

Projets interuniversitaires ciblés Projets de Recherche pour le Développement Projets de Formation sud

Formulaire de rapport d'activités annuel¹

1 FICHE SIGNALÉTIQUE

Titre du projet	AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'HABITAT EN BRIQUES DE TERRE CRUE AU BURKINA FASO
Pays	Burkina Faso
Année de démarrage du projet	2016
Dates de début et de fin de la tranche	1 janvier 2021– 31 août 2022
Coordonnateur Nord	Luc Courard
Université coordinatrice Nord	Université de Liège
Coordonnateur Sud	Adamah Messan
Institution coordinatrice Sud	ZiE

¹ Ce rapport doit être accompagné des différentes annexes (rapports de mission, rapports des séjours des boursiers, etc). Merci de joindre une table des annexes. Ce document sera transmis à la DGD et lui permettra de faire un choix parmi les annexes qu'elle souhaite consulter.

2 MISE EN ŒUVRE DE LA STRATÉGIE D'INTERVENTION

2.1 RAPPEL DE L'OBJECTIF GLOBAL ET DE L'OBJECTIF SPÉCIFIQUE

OG	Contribuer à l'amélioration des performances de l'habitat traditionnel en terre crue en Afrique sub-saharienne en respectant l'environnement naturel et construit.
OS	Mise à disposition de la population et des professionnels du Burkina Faso, de systèmes constructifs adaptés et de formulations de Briques de Terre Crue (BTC) aux propriétés physiques et mécaniques améliorées par l'addition de produits alternatifs issus du recyclage des déchets urbains, industriels ou agricoles.

2.2 SUIVI DE LA STRATEGIE D'INTERVENTION

2.2.1 Cadre logique

Résultats attendus	Activités		Indicateurs
	Activités prévues	Activités réalisées	
RA1 Les ressources en argiles du Burkina Faso sont cartographiées et caractérisées	A1 Recherche bibliographique (cartes géologiques, gisements...) A2 Réalisation des missions de terrain (collecte échantillons) A3 Analyses en laboratoire (propriétés physiques, chimiques et minéralogiques) A4 Classification des argiles pour BTC et constitution des stocks	A1 réalisé par Philbert Nshimiyimana (doctorant « Produits ») A2 réalisé par Philbert Nshimiyimana (doctorant « Produits ») - N. Fagel, D. Wetsshondo, et R. Wers A3 réalisé par Philbert Nshimiyimana (doctorant « Produits ») A4 analyse et classification des argiles provenant de 4 carrières – sélection d'un type d'argile pour la fabrication de BTC	- 6 sites de prélèvement ont été visités, inventoriés et cartographiés (sites de Kamboinsé, Pabré, Kossodo, Komsilga, Komki-Ipalla, Saaba). - les argiles ont été analysées et classées suivant différents critères (dont celui de CRA-Terre pour la sélection d'argiles pour BTC) - choix de l'argile de Kamboinsé pour la fabrication des BTC [1, 2, 18, 21]
RA2 Les propriétés mécaniques et la durabilité des BTC sont améliorées	A1 Inventaire des matériaux alternatifs disponibles localement (plastiques durs et mous, sous-produits agricoles et industriels) A2 Caractérisation des matériaux alternatifs et sélection des plus appropriés. A3 Formulation des BTC à partir des argiles (R1-A4) et des produits alternatifs (R2-A2) A4 Evaluation des propriétés mécaniques	A1 réalisé par Philbert Nshimiyimana (doctorant « Produits ») A2 réalisé par Philbert Nshimiyimana (doctorant « Produits ») A3 réalisé par Philbert Nshimiyimana (doctorant « Produits ») – D. Miraucourt A4 réalisé par Philbert Nshimiyimana (doctorant « Produits ») – technicien 2iE A5 réalisé par Philbert Nshimiyimana (doctorant « Produits »)	- les matériaux alternatifs (chaux, cendres de balle de riz calcinées, fibres végétales et polymères) ont été caractérisés et analysés - des mélanges entre argiles et produits alternatifs ont été réalisés à Ouagadougou et ont permis de définir des proportions optimales d'un point de vue comportement mécanique (avec technicien 2iE) [2-4,18,26, 27] - les principales propriétés physiques et mécaniques des BTC sont réalisées [5,18] - les essais de durabilité (absorption d'eau, érodabilité, abrasion, cycle de mouillage et séchage) ont été réalisés [5-6,18, 24-26]

	A5 Essais de durabilité		
RA3 Les propriétés hygrothermiques des BTC sont caractérisées.	- A1 Mesure des propriétés de transfert de chaleur et d'humidité sur échantillons	A1 réalisé par Philbert Nshimiyimana et Césaire Hema	Les dernières mesures de caractérisation ont été réalisées au début 2020 et intégrées dans les deux thèses [5-12,17] - Les essais thermique et de sorption-désorption et de perméabilité à vapeur ont été réalisés [5,17, 18]
RA4 Le confort thermique des habitations à base de BTC est amélioré.	A1 Réalisation d'une analyse paramétrique sur des parois à base de BTC sur base de modèles A2 Instrumentation de parois en situations réelles A3 Optimisation de la structure des parois en vue du confort thermique	A1 réalisé par Césaire Hema (doctorant « Architecture ») A2 réalisé par Césaire Hema (doctorant « Architecture ») A3 réalisé par Césaire Hema (doctorant « Architecture »)	- les données climatiques nécessaires à la caractérisation du climat d'Ouagadougou ont été rassemblées et analysées - une modélisation des parois vis-à-vis des transferts de chaleur est en cours à l'aide de logiciels adaptés et sur base de mesures réalisées sur un site témoin à Kamboinsé - l'impact de la chaleur latente sur la régulation de l'apport d'énergie dans l'ambiance est analysé à travers deux parois vernaculaires et en tenant compte de l'occupation des pièces (jour/nuit) d'un bâtiment de référence [8-12, 23]
RA5 Un cahier des charges reprenant les dispositifs constructifs adaptés est disponible pour les professionnels	A1 Réalisation d'un état des lieux de l'architecture vernaculaire au Burkina Faso A2 Description détaillée des systèmes constructifs, analyses des avantages et défauts.	A1 réalisé par Césaire Hema (doctorant « Architecture ») et Ousmane Zougrana (Doctorant « Sociologie ») A2 réalisé par Césaire Hema (doctorant « Architecture »)	- Les détails constructifs et les typologies de bâtiments ont été étudiés à partir des réalisations des architectes (notamment F. Kéré) et des entrepreneurs, sur base de recherches bibliographiques, de rencontres et de visites de chantier [9-11]. - Une cartographie de la construction en BTC dans la ville de Ouagadougou a été élaborée [20] - des modèles de parois ont été proposés et modélisés (voir R4) [11-12,19,23].
RA6 Une évaluation économique des solutions techniques proposées est réalisée	A1 Analyse comparative des coûts de construction des bâtiments.	A1 réalisé par Ousmane Zougrana (doctorant « Sociologie »)	- le coût total d'1 m ² de mur construit coûte environ 10 000 FCFA pour BTC (mur simple BTC 29,5x14x9,5 cm) et autour de 16 000 FCFA pour le parpaing, - un bâtiment sans climatisation construit avec des murs en BTC stabilisées au Carbone de Calcium Résiduel (bâtiment-BTCs) offre 400 heures (20 %) de moins d'heures d'inconfort hygrothermique par rapport au bâtiment construit avec des murs en brique de parpaing (bâtiment-parpaing). - Un gain économique à hauteur de 10 % peut être réalisé dans le bâtiment-BTCs sur la consommation électrique, si on utilisait le climatiseur pour maintenir la température à 28 °C dans les deux bâtiments [7, 20].
RA7 Une évaluation socio-anthropologique des freins à l'utilisation des BTC est réalisée	A1 Enquête sociologique sur l'utilisation des BTC	A1 réalisé par Ousmane Zougrana (doctorant « Sociologie »)	- une analyse des freins socio-anthropologique à l'utilisation des BTC a été réalisée auprès des groupes stratégiques (21 contacts réalisés et 12 localisations identifiées) - 21 rencontres ont actuellement été organisées avec les groupes-cibles identifiés. - le retour à cette forme de construction est l'œuvre de classes moyennes qui ont rompu avec le tout-béton dans la construction de leurs logements : culture de distinction sociale, raisonnement écologique et post-matérialiste en lien avec les objectifs du développement durable (matériaux moins énergivores et offrant le confort dans le logement) [13-16, 20]. - La faible diffusion de la construction en BTC s'explique par l'échec des politiques publiques de la valorisation - Le rejet de la BTC se justifie par les facteurs socio culturels : BTC=parpaing de pauvre, banco amélioré

			- Il en ressort qu'un des facteurs de reconquête de la BTC passe par la diffusion d'une pensée écologiste - La thèse de doctorat sur le sujet est a été soutenue le 20 décembre 2021 [20]
RA8 Des actions de sensibilisation sur les BTC sont menées en faveur de la population de Ouagadougou	A1 Campagne d'information de proximité par un opérateur spécialisé au niveau de la région Centre A2 Organisation d'animations ciblées sur des prototypes d'habitations en BTC	A1 Campagne d'information de proximité réalisée par Autre terre via Traore MOUSSA de l'agence PROXIMEDIA, au niveau de la région Centre A2 Campagne de vulgarisation au grand public	- Workshop qui était prévu pour Novembre 2020 a été reporté en 2021, en raison de COVID19. Finalement le workshop a eu lieu du 5 au 6 mai 2022 à Ouagadougou. - Rencontre au sein de l'entreprise de production des BTC : Zi Matériaux Bobo (annexe 1) - Article Le Faso Net de vulgarisation pour la soutenance de Ousmane Zoungrana (annexe 2) - Article Le Faso Net de vulgarisation pour l'atelier (annexe 3) - Article Le Pays de vulgarisation pour l'atelier (annexe 4) - Montage et diffusion des spots de communication radio réalisés en 2021-2022 (il reste le lien à mettre) - Montage et diffusion d'un film de capitalisation réalisé en 2021-2022 (il reste le lien à mettre)
RA9 Les résultats de la recherche sont diffusés dans le monde professionnel et scientifique	A1 Organisation à Ouagadougou d'un atelier de transfert technologique centré sur les résultats du PRD A2 Participation commune à des congrès internationaux et publications dans des revues scientifiques internationales A3 Mise en place d'un guichet technologique à destination des professionnels de la construction A4 Contribution à la normalisation des BTC sur le plan national A5 Collaboration avec le Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme Burkinabe pour la mise en place d'un éco-quartier	A1 Organisation de l'atelier de restitution à 2iE Ouaga 05 et 06 Mai 2022 A2 Participation à des communications orales en interne et à l'international : Participation à la conférence internationale Eco Construction (en ligne), Earthen construction (Paris) A3 Le guichet technique est mise en place A4 Les résultats de recherche peuvent potentiellement contribuer à la normalisation des BTC A4 Les futurs collaborations avec le Ministère pourront mener vers la mise en place d'un écoquartier	- L'atelier de restitution a permis de partager les résultats de recherche aux acteurs de la construction : pouvoir public, Architectes, Ingénieurs, Scientifiques, Société Civile (annexe 5) et de définir 10 actions majeures à mettre en oeuvre - Défense de thèse-produit : Ph. Nshimiyimana [18] - Défense de thèse-architecture : C. Hema [19] - Défense de thèse-sociologie : O. Zoungrana [20] - Élaboration et diffusion de fiche PRD (annexe 6) - Élaboration et diffusion de fiche technique : Produit (annexe 7) - Élaboration et diffusion de fiche technique : Architecture (annexe 8) - Élaboration et diffusion de fiche technique : Sociologie (annexe 9) - Accompagnement de l'entreprise BSF de production des BTC dans la caractérisation des BTC stabilisées en vue de leur certification (annexe 10) - Accompagnement de l'entreprise BSF de production des BTC dans la caractérisation des BTC stabilisées en vue de leur certification (annexe 11) - Accompagnement de l'entreprise BSF de production en BTCs dans la caractérisation des BTC stabilisées, en vue de leur utilisation (annexe 12) - Accompagnement du CEROD pour la construction en BTCs dans la caractérisation des BTC stabilisées, en vue de leur utilisation (annexe 13) - +14 articles publiés dans des revues internationales avec peer reviewing - 1 article en cours de publication dans des revues internationales avec peer reviewing - 2 articles publiés dans des proceedings de conférence - +15 présentations orales dans des conférences internationales

[1] Influence des sous-produits agro-industriels sur la résistance mécanique de brique en terre comprimée Ph. Nshimiyimana, A. Messan, L. Courard, Z. Zhao, L. Bello, N. Fagel, D. Westhondo. NoMaD 2018. Nouveaux Matériaux et Durabilité, Liège, 7-8 novembre 2018, 10p.(<https://popups.uliege.be/NoMaD2018>)

- [2] Physico-chemical and mineralogical characterization of clay materials suitable for production of stabilized compressed earth blocks. Nshimiyimana, P., Fagel, N., Messan, A., Wetshondo, D. O., & Courard, L. (2020). *Construction and Building Materials*, 241, 118097. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/245246>
- [3] Compressive strength of compressed earth blocks stabilized with calcium carbide residue and rice husk ash. Ph. Nshimiyimana, D. Miracourt, A. Messan, L. Courard. *African materials research society, 9th international conference (AMRS2017)*, Gaborone (Botswana), 11-14 Dec 2017 (<http://hdl.handle.net/2268/227020>)
- [4] Chemico-microstructural changes in earthen building materials containing calcium carbide residue and rice husk ash. Nshimiyimana P, Messan A, Zhao Z, Courard L. (2019). *Constr Build Mater*. 216C:622–631. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.037> (<http://hdl.handle.net/2268/235456>)
- [5] Physico-Mechanical and Hygro-Thermal Properties of Compressed Earth Blocks Stabilized with Industrial and Agro By-Product Binders. Nshimiyimana, P., Messan, A., & Courard, L. (2020). *Materials*, 13(17), 3769. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/250345>
- [6] Hydric and durability performances of compressed earth blocks stabilized with industrial and agro by-product binders : calcium carbide residue and rice husk ash. Nshimiyimana, P., Messan, A., & Courard, L. (forthcoming). *Journal of Materials in Civil Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003745](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003745) (<https://orbi.uliege.be/view-workspaceitem>)
- [7] Comparative Study of Thermal Comfort Induced from Masonry Made of Stabilized Compressed Earth Block vs Conventional Cementitious Material. Moussa HS, Nshimiyimana P, Hema C, Zounggrana O, Messan A, Courard L. (2019). *Comparative J Miner Mater Charact Eng*. 7:385–403, 10.4236/jmmce.2019.76026 (<https://orbi.uliege.be/handle/2268/240543>)
- [8] Impact de la conception des parois en briques de terre comprimée sur le confort thermique dans l'habitat en climat chaud et sec. C. Hema. G. van Moeseke, A. Lawane Ganou, A. Messan, L. Courard. *NoMaD 2018. Nouveaux Matériaux et Durabilité*, Liège, 7-8 novembre 2018, 10p. (<https://popups.uliege.be/NoMaD2018>)
- [9] Impact de la conception des parois en briques de terre comprimée sur le confort thermique dans l'habitat en climat chaud et sec, Césaire M. Hema, Geoffrey Van Moeseke, Abdou Lawane Gana, Adamah Messan, Luc Courard, 1er Colloque International sur le nexus Eau-Énergie-Alimentation-Habitat SustainEng 2018, Ouagadougou, 12-14 décembre 2018
- [10] Vernacular housing practices in Burkina Faso: Representative models of construction in Ouagadougou and walls hygrothermal efficiency. Hema, C. M., Van Moeseke, G., Evrad, A., Courard, L., & Messan, A. (2017). In *Energy Procedia* (Vol. 122, pp. 535–540). Lausanne: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.398>
- [11] Impact of the Design of Walls Made of Compressed Earth Blocks on the Thermal Comfort of Housing in Hot Climate. Hema, C., Messan, A., Lawane, A., & Van Moeseke, G. (2020). *Buildings*, 10(9), 157. <https://doi.org/10.3390/buildings10090157>
- [12] Improving the thermal comfort in hot region through the design of walls made of compressed earth blocks: an experimental investigation. Hema, C., Soro, D., Nshimiyimana, P., Lawane, A., Messan, A., & Van Moeseke, G. (2021) *Journal of Building Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102148>
- [13] Influence de la politique de valorisation sur l'usage des blocs en terre comprimée dans la ville d'Ouagadougou. O. Zounggrana, A. Messan, G. Pirotte, M. Bologo Traore. *NoMaD 2018. Nouveaux Matériaux et Durabilité*, Liège, 7-8 novembre 2018, 10p (<https://popups.uliege.be/NoMaD2018>)
- [14] Habitat durable en milieu urbain : Etude de cas du recours à la Brique Terre Comprimée BTC dans la construction du logement dans la ville de Ouagadougou, Ousmane Zounggrana, Maïmouna Bologo, Gautier Pirotte, Adamah Messan, 1er Colloque International sur le nexus Eau-Énergie-Alimentation-Habitat SustainEng 2018, Ouagadougou, 12-14 décembre 2018
- [15] Sustainable Habitat in Burkina Faso: Social Trajectories, Logics and Motivations for the Use of Compressed Earth Blocks for Housing Construction in Ouagadougou. Zounggrana, O., Bologo/Traore, M., Hema, C., Nshimiyimana, P., Pirotte, G., & Messan, A. (2020). *WIT Transactions on the Built Environment* 195, 165-172. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/254377>
- [16] The paradox around the social Representations of Compressed Earth Block Building Material in Burkina Faso: the Material for the Poor or the luxury Material? Zounggrana, O., Bologo/Traore, M., Messan, A., Nshimiyimana, P., & Pirotte, G. (2021). *Open Journal of Social Science*. <https://doi.org/10.4236/jss.2021.91004>
- [17] Thermophysical and mechanical properties of compressed earth blocks containing fibres: By-product of okra plant & polymer waste, WIT Trans Built Environ. P. Nshimiyimana, C. Hema, O. Zounggrana, A. Messan, L. Courard. (2020) 149–161. <https://doi.org/10.2495/arc200121>
- [18] Influence de la nature de matériaux argileux et matériaux de substitutions sur les propriétés physico-mécaniques et durabilité des briques en terre crues/comprimées. Nshimiyimana, P. (2020), Thèse de doctorant de l'Institut 2iE et Université de Liège. <https://hdl.handle.net/2268/247797>
- [19] Optimisation des propriétés thermiques des parois dans les habitations en briques de terre comprimée au Burkina Faso, Hema, C. (2020). Thèse de doctorant de l'Institut 2iE et Université Catholique de Louvain. <http://hdl.handle.net/2078.1/240647>
- [20] De « Bancoville » à la construction postmaterialiste : étude socio-anthropologique des conditions de popularisation de la brique en terre comprimée (BTC) à Ouagadougou (Burkina Faso). Zounggrana O. (2021). Thèse de doctorant de l'Institut 2iE et Université de Liège. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/265068>
- [21] Comparative Study of the Reactivity of Clay Earth Materials for the Production of Compressed Earth Blocks in Ambient Conditions: Effect on Their Physico- Mechanical Performances, D. Tarmangue, S.O. Sore, P. Nshimiyimana, A. Messan, L. Courard, (2021). *J Miner Mater Characterization Eng*. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2021.101004>
- [22] A discussion of “Optimisation of Compressed Earth Blocks (CEBs) using natural origin materials: A systematic literature review,”. P. Nshimiyimana, S.O. Sore, C. Hema, O. Zounggrana, A. Messan, L. Courard, *Construction and Building Materials*. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126887>.

- [23] Reducing overheating risk in naturally ventilated houses through the design of compressed earth blocks walls in hot dry climate, Césaire Hema, Philbert Nshimiyimana, Adamah Messan, Abdou Lawane, Geoffrey Van Moeseke; (in revision). *International Journal of Building Pathology and Adaptation*
- [24] The durability of compressed earth blocks stabilized with by-product binders, Philbert Nshimiyimana, Adamah Messan, Luc Courard, *First International Conference on Earthen Construction : Fundamentals and Applications for a Circular Economy*, RILEM, Paris, France, 18-20 Mars 2022. <https://conf-earth.sciencesconf.org/>
- [25] Durability performances of compressed earth blocks exposed to wetting-drying cycles and high temperature, 9th International Conference on Harmonisation between Architecture and Nature (Eco Architecture), 12-14 July 2022, Spain (online). <https://www.wessex.ac.uk/images/conferences/2022/ARC22/Programme/ARC22-27619.mp4>
- [26] Calcium Carbide Residue and Rice Husk Ash for improving the Compressive Strength of Compressed Earth Blocks, P. Nshimiyimana, D. Miraucourt, A. Messan, L. Courard, *MRS Adv.* 3 (2018) 2009–2014. <https://doi.org/10.1557/adv.2018.147>
- [27] Influence des matériaux de substitutions sur la microstructure et résistance des briques en terre comprimées, P. Nshimiyimana, (2021) *Academic Journal of Civil Engineering*, 39(1), 144-152. <https://doi.org/10.26168/ajce.39.1.32>

2.2.2 Résultats intermédiaires atteints

L'ensemble des résultats atteints est disponible dans les annexes 1 à 4 qui reprennent les rapports d'activités complets des trois doctorants, ainsi que le rapport de mission de L. Courard.

RA1 : les essais d'identification, quantification, cartographie et caractérisation ont été réalisés et intégrés dans la thèse produite [1-2,18,21].

RA2 : les essais de tests des propriétés physiques, mécanique et durabilité face au vieillissement accéléré ont été réalisés et intégrés dans la thèse produite [2-4, 18, 24-27]

RA3 : les mesures de caractérisation des propriétés hygrothermiques ont été réalisées et intégrées dans les deux thèses : produits et Architecture [5-12,17-19]

RA4 : les résultats analyse paramétrique et instrumentation ont été réalisés pour permettre de déterminer et d'optimiser la composition des murs et de proposer des compositions types. Ils sont intégrés dans la thèse architecture [8-12, 19, 23]

RA5 : un cahier des charges pour la fabrication et construction en BTC est proposé et complété en 2021 à la suite des échanges réalisés dans le cadre du guichet technologique [annexes 6-9]. Les résultats sont intégrés dans les deux thèses : Architecture et Sociologie [11-12,19,23]

RA6 : une première analyse a été proposée et intégré dans la thèse sociologie [7, 20]. Toutefois, les circonstances sanitaires n'ont pas permis de réaliser une analyse complète et exhaustive, comme nous l'avions prévu. Nous prévoyons approfondir l'aspect économique dans le prochain projet soumis à ARES.

RA7 : l'analyse est terminée. Les informations sont compilées dans la thèse sociologie [13-16, 20].

RA8 : une campagne d'information a été menée (le montage des spots radio et film de promotion déjà faits, la diffusion prévue est réalisée). Des nombreuses campagnes d'information et d'accompagnement ont été réalisées en faveur des acteurs [annexes 1-4]. Un workshop a été réalisé les 5-6 Mai 2022 afin de diffuser les principales informations récoltées dans le cadre des 3 thèses de doctorat et des nombreux essais réalisés tout au long du projet [annexe 5].

RA9 : de nombreuses communications scientifiques ont été réalisées [1-27]. Le guichet technologique est mis en place en 2021 afin de contribuer au transfert technologique auprès des architectes, des ingénieurs et des entreprises [annexes 6-13].

CONCLUSIONS Le travail a bien été accompli suivant le timing établi. Les activités RA1-5 et R7-8 peuvent être considérées clôturées. Trois chercheurs ont défendu leur thèse de doctorat. L'activité de dissémination (RA8) a été réalisée avec l'aide d'Autre Terre. La conférence finale, sous forme de workshop avec les différents groupes cibles, a pu être organisée comme prévu les 5-6 Mai 2022. Les activités R6 et R9 ont été presque accomplies. L'analyse plus approfondie des aspects économiques des solutions techniques proposées est prévu dans un prochain projet soumis. Il en est de même concernant

les aspects de normalisation des BTC sur le plan national qui doit intégrer le volet code de calcul de la maçonnerie en BTC et de la collaboration avec le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme Burkinabè pour la mise en place d'un éco-quartier. Un prochain projet soumis permettra de compléter ce présent projet sur ces aspects.

2.2.3 Facteurs de succès

Les 3 doctorants ont développé une forte activité de recherche durant ce projet afin de terminer leur thèse. La défense devant jury s'est déroulée pour les trois doctorants, respectivement le 31 août (pour Philbert), le 26 novembre 2020 (pour Césaire) et 20 Décembre 2021 (pour Ousmane).

Philbert Nshimiyimana - Effect of the type of clay earthen materials and substitution materials on the physico-mechanical properties and durability of compressed earth blocks (<http://hdl.handle.net/2268/247797>)

Césaire Hema - Optimisation des propriétés thermiques des parois dans les habitations en briques de terre comprimée au Burkina Faso (<http://hdl.handle.net/2078.1/240647>)

Ousmane Zoungana - De « Bancoville » à la construction postmaterialiste : étude socio-anthropologique des conditions de popularisation de la brique en terre comprimée (BTC) à Ouagadougou (Burkina Faso).

Les doctorants ont également participé à des congrès et séminaires, notamment *Eco-Architecture 2022, 2020, ICEC2022, Young researcher abroad 2021 ; AMRS 2019, 2017 ; SustainEng 2018 ; NOMAD 2018; CISBAT 2017*

Les doctorants ont également produit plusieurs publications scientifiques et de vulgarisation dans les revues de référence, notamment *Construction and Building Materials (CBM) 2022, 2021, 2020, 2019, Journal of Materials in Civil Engineering 2021, Journal of Building Engineering 2021, 2018 : MRS Advances, 2020, 2018 Materials 2020, Buildings 2020, WIT Transactions on the Built Environment, ; Journal of Mineral and Materials characterization and engineering (JMMCE) 2022, 2019, Open journal of social science 2020 2021,*

Autre Terre a mis en place les actions de diffusion.

Le guichet Technologique mis en place à 2iE continue d'assister les entreprises de conception des briques à une meilleure formulation et aide aussi ces entreprises à produire des fiches techniques de leur BTC. Des conseils sont donnés à ces entreprises sur le soit des terres argileuses et de la façon dont les briques doivent être conçues pour une meilleure durabilité.

Enfin, l'atelier de restitution et la visite de sites de production et de construction (5-6 mai 2022) ont permis de dialoguer avec les parties prenantes et de mettre en évidence 10 actions à mener afin de développer l'utilisation des BTC améliorées dans l'habitat.

2.2.4 Éventuelles difficultés rencontrées

La bonne collaboration SUD-NORD a permis d'avancer dans le projet sans trop de difficultés. La crise sanitaire n'a pas trop impacté le travail des doctorants qui étaient en phase de rédaction. Ainsi, les défenses publiques de Ph. Nshimiyimana et C. Hema et O Zoungana ont été organisées en hybride (présentiel et en ligne entre le nord et le sud). Aussi, le workshop qui devait permettre de présenter les résultats du projet et lancer le guichet technologique a été réalisé finalement les 5-6 mai 2022 (à la place de novembre 2021) après le lancement du guichet technologique.

2.2.5 Réorientation des activités – développements nouveaux

La crise sanitaire n'a pas permis de mener complètement une des recommandations de l'auditeur du projet (2019-2020) sur les aspects économiques liés à la construction en BTC. Toutefois, le doctorant O. Zoungana et le coordonnateur Sud ont pu mener une pré-étude sur cet aspect. Les études approfondies pourront être réalisées dans la suite du projet : HaBiMo – Vers un habitat bio-climatique et modulable en terre crue améliorée à Ouagadougou (en évaluation).

2.3 SUIVI DES DEPENSES LIEES AUX INTERVENANTS DU PROJET

Dépenses prévues	Dépenses réalisées
Personnel	
Expert guichet technique 2iE (1/5 temps) de 01/01/21 à 31/12/21	Expertise de Philbert Nshimiyimana de 01/01/21 à 31/12/21
Technicien 2iE (39,67%) du salaire brut de 01/01/2021 au 31/08/2021	Technicien 2iE (39,67%) du salaire brut de 01/01/2021 au 31/08/2021
Expert vulgarisation 01/01/21 à 31/12/21	Expert Christian Legay (Autre Terre) 01/01/21 à 30/06/22
Bourses	
-	
Missions	
- Luc Courard à Ouagadougou (du 03 au 07/05/22)	- Réalisé (annexe 14)
- Geoffrey Van Moeseke à Ouagadougou (du 03 au 07/05/22)	- Réalisé (annexe 14)
- Pirotte Gautier à Ouagadougou (du 03 au 06/05/22)	- Non Réalisé
- Messan Adamah à Liège (du 09 au 17/07/2022)	- Réalisé (annexe 15)
Divers (faits marquants)	
-	

2.3.1 Commentaires sur l'utilisation du budget

Les dépenses réellement engagées correspondent assez bien au budget prévu. Nous avons réalisé en juillet 2022 (du 09 au 17/07/2022) une mission à Liège (Adamah Messan) non prévue mais possible grâce au disponible budgétaire 2021. Nous avons également utilisé une partie du budget prévu pour 2021 pour les activités de fonctionnement du guichet technologique prolongées jusqu'au 31 décembre 2021 à Ouagadougou.

2.3.2 Clause des 15 %

-

Annexes

Annexe 1 : A1-RapportMission-MessanEtAl-20-23 Juin2022-Bobo

Annexe 2 : A2-Article-LeFasoNet-SoutenanceZoungana-2iE

Annexe 3 : A3-Article-LeFasoNet-Atelier-BTC-2iE

Annexe 4 : A4-Article-LePays-Atelier-BTC-2iE

Annexe 5 : A5-TDR&Synthèse-Atelier05-06Mai2022

Annexe 6 : A6-PLAQUETTE PRD-ARES

Annexe 7 : A7-PLAQUETTE-PRODUIT-NSHIMIYIMANA

Annexe 8 : A8-PLAQUETTE-ARCHI-HEMA

Annexe 9 : A9-PLAQUETTE-ARCHI-HEMA-PLAQUETTE-SOCIO-ZOUNGRANA

Annexe 10 : A10-Rapport-Formulation_BTC-BFS-20201229_Rev20210131

Annexe 11 : A11-Rapport-Formulation_BTC-BFS-20210725

Annexe 12 : A12-Rapport-Test-BTC-BFS-20210207

Annexe 13 : A13-Fiche-Test-BTC-CEROD-20210716

Annexe 14 : rapport mission L. Courard et G. Van Moeseke

Annexe 15 : rapport mission A. Messan