

VIEILLISSEMENT DES CONSTRUCTIONS EN BLOCS DE TERRE STABILISÉE

AGEING OF STABILIZED EARTH BLOCK CONSTRUCTIONS

Réception : 21/10/2021**Acceptation : 07/12/2021****Publication : 05/01/2022**

M'hamed MAHDAD¹, Adel BENIDIR², Sid AIT SAID³, Ahmed BRARA⁴

¹ Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées du Bâtiment, CNERIB, Alger
mahdadcnerib@gmail.com

² Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées du Bâtiment, CNERIB, Alger
abenidir.cnerib@gmail.com

³ Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées du Bâtiment, CNERIB, Alger
sidaitsaid@yahoo.fr

⁴ Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées du Bâtiment, CNERIB, Alger
ahmedbrara@hotmail.com

Résumé - Cet article décrit l'état de dégradation par vieillissement des prototypes de logements construits en Blocs de Terre Stabilisée (BTS) implantés dans les régions Nord et Sud de l'Algérie. L'étude consiste en une série d'expertise programmée sous forme de visites sur site avec inspections visuelles et réalisation d'essais sur les blocs in situ, puis en laboratoire. Les résultats obtenus ont montré que les pathologies humides sont les plus prégnantes pour les ouvrages implantés dans la région du Nord. Il a été relevé sur les murs extérieurs de certains prototypes, l'apparition de salissures noirâtres, encrassement dues à la pollution et à la colonisation biologique. Le comportement mécanique des blocs semble être altéré par des désagréments visibles notamment par l'érosion sévère identifiée sur l'enveloppe extérieure. Cette érosion est principalement causée par l'action mécanique des pluies fouettantes. De plus, l'effet de la remontée capillaire a été observé. Les résistances résiduelles en compression des blocs ayant servi à la construction des ouvrages restent appréciables. Concernant la région du Sud, l'investigation a révélé que les pathologies prédominantes sont celles humides à savoir une érosion différentielle, un écaillage et l'apparition de taches blanchâtres marquant la présence de sels. Des érosions de blocs dues aux vents de sables qui sont fréquents dans la région ont été relevées sur certaines façades.

Mots - clés : blocs de terre, pathologies, durabilité, érosion de surface

Abstract- The paper describes the state of degradation by the aging of housing prototypes built in Stabilized Earth Blocks, located in the North and South regions of the country. The study consists of a series of scheduled visits with visual inspections and carrying out tests on the blocks on-site and in the laboratory. The results show that wet pathologies are more significant for the dwellings located in the North region. It has been observed on the exterior walls of some prototypes, the appearance of blackish soiling, fouling due to pollution and biological colonization. The mechanical behavior of the blocks seems to be altered by visible disintegration, in particular by the erosion identified on the outer envelope. This erosion is mainly caused by the mechanical action of heavy rains. In addition, the effect of the capillary rise was noticed. The residual compressive strengths of the blocks used for the construction of the structures remain appreciable. Concerning the southern region, the investigation revealed that the predominant pathologies are wet ones, namely differential erosion, flaking and the appearance of whitish spots marking the presence of salts. Erosion of blocks due to sand winds which are frequent in the region were identified on some facades.

Keywords: earth blocks, pathologies, durability, surface erosion

1-Introduction

Le regain d'intérêt pour la construction en terre en Algérie a favorisé son renouveau, sa modernisation, l'actualisation de son outillage et sa mécanisation. Ce matériau fait actuellement l'objet d'études soutenues en tant qu'alternative au béton, matériau polluant, peu économique et énergivore.

Parmi les techniques de construction utilisant le matériau terre, rapportée dans la littérature, celle de la brique de terre comprimée stabilisée (ou communément appelé Bloc de Terre Stabilisée BTS) est considérée comme la plus prometteuse. La technique consiste à fabriquer un bloc compact de terre après l'avoir mélangée avec de l'eau et stabilisée chimiquement avec un liant. La stabilisation physique de la terre est assurée par le compactage qui permet d'augmenter la masse volumique du matériau et modifier ainsi ses propriétés mécaniques [1, 2]. Les dimensions requises des blocs de terre dépendent de leur domaine d'application avec l'exploitation de plusieurs moules de compactage.

Les caractéristiques physico-mécanique et hydromécanique des blocs ont fait l'objet d'abondantes études, de même que le vieillissement naturel de murets en BTS soumis à l'exposition à l'air libre [3, 4, 5]. Les résultats des recherches sur la durabilité de ce matériau ont contribué à son développement et a abouti à l'élaboration de nouveaux guides et de nouvelles normes.

Actuellement, beaucoup de pays dans le monde ont déjà adopté la pratique de construire en terre selon les normes et les recommandations spécifiques appliquées à leur territoire [6]. Des codes traitant de la construction en blocs de terre comprimée (BTC) sont élaborés en Allemagne et en Nouvelle Zélande. Ainsi, la Nouvelle Zélande a publié son code pour les bâtiments en terre crue en 1998. Ce code spécifique est annexé aux réglementations en vigueur dans le secteur du bâtiment. Il comporte entre autres les critères de performances des bâtiments en terre en termes de résistance aux tremblements de terre [7]. D'autres pays ont développé des recommandations ou des prescriptions, tel que le Maroc et la Côte d'Ivoire qui sont continuellement mises à jour. Le Pérou a intégré

des normes parasismiques pour les bâtiments en terre dans le règlement national de la construction. Aux Etats-Unis, la construction en adobe est intégrée aux codes nationaux de construction, notamment le "Uniform Building Code UBC". L'Inde a adopté en 1994 des directives pour l'amélioration de la résistance au séisme couvrant même les constructions en terre crue [6, 7]. Par ailleurs, l'Algérie a établi des bases de la construction en terre stabilisée grâce aux guides et recommandations pour la production et la mise en œuvre des bétons de terre stabilisée (CNERIB, 1993) [8, 9].

Cependant, si à l'échelle de l'unité et de l'élément de structure en BTS, la littérature scientifique est prolifique, il n'en est pas de même pour les ouvrages avec ce matériau dans leur propre environnement [10]. Les travaux et études scientifiques traitant du suivi (monitoring) du comportement du matériau BTS des constructions existantes dans leurs lieux d'implantation sont plutôt rares. Une investigation expérimentale a été effectuée par Arandara et al. [11] sur un ensemble de 50 maisons dont 59 % en blocs de terre stabilisée réalisées à Matara au Sri Lanka. Ces constructions datant entre 20 et 35 ans ont fait l'objet d'une enquête menée sur le terrain pour identifier les problèmes de durabilité les affectant. Il ressort de cette enquête que les pathologies relevées sont principalement dues aux facteurs climatiques, notamment, les fortes précipitations et le vent (climat tropical). Il a été observé l'apparition du phénomène d'absorption d'eau par capillarité, du fait d'une stabilisation insuffisante des blocs de terre pour certaines constructions.

Au Nigéria, des informations sur le comportement des constructions en blocs de terre stabilisée ont été recueillies à travers une investigation expérimentale initiée par la Covenant University située à Ota, Lagos [12, 13]. Les constructions visées par l'enquête ont été construites avec des blocs BTS confectionnés avec de la latérite. Les blocs de terre utilisés dans la construction de dômes et voûtes présentent une faible résistance à la traction et à la flexion. Une analyse sur des données recueillies a démontré une corrélation entre la réduction de la durabilité des blocs avec l'absence d'entretien régulier et/ou une protection insuffisante, en particulier dans les

zones touchées par des précipitations moyennes à fortes.

Une campagne d'expertise portant sur l'évolution du comportement des prototypes de constructions en terre stabilisée a été menée en Algérie en 1996 dans les régions Nord (Alger) et Sud (Adrar et Tamanrasset), [14]. La principale conclusion de cette campagne statue qu'après presque 10 ans d'exploitation dans les conditions climatiques dans ces régions, les blocs ne présentaient pas de dégradations majeures dues au contexte d'implantation (intempéries, séismes). Les quelques endommagements relevés sont dus soit à une mauvaise conception (rupture de soubassement suite à un tassement différentiel du sol), à la mauvaise qualité de fabrication des blocs ou à une mise en œuvre inadéquate. Cependant, des endommagements parfois significatifs des murs de ces constructions résultant de l'intervention humaine ont été recensés.

La présente étude se focalise sur les principales pathologies affectant les constructions en terre et leur durabilité. Elle rapporte les résultats des missions d'investigation expérimentale concernant l'évolution de l'état de vieillissement des constructions en blocs BTS réalisés au Nord (Alger) et au Sud du pays (Adrar et Tamanrasset).

2-Méthodologie d'expertise

La méthodologie de diagnostic retenue est inspirée de celle préconisée par le guide Réhabimed [15] relatif à la démarche à suivre pour la réhabilitation de l'architecture traditionnelle. Ce guide est l'œuvre d'un consortium d'experts méditerranéens. La partie dédiée à la connaissance de l'ouvrage dans ses aspects pluridisciplinaire revêt une importance particulière dans le cadre de cette expertise. Elle est séquencée globalement en trois étapes : pré-diagnostic, études pluridisciplinaires et diagnostic.

3- Site de construction d'ouvrages

3.1- Ouvrages situés dans le Nord

Dans la région du Nord du pays, les investigations expérimentales ont ciblé : un prototype bioclimatique construit en 1988 et une maison rurale à haute efficacité énergétique finalisée en 2007 ainsi que des logements érigés en 1987. Les logements sont localisés à Beni-Messous et les deux autres constructions sont implantés à Souidania (Alger), figure 1.

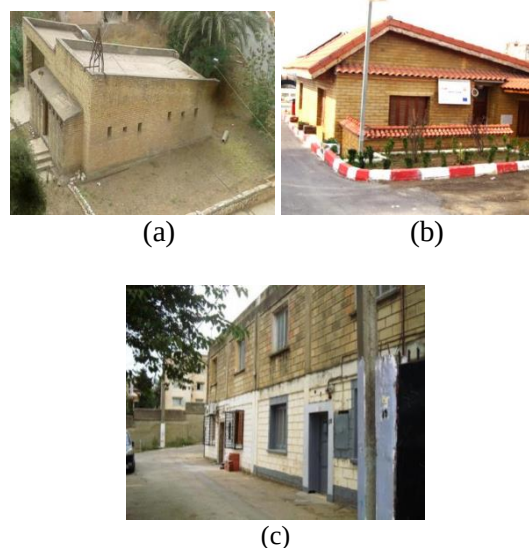


Figure 1 : Prototypes de logements en BTS dans le Nord, a) Prototype bioclimatique, b) Medenec, c) logements de Beni-Messous

Le prototype bioclimatique étudié est un logement en rez-de-chaussée d'une superficie de 80 m² environ, figure 1-a. Sa configuration est en « L », circonscrite à une forme carrée de 10 m de côté. La terre utilisée pour la fabrication des blocs en BTS est de nature sablonneuse, prélevée dans un terrain situé à El Achour dans la wilaya d'Alger. Les éléments de maçonnerie sont des blocs pleins de dimensions : 25 cm × 12,5 cm × 7 cm, confectionnés à l'aide d'une machine hydraulique développant une forte énergie de compactage (supérieur à 10 MPa). Le stabilisant utilisé est un ciment dont le dosage avoisine les 7 %. Les murs pleins de 40 cm d'épaisseur constituant l'enveloppe sont porteurs et sont montés en maçonnerie de brique BTS. Les murs sont laissés apparents (sans enduits), aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du prototype.

La maison rurale appelée aussi prototype MEDENEC a été achevée en 2007 dans le cadre d'un projet de coopération avec l'union européenne, figure 1-b. Le prototype a une superficie de 92 m² et comporte deux pièces. Les blocs de terre stabilisée présentent des dimensions standard : 29,5 cm x 14,5 cm x 9,5 cm. La terre utilisée a été prélevée sur deux sites situés dans la région d'Alger. Elle est de nature sablonneuse. Les blocs ont été stabilisés avec l'ajout d'un ciment à hauteur de 5 %. La fabrication des blocs est réalisée à l'aide d'une presse semi-automatique avec un effort de compactage appliqué sur ces blocs de 7 MPa. Les murs porteurs extérieurs sont construits en blocs de terre stabilisée. Ces murs sont disposés en deux rangés d'épaisseurs respectives 29,5 cm (intérieur) et 14 cm (extérieur) séparés par une couche de polystyrène expansé de 9 cm d'épaisseur.

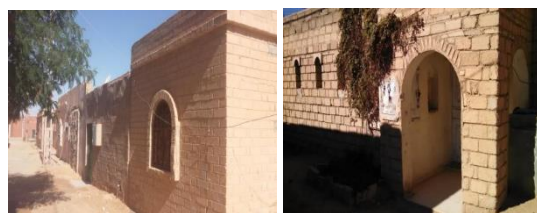
L'opération de construction de logements en BTS de Beni-Messous a été réalisée en 1987, figure 1-c. Ce site est situé à proximité du centre de la commune. Ce sont des constructions simples à 02 niveaux dont les fondations sont réalisées en béton armé. Les blocs utilisés sont creux de dimensions 20 cm x 20 cm x 40 cm, confectionnés à base de tuf stabilisé avec du ciment. Selon les informations recueillies sur place, la quantité de ciment utilisée lors de la préparation des blocs est de l'ordre de 10 % pour certains, et de 20 % pour d'autres. Le mortier utilisé est à base de ciment.

3.2- Ouvrages situés dans le Sud

Les inspections dans le Sud du pays ont concerné des ouvrages situés dans les deux wilayas d'Adrar et de Tamanrasset. Dans la wilaya d'Adrar, l'expertise a porté sur 10 logements réalisés dans la région du Touat, figure 2-a. A Tamanrasset, deux sites ont été inspecté, à savoir celui du Sersouf regroupant 20 logements (datant de 1986) et celui de Mouflon avec 24 logements (datant de 1995), figure 2-b-c.

Le projet de réalisation des 10 logements en BTS dans la ville d'Adrar a été entamé en 1986 et sa réception définitive a eu lieu en 1988. Il s'agit de constructions simples en (R + 0). Les fondations sont en semelles filantes réalisées en béton armé, surmontées par un soubassement en béton armé. Les blocs utilisés sont des blocs pleins avec des dimensions standards : 29,5 cm x 14 cm x 9,5 cm confectionnés à l'aide d'une presse mécanique. La stabilisation chimique est à base de ciment

avec une teneur de 7 % et un effort de compactage qui dépasse les 10 MPa. Le mortier de hourdage utilisé s'apparente à un mortier bâtard chaux/ciment.



(a)

(b)



(c)

Figure 2 : Ouvrages expertisés dans la région du Sud, a)- Logements d'Adrar, b)- Tamanrasset (Sersouf), c)- Tamanrasset (Mouflon)

L'expertise effectuée dans la ville de Tamanrasset a concerné deux (02) sites d'implantation de constructions en BTS qui sont respectivement Sersouf et Mouflon, situés à l'Est et au Sud-Est du centre-ville. Le premier site comporte 20 logements urbains en R + 0 dans le quartier de Sersouf, réalisés en 1984. Parmi ces 20 logements, 12 sont de type F3 et 08 de type F4. L'élément de maçonnerie adopté pour la réalisation de ces constructions est le bloc plein en terre comprimée. Les dimensions des blocs sont de 29,5 cm x 14 cm x 9,5 cm. La nature de la terre utilisée pour la confection des blocs est de type sablonneux. Sa stabilisation est obtenue par un ajout de 7 % de ciment. Par ailleurs, selon d'autres sources, certaines maisons ont été construites avec des blocs fortement stabilisés dont le pourcentage de ciment atteint les 20 %.

Concernant les 24 logements en BTS implantés dans le quartier de Mouflon, ils ont été réalisés en 1994. Les blocs utilisés sont pleins, de dimensions standards : 29,5 cm x 14 cm x 9,5 cm. La terre utilisée est de nature sablonneuse pour la confection des blocs et le taux de stabilisant en ciment (limité à 7 %). Les logements sont conçus en rez-de-chaussée

(constructions en R+0) avec des murs porteurs réalisés en maçonnerie de blocs en BTS. Le mortier de hourdage utilisé est un mortier bâtard à base d'un mélange de chaux/ciment. Aucun revêtement ne couvre la face extérieure des murs.

3.3-Données climatiques et contexte sismique des régions de l'étude

Le climat de la région de l'Algérois est de type méditerranéen, avec des températures moyennes qui sont de 17 °C en hiver et 34 °C en été. Les précipitations atteignent jusqu'à 1000 mm en hiver et l'humidité présente toute l'année est de l'ordre de 70 %. Les vents ont une vitesse moyenne de 60 km/h avec parfois des pointes pouvant dépasser les 80 km/h. Cette région est sujette à une sismicité élevée (Zone III), RPA 2003 [16].

La région de Tamanrasset est caractérisée par un climat semi-aride, avec une température maximale dépassant 32 °C en été et minimale de 5 °C en hiver. L'écart de température journalier est de 11 °C. Les précipitations annuelles moyennes enregistrées sont plutôt faibles avec 60 mm. L'humidité est proche de 25 % durant toute l'année. Les vents ont une vitesse moyenne de 45 km/h avec parfois des rafales atteignant 90 km/h. La sismicité y est négligeable (zone 0).

La région d'Adrar est caractérisée par un climat aride, avec une température maximale s'élevant à 46 °C en été avec un minimum de 5 °C en hiver. La pluviométrie est y très faible, ne dépassant guère les 20 mm annuellement. L'humidité varie de 10 à 40 %. Les vents de sable y sont fréquents et soufflent à une vitesse de 70 km/h et quelques fois en rafales avec des pointes au-delà de 100 km/h (ONM, 2018). [17] Dans cette région l'action sismique est aussi négligeable (zone 0), RPA 2003 [16].

4- Analyse des résultats

4.1-Pathologies de vieillissement dans la région du Nord

Les dégradations relevées sur les constructions en terre sont principalement dues à l'action de l'eau (pathologies humides). Les pathologies d'origine humide affectant les constructions en BTS dans le Nord sont les plus prégnantes, en

raison des spécificités du climat local.

Les pathologies de dégradations observées dues à l'humidité sont l'érosion par perte de matière et/ou effritement des blocs en BTS ainsi que la colonisation biologique. Cette humidification est le fait des eaux dans ses différents états de mouvement : ruissellement, rejaillissement, stagnations, remontées capillaires et infiltrations. L'érosion des blocs est parfois accentuée par l'action des vents et pluies fouettantes qui projettent des particules d'eau à une certaines vitesses sur les murs des façades exposées, comme pour le cas du prototype bioclimatique, voir figure 3.



Figure 3 : Dégradations résultant du ruissellement, prototype bioclimatique

L'accumulation d'humidité au niveau des faces exposées des blocs de parements a causé une forte alvéolisation. Cette altération a été observée essentiellement sur les murs du prototype bioclimatique de Souidania, figure 4. Elle a pour origine l'incompatibilité du matériau terre avec le mortier de ciment.



Figure 4 : Alvéolisation des blocs en façade

Par ailleurs, le rejaillissement des eaux de pluie, relevé essentiellement sur le prototype bioclimatique, est considéré comme l'une des causes fréquentes d'altération des blocs à la base de murs. En effet, l'infiltration par rejaillissement de pluie entraîne dans la maçonnerie un taux d'humidité décroissant du parement extérieur vers le parement intérieur, alors que l'humidité ascensionnelle par remontées capillaires entraîne un taux d'humidité sensiblement égal à travers toute l'épaisseur des blocs constituant le mur. Cette altération est due également à la faible hauteur

du soubassement à la base des murs d'une part et l'absence de gouttières en toiture d'autre part. Les eaux de ruissellement qui se déversent sur les façades ont pour effet de délayer les murs.

En présence de pollutions urbaines et atmosphériques, il en résulte l'apparition de traces de salissures noirâtres à différents endroits. A la longue, ce type de dégradations affecte la durabilité des blocs, figure 5. De plus, on relève aussi une colonisation biologique qui engendre sur les murs des salissures de couleurs vertes/brunâtre/gris. Elles résultent de l'humidité permanente sur les façades de murs extérieurs en raison de ruissellement et rejaillissement des eaux pluviales. On note également la présence des lichens qui se développent à la surface des murs fortement exposés à l'humidité.

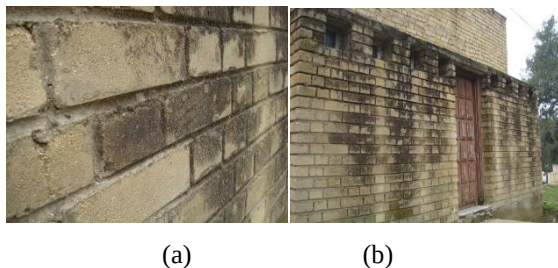


Figure 5 : Salissures sur le parement des murs
(a) Logement de Beni-Messous (b) Prototype bioclimatique de Souidania

Pour ce qui concerne les mesures in situ, la méthode d'inspection visuelle a été complétée par deux essais non destructifs menés in situ (scléromètre, test d'abrasion), figure 6.



Figure 6 : Essais non destructifs (a) test d'abrasion, (b) essais au scléromètre pendulaire

L'essai mécanique d'abrasion a été effectué sur les murs des façades. L'essai consiste à mesurer la résistance à l'abrasion du bloc [15]. En utilisant une brosse en acier, la technique repose sur le brossage en surface sur toute la longueur du bloc pendant environ une minute, ce qui équivaut à 30 allers-retours. La façade la plus affectée par le phénomène d'abrasion est celle du prototype bioclimatique. Une perte de matière assez importante au passage de la brosse, notamment sur les blocs situés aux bas

des murs exposés aux remontées capillaires. De plus, un essai non destructif a été réalisé à l'aide d'un scléromètre pendulaire. Le principe repose sur la traduction de la réponse d'un bloc soumis à l'impact d'un pendule [15]. Le rebond provoqué suite à l'impact est converti en contrainte. Les résultats obtenus ont donné des valeurs de la résistance mécanique à la compression aux alentours du 6.50 MPa dans le cas du prototype bioclimatique et des résistances comprises entre 10,5 et 12 MPa sur les blocs du prototype Medenec. Par ailleurs, il est important de noter que l'évaluation des résistances résiduelles des matériaux à base de terre souffre d'absence de formule de corrélation entre les essais destructifs et les essais non-destructifs. Par conséquent, le recours à des méthodes non-destructives pour la prospection de l'état de dégradation des constructions en terre doit recevoir plus d'attention de la communauté scientifique.

En outre, les résultats du test d'écrasement sur les blocs du prototype bioclimatique ont donné une contrainte de rupture de 6.0 MPa. Tandis que la résistance à la compression obtenue sur un bloc prélevé du prototype Medenec a donné une résistance de 12 MPa. Cette valeur appréciable est proche de celle obtenue pour des blocs testés après 28 jours de cure.

4.2-Pathologies de vieillissement dans la région du Sud

Quant à la région Sud, l'expertise n'a relevé en définitive que très peu de pathologies dues à l'exposition au climat, caractérisé il est vrai par une très faible pluviométrie. Par contre, les vents très fréquents dans cette région ont une action mécanique plus marquée lorsqu'ils transportent des particules en suspension, qui sont les sables, qui génèrent l'érosion des murs extérieurs de certains ouvrages, figure 7.

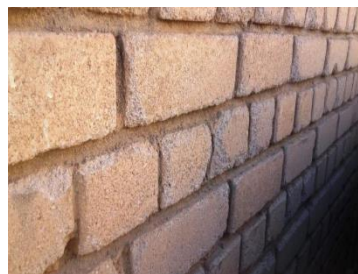


Figure 7 : Perte de matière et érosion des blocs

Par ailleurs, les dégradations des logements en BTS les plus courantes recensées lors de l'enquête menée dans les wilayas du Sud résultent en grande partie de l'intervention humaine, ainsi que d'un manque flagrant d'entretien. Aussi, d'importantes dégradations dues à l'action de l'eau ont été observées dans plusieurs logements. Il s'agit principalement des fuites (accidentelles) dans les conduites d'eau (salles d'eaux, toilettes, cuisines, etc.). Ces dernières ont occasionné des effritements, perte de matière sur les blocs. Elles sont localisées principalement au bas des murs, figure 8-a. Ces fuites ont accentué un dépôt de sels en surface (traces blanchâtres), figure 8-b.

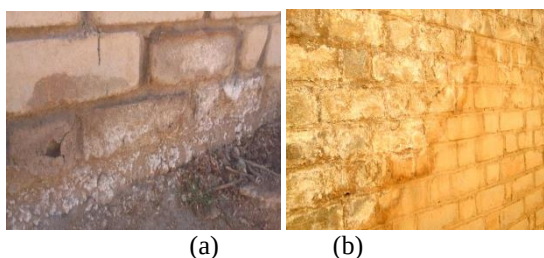


Figure 8 : Erosion superficielle des blocs et dépôt de sels, (a) bas des murs, (b) haut des murs

Une désagrégation des blocs avec une perte d'épaisseur à la base de mur de certaines maisons est également relevée sur les ouvrages expertisés, figure 9. Un creusement progressif dans le temps de la base du mur sur 50 cm de hauteur est constaté. Cette pathologie résulterait de l'absence de soubassement protégeant le bas du mur des eaux pluviales. D'autant plus que la région de Tamanrasset est soumise à de fréquentes pluies s'étalant sur la période de mai à septembre.

Ces pluies charrient de la terre (sableuse) qui s'accumule à la base du mur en contact avec les premières assises des blocs. L'autre origine est due au phénomène d'ensablement très fréquent dans la région. Le sable transporté sur plusieurs kilomètres par le vent peut faire remonter le niveau du sol de plusieurs centimètres. Les essais d'abrasion (à la surface des blocs) ont montré une fragilisation des blocs affectés par les pathologies humides et ce, pour l'ensemble des ouvrages des deux wilayas du sud.



(a) (b)

Figure 9 : Erosion et creusement des blocs au bas des murs : (a) logements d'Adrar, (b) Logements de Tamanrasset

Une résistance à l'érosion de la surface et du pourtour des blocs de terre constituant les murs a été aussi observée notamment dans la région d'Adrar. Cette érosion superficielle homogène caractéristique semble être due à l'effet mécanique des vents de sable [15]. L'évolution relative de la perte de masse indique que la zone la plus touchée par ce phénomène est la partie courante des façades orientées Est. A noter que la région d'Adrar est sujette à de fréquents vents de sable, notamment durant la période allant de mai à septembre.

5- Conclusion

Cette étude rapporte les résultats des missions d'investigation expérimentale sur l'évolution de l'état de vieillissement des constructions en blocs BTS réalisés au Nord (Alger) et au Sud du pays (Adrar et Tamanrasset).

L'analyse des résultats a mis en exergue que dans la région Nord du pays, caractérisée par une pluviométrie relativement abondante (supérieure à 600 mm par an) et associée à une importante humidité relative (70 % en moyenne sur toute l'année), les dégradations relevées sont principalement dues à l'action de l'eau (pathologies humides). Elles se manifestent par des effritements, alvéolisations, désagréments, efflorescences, salissures et colonisations biologiques. Peu de pathologies de structure ont été observées, excepté un ouvrage dont le soubassement est sujet à un tassement différentiel. Les ouvrages expertisés n'ont pas subi de dégradations résultant de l'action sismique.

Pour les wilayas du Sud, soumises à un climat semi-aride avec de faibles taux de précipitations (de 20 à 40 mm annuel) et d'humidité relative (20 à 40 %), mais avec de violents vents de sables occasionnant l'érosion des blocs de



l'enveloppe des constructions. Cette érosion des blocs est la seule pathologie de vieillissement recensée.

Toutefois, l'expertise au niveau des régions Nord et Sud a mis en exergue d'importantes dégradations résultant de défauts de conception, de production et mise en œuvre médiocres des blocs, ainsi que celles dues à l'intervention humaine (travaux de transformations, d'aménagement, rajouts d'équipements, etc.).

Références bibliographiques

- [1] Mahdad M., Benidir A., Brara A. Experimental assessment of mechanical behavior of a compressed stabilized earth blocks (CSEB) and walls. *Journal of Materials and Engineering Structures*. Vol 8, n°01, 2021.
- [2] Mahdad M., Benidir A., Brara A. Hydro-mechanical properties and durability of earth blocks: influence of different stabilisers and compaction levels. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, Vol 9, n°02, 2018.
- [3] Guettala, A., Abibsi H., Houari., Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure, *Construction and Building Materials*, 20, 119–127, 2006.
- [4] Venkatarama, R. et Gupta, A., Characteristics of soil-cement blocks using highly sandy soils, *Materials and Structures*. 38, 651-658, 2005.
- [5] Bing Qu, Bradley J. Stirling, Daniel C. Jansen, David W. Bland, Peter T. Laursen. Testing of flexure-dominated interlocking compressed earth block walls». *Construction and Building Materials* 83, 34-43, 2015.
- [6] Falceto, C., Mosquera, P., Marcos, F., Perucho, C. Canas, I. Approximation to earth material from international normative. Spanish Ministry of science and Innovation, 2011.
- [7] Falceto, C., Fernando, R., Mazarron, I. C. Assessment of compressed earth blocks made in Spain: International durability tests. *Construction and Building Materials* 37, 738–745, 2012.
- [8] CNERIB, Guide technique du béton de terre stabilisée, CNERIB, Ministère de l'Habitat. 1994.
- [9] CNERIB. Recommandations pour la production et la mise en œuvre des briques de terre comprimée ; CNERIB, Ministère de l'Habitat. 1993.
- [10] Benidir A., Mahdad M., Brara A. Earth Construction Durability: In-Service Deterioration of Compressed and Stabilized Earth Block (CSEB) Housing in Algeria. *DBMC*, 2020.
- [11] Arandara, K. P. et Jayasinghe, C. Identification of Durability Problems in Earth Buildings». *ENGINEER* n° 04, pp 14-21, 2007.
- [12] Alagbe O, A. «Prospects and Challenges of Compressed Stabilized Laterite Bricks in Enhancing Sustainable Housing Development in Nigeria ». Covenant University, Ota, Ogun State, Nigeria. 2010.
- [13] Alagbe O, A. «Enhancing Sustainable Housing Development in Nigeria using Compressed Stabilized Laterite Bricks ». *Journal of sustainable development and protection environment*. Vol 01, n°3. 2011.
- [14] Benouali, A., Ait Said, S., Khinouche, H. Étude expérimentale de la durabilité du matériau terre. CNERIB, MHU, 1996.
- [15] Rehabimed. Méthode RehabiMed pour la réhabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. Aout 2007.
- [16] RPA, Règlement parasismique algérien, RPA version 2003.
- [17] ONM. Office National de Météorologie, ONM. Algérie, 2018.