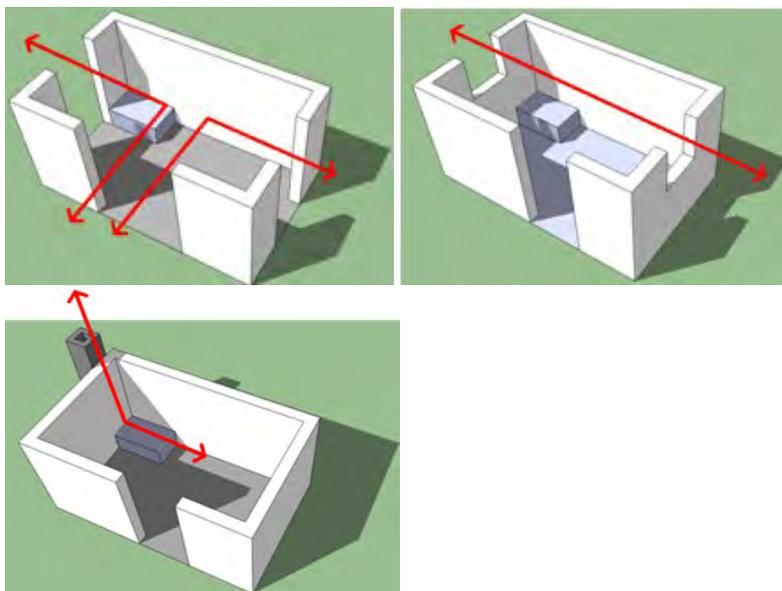
Dans le modèle amélioré, le problème des mouches et moustiques est contourné par l'installation d'un tuyau d'évacuation des odeurs, et les mouches y périssent grâce à l'installation d'une moustiquaire (voir ci-contre)



Au niveau de l'implantation des services il faut prévoir les distances requises entre les bâtiments et être attentifs à l'écoulement des eaux de toiture.



Un grand problème constaté au niveau des cuisines est l'aération souvent manquante ou inappropriée. L'ouverture de la cuisine ou bien la création d'une ventilation peuvent être des solutions à ce niveau. Si on construit des foyers améliorés il est nécessaire de construire des vraies conduites de cheminée afin d'assurer la longévité de ces derniers.

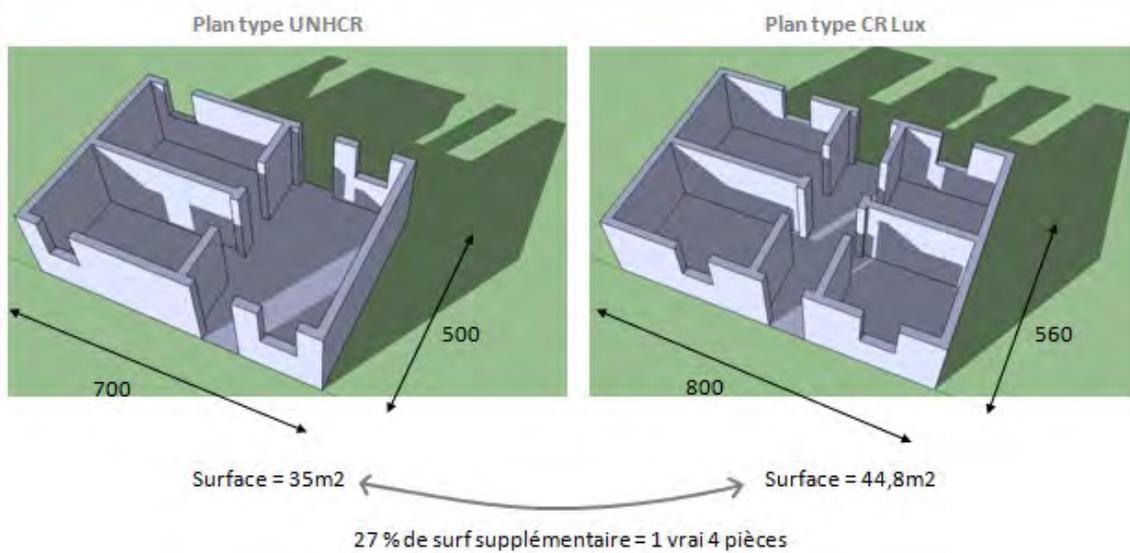


Une amélioration possible dans le cadre de l'approvisionnement en eau serait la récolte des eaux de toitures. A cette fin il faudra prévoir un réservoir et le relier avec les gouttières. Il faut cependant être très attentif au nettoyage de ces réservoirs et à la poussière.

D.2.7. Dimensions et nombre de chambres

En prenant en compte l'aspect sociologique de l'habitat, il s'est rendu évident lors de la conférence que l'on doit impérativement agrandir les maisons afin de pouvoir prévoir pour chaque famille une chambre pour les parents, une chambre pour les enfants masculins et une chambre pour les enfants féminins afin que les enfants, surtout adolescents du même sexe ne dorment pas dans la même chambre. Afin de pouvoir offrir un nombre plus élevé de chambres il est impératif d'aussi augmenter les dimensions des maisons.

Ci-contre une proposition pour l'augmentation de dimensions.



D.2.8. Tableau récapitulatif de toutes les améliorations proposées

Site		
Problèmes constatés	Solutions techniques	Remarques / Commentaires
Implantation	Vérifier la zone de construction et au besoin changer de terrain, avant l'attribution du terrain au bénéficiaire Terrain idéale = faible pente pour écoulement des eaux de ruissellements Pas de remblais Respect distance minimum	Zones à proscrire = Inondables Pentes (glissements de terrain) Attention particulière en zones sismiques
Orientation	Éviter pluies battantes et vents dominants Éviter l'ensoleillement majeur	Diminution effets du vent avec plantations
Ouvertures	Privilégier la ventilation transversale	Garanti le taux de renouvellement d'air Ouvertures pour apport lumineux Rem : attention à ne pas les obstruer ou fermer
Préparation	Utiliser le bon matériel	Niveau à eau
Établissement du bon sol	Mise à niveau pour départ mur de fondation = arasement	Préparation du site et enlèvements des terres arables ou végétales
Traçage des ouvrages	Repérage et implantation	Triangle 3 4 5 pour angle 90°

Fondations		
Problèmes constatés	Solutions techniques	Remarques / Commentaires
Compréhension d'une descente des charges	Stricte respect de la verticalité	Problèmes d'alignements tant verticaux qu'horizontaux
Proportions des fondations	Dépend des matériaux mis en œuvre et de la nature du sol	Au min 2x plus large que l'épaisseur du mur semble un

		min. acceptable mais dépend de la nature du sol + nécessité d'uniformiser les contraintes au sol = pas de poinçonnement
Importance du sous-bassement	Surélever le niv. final du mur de fondation = plus de protection par rapport aux pluies	Protection pied de mur Si débordement besoin de créer une pente pour éviter les eaux stagnantes
Barrière d'étanchéité	Insertion d'une membrane plastique 3 manières simples : cimentage, plastic roofing, couche bitumineuse (comparer prix/efficacité)	Positionnement d'une barrière anticapillaire Attention relation avec niveaux extérieur et intérieur
Créer une récolte des eaux de ruissellement	Rigoles périmétriques avec pentes min 2% Caniveaux = matériaux étanches	Intégrer un point d'enfouissement (puisart) pour ne pas créer de zones avec eaux stagnantes
Déchaussement du pied des murs	Récolte par caniveaux	Peu engendrer des problèmes de stabilité graves voir irréversibles
Remblayage interne + compactage	Compactage des terres rapportées non végétales	N'est pas appliqué et participe au déchaussement des pieds de murs
Etanchéisation des murs	Crépissage ou recouvrement par pierres plates	Action à prévoir sur une hauteur min. de 1m Doit faire partie d'un manuel de maintenance afin d'expliquer le besoin d'un suivi

Structure

Problèmes constatés	Solutions techniques	Remarques / Commentaires
Composition d'un adobe + temps de séchage	Compréhension requise ! voir présentation car dépend de plusieurs facteurs	Une recette unique n'existe pas car elle dépend de la nature du sol donc besoin d'expérimenter pour chaque implantation (voir tests) Possibilité d'ajouter des végétaux et sable

		Interaction avec les saisons car nécessité un séchage avant mise en œuvre Pas de terres végétales
Si recours ADOBE	Besoin outillage spécifique	Le tamis !!!
Forme des blocs	Dimensionnement 36x10x25 pour meilleure stabilité	Voir présentation
Séchage et cure	Dédier une zone de séchage propre	= qualité des blocs = longévité du bâtiment
Adjuvant possible	Ciment	Selon proportion soit environ 10%
Montage d'un mur	Respect d'un maximum de route	Max. 4 courses
Percements et linteaux	Ancrages des linteaux Mise en place d'un linteau	Dimensionnement proportionnel à l'ouverture Encastrement latéral Épaisseur propre Triangle de décharge Pas de percements sous poinçonnement ferme de charpente Attention séchage du bois car bois humide travail beaucoup plus donc déformations
Crépissage	Très important Utiliser les outils adaptés = Taloches et lisseur Besoin d'appliquer le crépi avec force pour bonne cohésion Si le mortier est en ciment, ajouter des morceaux de briques cuites pour une meilleure adhésion au mur en adobe	Entretien annuel systématique Notion de couleur avec pigmentation
Crépissage	Il serait possible de donner plus de luminosité en pigmentant le mélan de couleur plus clair ou de chaux	Valable tant à l'extérieur qu'à l'intérieure Serait un réel plus à l'intérieur

	afin de réfléchir plus de lumière	
Traitement du haut des murs	Amélioration par chaînage Proposition d'utilisation d'un bloc adobe spécifique de forme canal pour remplissage de béton avec armatures de liaisons	Objectifs : = liaisonnement haut = Meilleure assise des fermes, éviter poinçonnement des efforts
Angles	Proposition d'utilisation d'un moule spécial pour bloc d'angle	Éviter les arêtes vives et les points de tensions du crépissage
Ventilation	Création de ventilation Idem percements avec claustras	Peut être intéressant d'en contrôler l'ouverture avec un système de volet interne

Toiture		
Problèmes constatés	Solutions techniques	Remarques / Commentaires
Orientation	Lors de l'implantation être vigilant aux vents dominants Superposition suivante les vents et pluies dominantes	Ne pas inviter l'eau à entrer
Ouvertures	Symétrie des baies pour éviter mise en pression du bâtiment	Si le vent entre il faut assurer une sortie
Jonctions et connexions Mauvais assemblages	Revoir les règles de l'art et les principes élémentaires d'assemblages Points d'appuis Connexions entre éléments Assemblages	Est primordial car semble très peu compris
Triangulations des fermes	Règles de contreventements Cfr assemblages correctes	Nécessité de croix de Saint André
Débordements	Créer un débordement pour protéger les maçonneries d'élévation	Offrira également de l'ombrage et protégera les crépis Attention aux risques d'arrachement besoin de bracons

Fixation toiture	Ancrage de toiture avec Asselet de répartition Feuillards et positionnement	Attention aux risques d'arrachements et de cisaillements
Nécessité de créer une assise pour maintenir les pannes	Recours à une échantignole	
Risques d'infiltrations Note : surtout en tête de mur	S'assurer de la bonne mise en place du recouvrement et surtout d'un double clou pour éviter arrachement	Une toiture non étanche équivalut à une durée de vie très réduite du bâtiment
Matériaux et pente	Chaque matériau à une pente propre afin d'éliminer l'eau	Respect strict de cette règle Voir présentation
Matériaux poids propre	Attention car une charpente destinée à une couverture en tôle ne sera pas la même que celle pour des tuiles	Impact le dimensionnement des éléments Nombreux constats de flèches
Faîtage	Protection du point de jonction des 2 pans de la couverture	Respect de l'orientation par rapport aux pluies et vents dominants
Gouttières	Pente unique de 1,5 à 2 %	Dessin technique d'accrochage de la gouttière Positionnement de la panne
Fermes Réduction des volumes de bois	Proposition de recours à de la maçonnerie interne et création de pignons allant jusqu'à la toiture	Objectif = réduire les quantités de bois

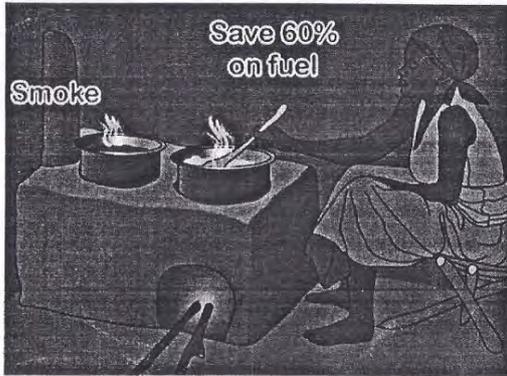
Services

Problèmes constatés	Solutions techniques	Remarques / Commentaires
Implantation Corps de logis + Cuisine + latrine	Prévoir les distances requises entre bâtiment et être attentif à l'écoulement des eaux de toiture	
Latrine	Toujours orienter la latrine avec la longueur dans le sens de la pente pour éviter au max les ruissellements	
Terrassement latrine	Prévoir impérativement un blindage de fouille	*** Risque d'enfouissement majeur du travailleur

Dalle latrine	Une dalle de 60x60 n'est pas acceptable en projet de développement, il faut être vraiment plus généreux	*** stabilité de la construction Éventuellement sur base de l'idée du UNHCR pourquoi par exemple ne pas fournir des prédalles armées plus légères et plus grande et faire sur place un béton structurel ? (80x80)
Cuisine ventilation	Créer des ouvertures en fonction des vents dominants	
Cuisine cheminée	Nécessité d'un vrai conduit de cheminée pour les foyers améliorés	
Récolte eaux de toiture	Prévoir un réservoir et relier avec gouttière (faire une comparaison des coûts)	Attention à la poussière Voir présentation système nettoyage Attention différents matériaux du réservoir peuvent changer le goût de l'eau
Latrine ventilation	Transformer les latrines en latrines VIP avec tuyau et principe de ventilation	Attention il ne suffit pas d'ajouter un tuyau de ventilation ... Cfr présentation + détails

D.3. Annexe 3 : Comment construire un foyer amélioré

Foyer amélioré: comment faire: Ingene ikorwa



« J'économise en bois plus que 6000 BIF par mois en utilisant le foyer amélioré. » : « Mbika ibice 60% v'inkwi nokoresheje »

Inyungu:

- Gukoresha inkwi nkeyi gushika ku bice 60%
 - o Inyungu y'amafaranga woguze izo nkwi
 - o Inyungu y'umwanya umuntu akoresha
 - o Nta myotsi bigra
 - o Kubaho neza
- Nta mpanuka zibaho ku bana

Kwubaka ifuru itwara umwotsi.

1. Kugira akanogo mu ruhome hejuru y'ifuru
2. Gukora iforoma ukoresheje imbaho
3. Gufuka iforoma ukoresheje ivyo wavanze hanyuma ukareka bikuma
4. Tobora kugira ufataneye izo ntoboro n'ifuru.

Ibikoresho bikenewe

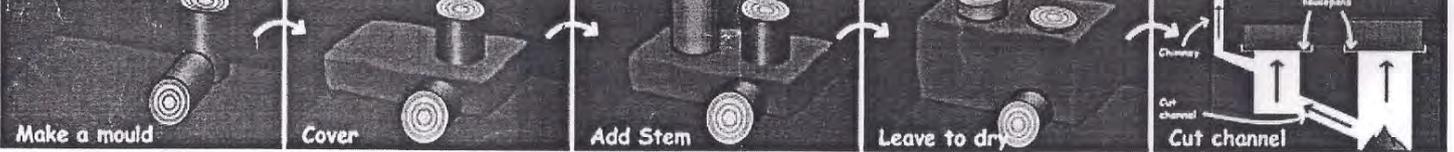
- Igitumbutumbu c'igitoke/ikigegene c'igiti
- Umusenyi
- Ivu ry'umugina
- Amase y'inka

- Amazi

- U.B.W.I.T.S. IZAMBAVE DUTSUTU

-

-

Step by StepGukora iforoma

1. Himbagura ca giti mwo gutatu/ igitumbutumbu, ku cm 30 cm z'uburebure
2. Koresha ibigegene 2 mu gukora iforoma

Rumya

3. Vanga rya vu ry'umugina, umusenyi be n'amase y'inka
4. Shira uwo muvango mw'iforoma gushika aho ufuka ca kigegene c'igiti/igitumbutumbu

Ongeramwo ikigegene

5. Ongeramwo ikigegene ca ga 3 nkuko biri kw'ishusho. Ico kizoba ari iforoma y'inkono igira 2

Reka vyume

6. Ongeramwo wa muvango gushika hejuru kw'ifuru
7. Reka vyume
8. Sokora vya bigegene

Kuringaniza ya furu itwara umwotsi

9. Kata ku mbiga kugira inkono ishobore kujamwo
10. Kata kugira ufataneye izo ntoboro 2

Materials needed / Matériaux nécessaires :

- Banana stems or wood / tige de banane ou bois
- 3 basins of sand / 3 volumes de sable
- 2 basins of anthill soil / 2 volumes de fourmilière
- 1 basin of top soil / 1 volume de terre végétale
- Water / eau

D.4. Annexe 4 : Vue générale sur les normes et recommandations des abris d'urgence

		Normes – Abris d'urgence	Recommandations
1.	Architecture	Les dimensions standard sur les collines sont d'une longueur de 5.25 m et d'une largeur de 4 m. L'aménagement interne est de 2 chambres et un salon	Inclure les bénéficiaires dans la construction des abris (formations <-> genre et inclusion)
2.	Préparation du terrain	Le terrain à bâtir doit être terrassé pour avoir une surface plane et ainsi faciliter la tâche du constructeur	Si possible, le bénéficiaire de l'abri peut s'en charger
2	Enfoncement des perches dans le sol	Les perches en bois d'eucalyptus qui supporteront la charpente sont enfoncées dans la terre à une profondeur d'au moins 50 cm. Cependant cette profondeur pourra varier suivant la nature du sol. Elles seront protégées contre les insectes rongeurs d'un film polyane sur la partie qui sera en contact avec la terre. Elles seront également d'une épaisseur d'au plus 10 cm et d'au moins 6 m de longueur.	Il est recommandé d'employer du bois mûr
3.	Elévation des murs	Les perches seront placées au niveau des angles (intérieur et extérieur), au niveau des ouvertures ainsi qu'à tout autre endroit pouvant favoriser la solidité de l'ouvrage. La distance entre deux perches varie entre 1.5 et 2m. La position des perches verticales tiendra compte aussi de la taille standard de la bâche. Il faudra aussi renforcer l'ouvrage par au moins 3 cadres latéraux avec des perches d'une épaisseur d'au moins 8cm. Un au niveau du terrain naturel, le 2ème au niveau du début de la fenêtre (1.20m) et un 3ème au niveau de 2.00m. Cela se fera sur le contour extérieur aussi bien qu'à l'intérieur.	<ul style="list-style-type: none"> - Il est recommandé d'employer les éléments en caoutchouc pour assurer le contact entre les clous et la bâche sans la déchirer et ainsi empêcher au vent de l'emporter facilement. - Il est aussi recommandé d'employer des fils à ligaturer entre deux éléments en bois comme des contreventements et permettront une utilisation rationnelle du bois. - Prévoir un morceau de bâche plastique d'une largeur de 50 cm au niveau du terrain naturel sur lequel sera remué la terre pour éviter des infiltrations d'eau pendant les précipitations.

		<p>Les bâches plastiques seront enroulées au niveau des faces latérales ainsi qu'à l'intérieur pour la séparation des différentes pièces de la maison.</p> <p>Les lattes en bois d'eucalyptus (long.4m, largeur 2.5 cm) seront employées pour bien fixer les bâches au bois.</p> <p>Les clous à employer sont de 8 et 10 cm pour l'assemblage de l'ossature et de 4 cm pour la fixation des bâches au bois par les lattes en bois.</p>	<p>- Prévoir un recouvrement de la bâche d'au moins 50 cm.</p> <p>- Employer des cordes partout où c'est nécessaire pour éviter toute entrée du vent ou de la pluie par la partie de recouvrement.</p>
4.	Charpente et toiture	<p>L'abri n'aura pas de fermes mais un arbalétrier et quelques autres perches sur lesquelles s'appuiera la bâche plastique qui servira de couverture. La bâche devra être bien tendue s'il le faut à l'aide des cordes pour ne pas permettre aux eaux de pluies d'y stagner.</p>	<p>Les fils à ligaturer seront employés pour renforcer la charpente.</p> <p>Il est recommandé de prévoir un recouvrement de la bâche d'environ 1m.</p>
5.	Menuiserie en bois (Portes et fenêtres)	<p>Chaque maison d'un ménage moyen de 6 personnes aura 1 fenêtre et 1 porte. Les pièces intérieures n'auront pas de porte mais un morceau de bâche au niveau des ouvertures. Porte et fenêtre en bois de Grevillea bien sec</p>	
6.	Protection	<p>L'intérieur de l'abri d'urgence sera divisé en trois pièces séparées par une bâche jusqu'à 2m de haut pour assurer la dignité humaine</p>	
7.	Réduction des risques de catastrophes	<p>- Protéger le site contre les risques d'inondations par l'aménagement du bassin versant du site et creusage de caniveaux au tour du site et des rigoles tout autour de chaque abri</p> <p>- Sensibiliser les bénéficiaires à l'entretien régulier des caniveaux et des rigoles</p>	<p>Impliquer les bénéficiaires</p>

D.5. Annexe 5 : Vue générale sur les normes et recommandations de l'abri transitoire

		Normes – Abri transitoire	Recommandations
1.	Architecture	Les dimensions standard sont sur les collines d'une longueur de 8 m et d'une largeur de 5.6 m. L'aménagement interne est de 3 chambres et un salon. Chaque maison aura une latrine.	Si possible ajouter une cuisine et une salle de douche. Inclure les bénéficiaires dans la construction ou réparation des abris (formations <-> genre et inclusion)
2a	Préparation du terrain	Le terrain à bâtir doit être terrassé pour avoir une surface plane et ainsi faciliter la tâche du constructeur	Si possible, le bénéficiaire de l'abri peut s'en charger
2b	Enfoncement des perches dans le sol	Les perches en bois d'eucalyptus qui supporteront la charpente sont enfoncées dans la terre à une profondeur d'au moins 50 cm. Cependant cette profondeur pourra varier suivant la nature du sol. Elles seront protégées contre les insectes rongeurs d'un film polyane sur la partie qui sera en contact avec la terre. Elles seront également d'une épaisseur variante entre 10 et 12 cm	Il est recommandé d'employer du bois mur
3.	Élévation des murs	Les perches seront placées au niveau des angles (intérieur et extérieur), au niveau des ouvertures ainsi qu'à tout autre endroit pouvant favoriser la solidité de l'ouvrage. La distance entre deux perches varie entre 1.5 et 2 m. Il faudra aussi renforcer l'ouvrage par au moins 3 cadres latéraux. L'un au niveau du terrain naturel, le deuxième au niveau du linteau (2.10m) et un troisième au niveau de 2.70m. cela se fera sur	Il est recommandé d'employer les éléments en caoutchouc pour empêcher au vent d'emporter la bâche.

		<p>le contour extérieur aussi bien qu'à l'intérieur.</p> <p>Les bâches plastiques seront enroulées au niveau des faces latérales ainsi qu'à l'intérieur pour la séparation des différentes pièces de la maison. Les lattes en bois d'eucalyptus (long.4m, largeur 2.5 cm) seront employées pour bien fixer les bâches au bois.</p> <p>Les clous à employer sont de 8 et 10cm pour l'assemblage de l'ossature et de 4 cm pour la fixation des bâches au bois par les lattes en bois.</p>	
4.	Charpente et toiture	<p>Perches en eucalyptus, min. 10cm de diamètre pour les fermes, min. 8 cm pour les pannes.</p> <p>La couverture est en tôles galvanisées BG 32 au minimum.</p>	
5.	Menuiserie en bois (Portes et fenêtres)	<p>Chaque maison d'un ménage moyen de 6 personnes aura 4 fenêtres et 5 portes, dont 2 portes extérieures et 3 à l'intérieur pour chaque chambre respectivement.</p>	<p>Il est fortement recommandé d'utiliser au moins pour les portes extérieures en bois en eucalyptus, les autres en planches de Grevillea bien sec avec peinture.</p>
6.	Protection	<p>Planter des arbres en tant que contrevent.</p> <p>Caniveau de drainage des eaux autour de la maison.</p>	<p>Il est fortement recommandé d'installer des gouttières et si possible un système de collecte des eaux pluviales.</p>

D.6. Annexe 6 : Vue générale sur les normes et recommandations de l'habitat durable

		Normes - Adobe	Normes - BTC	Recommandations
1.	Architecture	<p>Les dimensions standard sont sur les collines d'une longueur de 8 m et d'une largeur de 5.6 m.</p> <p>L'aménagement interne est de 3 chambres et un salon. Chaque maison aura une latrine.</p>	<p>Les dimensions standard sont dans les VRI d'une longueur de 8 m et d'une largeur de 5.6 m.</p> <p>L'aménagement interne est de 3 chambres et un salon. Chaque maison aura une latrine.</p>	<p>Si possible ajouter une cuisine et une salle de douche.</p> <p>Inclure les bénéficiaires dans la construction ou réparation des abris (formations <-> genre et inclusion)</p>
2.	Fondation	<p>La fondation sera à base de moellon avec mortier de terre mélangé avec du sable.</p>	<p>La fondation sera à base de moellon avec mortier de ciment.</p>	<p>Pour les constructions en collines, s'il n'y a pas de disponibilité de moellon, il est recommandé de faire la fondation en brique cuite.</p>
3.	Elévation des murs	<p>Sur les collines les briques adobes seront utilisés avec un crépissage des murs recommandé.</p> <p>Un chaînage haut en planches est indispensable (voir croquis) pour tous les murs.</p> <p>Chaque ferme doit reposer sur une plaque en madrier dépassant en longueur les jointes des briques en-dessous (entre 60 et 80 cm).</p>	<p>Les BTC seront utilisées dans les villages ruraux intégrés (VRI). Un chaînage haut en fer feuillards enrobé dans un mortier de ciment (150kg/m³) est indispensable.</p> <p>Chaque ferme doit reposer sur une plaque en madrier dépassant en longueur les jointes des briques en-dessous (entre 60 et 80 cm).</p>	<p>Il faudrait prévoir un film polyéthylène au-dessus de la chappe de fondation.</p>
4.	Charpente et toiture	<p>Perches en eucalyptus, min. 10cm de diamètre pour les fermes, min. 8 cm pour les pannes.</p> <p>La couverture est en tôles galvanisées BG 32 au minimum.</p>	<p>Perches en eucalyptus, min. 10cm de diamètre pour les fermes, min. 8 cm pour les pannes.</p> <p>La couverture est en tôles galvanisées BG 32 au minimum.</p>	<p>Si possible pour les VRIs il faudrait avoir une charpente en madriers en eucalyptus.</p>

5.	Menuiserie en bois (Portes et fenêtres)	Chaque maison d'un ménage moyen de 6 personnes aura 4 fenêtres et 5 portes, dont 2 portes extérieures et 3 à l'intérieur pour chaque chambre respectivement.	Chaque maison d'un ménage moyen de 6 personnes aura 4 fenêtres et 5 portes, dont 2 portes extérieures et 3 à l'intérieur pour chaque chambre respectivement.	Il est fortement recommandé d'utiliser au moins pour les portes extérieures en bois en eucalyptus, les autres en planches de Grevillea bien sec avec peinture.
6.	Protection	Planter des arbres en tant que contrevent. Caniveau de drainage des eaux autour de la maison.	Planter des arbres en tant que contrevent. Caniveau de drainage des eaux autour de la maison.	Il est fortement recommandé d'installer des gouttières et si possible un système de collecte des eaux pluviales.

D.7. Annexe 7 : Vue générale sur les ANA

	Type de kit	Normes – ANA	Recommandations
1.	Kit de cuisine	<ul style="list-style-type: none"> • 2 casseroles avec couvercles (1 de 7 L et un autre de 5 L) • 1 panneau (poêle) de 2.5 L avec manche • 6 Gobelets de 0.3 L chacun • 6 cuillères de table de 10 ml chacune • 6 fourchettes de 17 cm • 6 assiettes de 0.75 L • 1 couteau de cuisine de 15 cm de lame • Louche/Cuillère à servir de 35 ml • Louche/Cuillère en bois (pour mixage) 	Tous ces éléments sauf la louche (en bois si besoin) doivent être en acier inoxydable
2.	Kit de couchage	<ul style="list-style-type: none"> • 3 couvertures 2*1.5m avec un poids variant entre 1.5-2.4 kg • 3 moustiquaires (1.9*1.8*1.5m) • 6 nattes (1.8*0.9m) 	<p>Les couvertures doivent être synthétiques et non de laine et de type thermique moyen.</p> <p>Les nattes sont en polypropylène</p>
3.	Kit de puisage et de conservation d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • 2 seaux de 14 L munis de couvercles avec bouchon à clipser • 1 bassin de 10 L • 1 bidon de 10 L • 1 bidon de 20 L 	Les bidons de 10 L en plastique pliable et ceux de 20 L en plastique dur
4.	Savon hygiénique (lessive et corporelle)	<ul style="list-style-type: none"> • 1.5 kg de savon de lessive • 2 kg de savon de toilette 	
	Sac de transport	<ul style="list-style-type: none"> • Sac robuste de 1m*1m pouvant contenir 50 kg 	
	Kit de dignité	Distribué en fonction de la composition du ménage, calculé en moyenne de 2.5 kg/ménage	

Tous les kits, ou combinaisons de kits mentionnés nécessiteraient dans l'idéal d'être complétés de 6 pochettes plastiques hermétiques avec fermeture afin de conserver les papiers administratifs en cas d'inondation pour chaque membre de la famille.

D.8. Annexe 8 : Devis quantitatifs et estimatifs

Les prix ci-dessous sont exprimés en francs burundais (BIF) ainsi qu'en dollars américains (USD), convertis à l'aide du taux de change officiel du 10 juillet 2019 (1 USD = 1,838.07 BIF).

Ces prix sont mentionnés à titre indicatif et peuvent varier d'une région à l'autre ou en fonction de la saison.

Abri d'urgence (5.25 x 4m)

N°	Désignation des matériaux	Unité	Quantité	PU(BIF)	PT(BIF)	PU(USD)	PT(USD)
I	Préparation du terrain	FF	1	55,000	55,000	29.90	29.90
II	Perches pour murs et charpentes (6m de long)	Pièces	39	3,500	136,500	1.90	74.26
III	Lattes eucalyptus de 4m (ou bandes de caoutchouc*)	Pièces	22	1,500	33,000	0.82	17.95
IV	Bâches	Pièces	5	31,000	155,000	16.87	84.33
V	Clous ordinaires (10 et 8cm)	Kg	6	4,500	27,000	2.45	14.69
VI	Clous ordinaires (4cm)	Kg	1	6,000	6,000	3.27	3.26
VII	Fil à ligaturer	Kg	2	4,000	8,000	2.18	4.35
VIII	Corde	Rouleau	1	4,000	4,000	2.18	2.18
IX	Film polyane	m	6	1,800	10,800	0.98	5.88
X	Porte	Pièces	1	61,000	61,000	33.19	33.19
XI	Fenêtre	Pièces	1	36,000	36,000	19.59	19.59
XII	Main d'œuvre	FF	1	30,000	30,000	16.32	16.32
Total					562,300		305.9

*Par considération économique et logistique, ces éléments peuvent être remplacés par des bandes de caoutchouc, qui offrent une qualité similaire dans une utilisation similaire. Une feuille plastique de caoutchouc de 3 x 2m se chiffre à environ BIF 1000 (USD 0,55). 3 feuilles sont estimées nécessaires pour chaque 5 bâches.

Abri transitoire (8 x 5.6m)

N°	Désignation des matériaux	Unité	Quantité	PU(BIF)	PT(BIF)	PU(USD)	PT(USD)
I	Préparation du terrain	FF	1	55,000	55,000	29.90	29.90
II	Perches pour ossature	Pièces	30	3,000	90,000	1.63	48.95
III	Perches pour charpente	Pièces	24	3,000	72,000	1.63	39.20
IV	Perches pour baies	Pièces	6	3,000	18,000	1.63	9.80
V	Clous ordinaires pour l'ossature des murs	Kg	4	5,000	17,500	2.72	9.52
VI	Bâches pour murs	Pièces	6	31,000	186,000	16.85	101.19
VII	Portes en bois 1,80 x 0,80	Pièces	5	62,000	310,000	33.73	168.65
VIII	Fenêtres en bois 0,90 x 0,70	Pièces	5	41,500	207,500	22.58	112.89
IX	Lattes eucalyptus de 4m	Pièces	20	1,500	30,000	0.82	16.32
X	Clous de 4cm fixation des lattes	Kg	2	6,000	12,000	3.26	6.53

XI	Aménagement extérieur et réalisation rigole (réaliser une pente avec de la terre autour de la maison de sorte que l'eau ne rentre pas dans la maison et orienter l'eau vers un exutoire)	FF	1	50,000	50,000	27.20	27.20
Total					1,048,000		570.15

Habitat durable – en briques adobe (8 x 5.6m)

	Désignation des Travaux	Unité	Quantité	PU(BIF)	PT(BIF)	PU(USD)	PT(USD)
I	INSTALLATION DE CHANTIER						
I.1	Installation et repli de chantier	FF	1	55,000	55,000	29.92	29.92
	<i>Sous total</i>				55,000		29.92
II	TERRASSEMENT						
II.1	Fouilles en rigole + évacuation hors site des déblais	m3	12.06	10,000	120,600	5.44	65.61
	<i>Sous total</i>				120,600		65.61
III	MACONNERIE DE FONDATION						
III.1	Maçonnerie de fondation en moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m3	12.86	85,000	1,093,100	46.24	594.70
	<i>Sous total</i>				1,093,100		594.70
IV	MACONNERIE D'ELEVATION EN BTC : 4000 briques (40*20*20cm)						
IV.1	Main d'œuvre pour la fabrication de 4000 briques	Pièces	4000	50	200,000	0.027	108.80
IV.2	Main d'œuvre pour l'élévation des murs (maçons et aide-maçons)	FF	1	200,000	200,000		108.80
IV.15	Fourniture et pose de linteaux en bois pour les portes (longueur minimale 140 cm)	Madriers	13	5,000	65,000	2.72	35.36
IV.16	Fourniture et pose de linteaux en bois pour les fenêtres (longueur minimale 140 cm)	Madriers	13	5,000	65,000	2.72	35.36
	<i>Sous total</i>				530,000		144.16
V	TOITURE						
V.1	Perches diam. 10 cm pour fermes des charpentes	Pièces	14	3,000	42,000	1.63	22.85
V.2	Perches diam. 8 cm pour pannes	Pièces	16	2,800	44,800	1.52	24.37
V.3	Perches pour échafaudages	Pièces	12	2,800	33,600	1.52	18.28
V.4	Clous ordinaires	Kg	6	5,500	33,000	3.00	17.95
V.5	Fers feuillards pour ossature et scellement de la charpente	Kg	13	8,000	104,000	4.35	56.58
V.6	Fourniture et pose couverture en tôles ondulées galvanisées BG 32	Pièces	28	22,500	630,000	12.24	342.73

V.7	Clous pour tôles	Kg	5	6,000	30,000	3.26	16.32
V.8	Fourniture et pose tôles faitières	Pièces	5	10,000	50,000	5.44	27.20
	<i>Sous total</i>				967,400		526.22
VI	HUISSERIES						
VI.1	Fourniture et pose portes en bois massif et sec (80 x 210 cm) y compris les encadrements	Pièces	5	62,000	310,000	33.73	168.62
VI.2	Fourniture et pose fenêtres en bois massif et sec (70 x 80 cm) y compris les encadrements	Pièces	4	41,500	166,000	22.57	90.30
	<i>Sous total</i>				476,000		258.92
VII	AMENAGEMENT EXTERIEUR						
VII.1	Aménagement extérieur et réalisation rigole(réaliser une pente avec de la terre autour de la maison de sorte que l'eau ne rentre pas dans la maçonnerie et orienter l'eau vers un exutoire)	FF	1	50,000	50,000	27.20	27.20
	<i>Sous total</i>				50,000		27.20
	TOTAL				3,292,100		1,646.73

Habitat durable – en BTC (8 x 5.6m)

	Désignation des Travaux	Unité	Quantité	PU(BIF)	PT(BIF)	PU(USD)	PU(USD)
I	INSTALLATION DE CHANTIER						
I.1	Installation et repli de chantier	FF	1	55,000	55,000	29.92	29.92
	<i>Sous total</i>				55,000		29.92
II	TERRASSEMENT						
II.1	Fouilles en rigole + évacuation hors site des déblais	m3	12.06	10,000	120,600	5.44	65.61
	<i>Sous total</i>				120,600		65.61
III	MACONNERIE DE FONDATION						
III.1	Maçonnerie de fondation en moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m3	12.86	85,000	1,093,100	46.24	594.70
	<i>Sous total</i>				1,093,100		594.70
IV	MACONNERIE D'ELEVATION EN BTC : 4032 briques						
IV.1	Fabrication des Briques en Terre Compressée						
IV.2	Ciment	Sac	53	30,000	1,590,000	16.32	865
IV.3	Terre rouge	m3	30	20,000	600,000	10.88	326.5
IV.4	Sable	m3	10	20,000	200,000	10.88	108.81
IV.5	Gasoil pour machine	Litres	45	2,500	112,500	1.36	61.20
IV.6	Huile moteur pour machine	Litres	4	15,000	60,000	8.16	32.65

IV.7	Huile hydraulique	Litres	1.5	15,000	22,500	8.16	12.24
IV.8	Roofing	Kg	25	6,000	150,000	3.26	81.61
IV.9	MO qualifiée (capitats)	HJ	12	15,000	180,000	8.16	32.65
IV.10	MO qualifiée (machinistes)	HJ	8	10,000	80,000	5.44	43.52
IV.11	MO non qualifiée	HJ	80	4,000	320,000	2.18	174.08
IV.12	Maçons charpentiers	HJ	48	8,000	384,000	4.35	208.90
IV.13	Aides maçons	HJ	48	4,000	192,000	2.18	104.45
IV.14	Transport des briques et eau	HJ	60	4,000	240,000	2.18	130.56
IV.15	Fourniture et pose de linteaux en bois pour les portes (longueur minimale 140 cm)	Madriers	13	5,000	65,000	2.72	35.36
IV.16	Fourniture et pose de linteaux en bois pour les fenêtres (longueur minimale 140 cm)	Madriers	13	5,000	65,000	2.72	35.36
	<i>Sous total</i>				4,261,000		2,252.89
V	TOITURE						
V.1	Perches diam. 10 cm pour fermes des charpentes	Pièces	14	3,000	42,000	1.63	22.85
V.2	Perches diam. 8 cm pour pannes	Pièces	16	2,800	44,800	1.52	24.37
V.3	Perches pour échaffaudages	Pièces	12	2,800	33,600	1.52	18.28
V.4	Clous ordinaires	Kg	6	5,000	30,000	3.00	17.95
V.5	Fers feuillards pour ossature et scellement de la charpente	Kg	13	8,000	104,000	4.35	56.58
V.6	Fourniture et pose couverture en tôles ondulées galvanisées BG 32	Pièces	28	22,500	630,000	12.24	342.73
V.7	Clous pour Tôles	Kg	5	6,000	30,000	3.26	16.32
V.8	Fourniture et pose tôles faîtières	Pièces	5	10,000	50,000	5.44	27.20
	<i>Sous total</i>				964,400		526.22
VI	HUISSERIES						
VI.1	Fourniture et pose portes en bois massif et sec (80 x 210 cm) y compris les encadrements	Pièces	5	62,000	310,000	33.73	168.62
VI.2	Fourniture et pose fenêtres en bois massif et sec (70 x 80 cm) y compris les encadrements	Pièces	4	41,500	166,000	22.57	90.30
	<i>Sous total</i>				476,000		258.92
VII	AMENAGEMENT EXTERIEUR						
VII.1	Aménagement extérieur et réalisation rigole(réaliser une pente avec de la terre autour de la maison de sorte que l'eau ne rentre pas dans la maçonnerie et orienter l'eau vers un exutoire)	FF	1	50,000	50,000	27.20	27.20
	<i>Sous total</i>				50,000		27.20
	TOTAL				7,020,100		3,755.52

E. Remerciements

Ont permis la réalisation de ce guide, au travers de leur travail et de leur collaboration :

Les organisations facilitatrices et organisatrices de l'événement :

Le Ministère des Droits de la Personne Humaine, des Affaires Sociales et du Genre (MDPHASG), l'OIM et la Croix-Rouge Luxembourgeoise, ainsi que la Croix-Rouge Burundaise pour la disponibilité de leurs enceintes au centre de formation de Ngagara.

Les présentateurs et facilitateurs de l'atelier (par ordre alphabétique) :

Franck AHONONGA (SKAT), Médiatrice BARENGAYABO (OIM), Désiré BATUNGWANAYO (OIM), Eugénie CRETE (SRU/CRATERRE), Venant HAKIZIMANA (Plateforme Nationale de Prévention des Risques et de Gestion des Catastrophes), Michel JAQUET (OIM), Olivier JAYNE (IFB), Emmanuel MIKEREGO (Université du Burundi), Irène NAHAYO (OIM), Aloys NGARUKO (OIM), Joël Nyanding NGBA (ADRA), Jean-Marie NIMUBONA (CRB), Bonaventure NIYONIZIGIYE (OIM), Homer NIYONKURU (Directeur Général de l'Aménagement du Territoire et du Patrimoine Foncier/Ministère des Transports, des Travaux Publics, de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire), Vénérand NZIGAMASABO (CRB), Séverine LACROIX (DRC), Sarah LAISNE (UNHCR), Gentiane LAMOURE (OIM), Marta LEBOREIRO (OIM), Jennifer PRICE (IRC), Michèle SCHMIDT (CRL), Révérien SIMBARAKIYE (Directeur Général de l'Intégration des Sinistrés/MDPHASG), Fabien YAMUREMYE (PCRS/MDPHASG)

Les participants à l'atelier, venant des organisations suivantes :

OIM, Croix-Rouge Luxembourgeoise, Croix-Rouge Burundaise, MDPHASG, PCRS, MTTPEAT, CRS, IRC, UNICEF, OPIRCO, COPED, CARE, SKAT, World Vision, ADRA, OCHA, Université du Burundi, et la Plateforme Nationale de Prévention des Risques et de Gestion des Catastrophes.

Le comité technique qui a découlé de l'atelier:

Louis NTIRANDEKURA (Président – PCRS/MDPHASG), Désiré BATUNGWANAYO (Vice-président – OIM), Eddy NGABIRANO (Vice-président – CRB), Michèle SCHMIT (Secrétaire – CRL), Michel JAQUET (Vice-secrétaire – OIM), Anicet KANDEKE (OPIRCO), Alexis NSHIMIRIMANA (CRS), Séverine LACROIX (DRC), Jean-Pierre NDIKUMANA (ADRA), Charles BERAHINO (World Vision)

Le comité d'écriture, d'édition et de mise en page de ce guide:

Michèle SCHMIT (CRL), Alexander JACOBY (CRL), Michel JAQUET (OIM), Marta LEBOREIRO (OIM), l'équipe PDSU (IOM)



Crédit : AICRL

Guide de référence sur les abris des personnes vulnérables au Burundi
De l'urgence au durable.
Révision des abris et des ANA au Burundi.

Avril 2019