

Paille porteuse : Etat de l'art et études expérimentales préliminaires

Julie LOSSIGNOL¹, Jérôme QUIRANT¹, Julien AVERSENG¹, Cédric HAMELIN²

¹ Equipe SIGECO, Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), Montpellier

² Architecture BOHA, Association Nebraska, Nîmes et Grenoble

RESUME La paille porteuse est une technique de construction qui est apparue avec l'invention de la botteuse aux Etats-Unis à la fin du XIX^{ème} siècle. Cependant si la paille en tant qu'isolant thermique et acoustique est reconnue (RFCP 2018), elle a été peu explorée ou optimisée en tant qu'élément porteur concernant les processus de mise en œuvre ou l'évaluation de son comportement mécanique. Ainsi, le but ici sera de restituer une synthèse bibliographique afin de proposer des améliorations des techniques de mise en œuvre et de développer des lois de comportement à partir des résultats d'essais mécaniques ainsi que des modèles numériques. Les résultats obtenus permettront de qualifier la paille porteuse en tant que solution constructive écologique, viable et durable.

Mots-clefs paille porteuse, structure, mécanique, éco-construction

I. INTRODUCTION

La paille, isolant reconnu, peut aussi constituer l'élément porteur principal d'une construction. Cette idée, apparue avec l'invention de la botteuse aux Etats-Unis à la fin du XIX^{ème} siècle, consiste à empiler des bottes de paille de taille standardisée. L'ensemble est ensuite précontraint afin de former un mur rigide (Quirant 2018).



Figure 1 Mur en paille porteuse – La technique Nebraska (Floissac, 2012) Maison Feuillette à Montargis (Photothèque du RFCP)

La technique porte le nom de sa région d'origine, le Nebraska ; elle est l'aboutissement de plusieurs décennies de travaux de la part d'auto-constructeurs. En France, la maison de l'ingénieur Emile Feuillette réalisée en 1920 à Montargis (Fig. 1), reste érigée depuis et est devenu un exemple de la durabilité de la construction paille. La paille présente de nombreux avantages (Floissac, 2012 ; Gadret, 2017) :

1. C'est un excellent isolant thermique et acoustique (RFCP 2018).

2. La matière première est peu onéreuse en raison de sa quasi non-transformation (mise à part la formation des bottes par la botteleuse).
3. Avec un impact écologique relativement faible, c'est un matériau bio-sourcé utilisé en l'état, local et non-toxique. La paille absorbe pendant sa croissance le CO₂ qui reste stocké dans les murs.
4. Sa disponibilité n'est pas limitée avec 3 millions de tonnes de paille produites par an en France potentiellement utilisables dans le milieu de la construction selon l'AGPB (Association Générale des Producteurs de Blé et autres céréales) (Gadret, 2017).
5. Les constructions en paille sont essentiellement des habitations de particuliers et elles sont auto-construites, ce qui permet de renforcer la cohésion sociale entre les habitants.

ETAT DE L'ART

De nombreux ouvrages décrivent le processus constructif de la paille porteuse (King et De Bouter, 2009; Floissac, 2012; Jones 2015) cependant certaines améliorations technologiques mériteraient d'être étudiées concernant par exemple la mise en précontrainte. Il existe également une littérature importante concernant la caractérisation mécanique statique du comportement des bottes et des murs porteurs en paille notamment en compression. Les auteurs ont prouvé que leur résistance à la rupture variait en fonction de : l'orientation des bottes, le type de céréale utilisé, la densité des bottes, l'application d'un enduit, l'exposition à l'humidité, la présence éventuelle d'une contrainte latérale.

Des essais ont également été menés afin de déterminer la contribution de l'enduit en fonction de sa nature (ciment, terre ou autre), de son épaisseur, de sa résistance, de la façon avec laquelle le chargement a été appliqué (King et De Bouter, 2009) et de la présence éventuelle d'un renfort (Kim, 2012). Quelques études ont été réalisées sur l'effet du cisaillement sur les enduits (Truong, 2008) mais peu d'essais avaient été réalisés sur des bottes ou des murs en paille (Olivier, 2012).

La littérature sur le comportement dynamique des bottes de paille reste relativement réduite. Sur le fluage, on peut citer notamment les travaux menés par King et De Bouter (2009), Danielewicz et al. (2008), et un projet réalisé par des étudiants de DUT en 2017 à Nîmes.

De manière générale, on constate que les travaux menés sont très expérimentaux et que peu de chercheurs ont développé des modèles numériques en statique ou en dynamique (Olivier, 2012).

ETUDES EXPERIMENTALES PRELIMINAIRES

Au cours de travaux de fin d'étude à l'IUT de Nîmes en 2019, des essais de fluage ont été réalisés sur un mur nu et un mur enduit. Cette première étude a permis de confirmer l'effet stabilisant de l'enduit vis-à-vis du fluage, en accord avec les résultats de la littérature.

Plus récemment, le comportement de bottes et des murs en cisaillement a été testé, en construisant une boîte métallique adaptée s'inspirant de l'essai de Casagrande (Fig. 2).

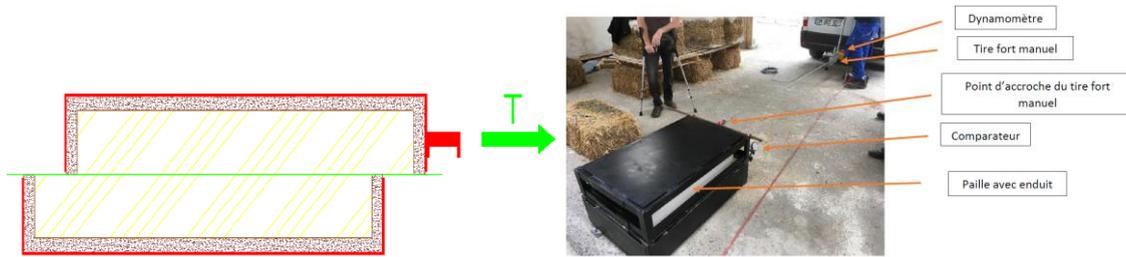


Figure 2 Principe de l'essai de cisaillement sur bottes (IUT de Nîmes, 2019)

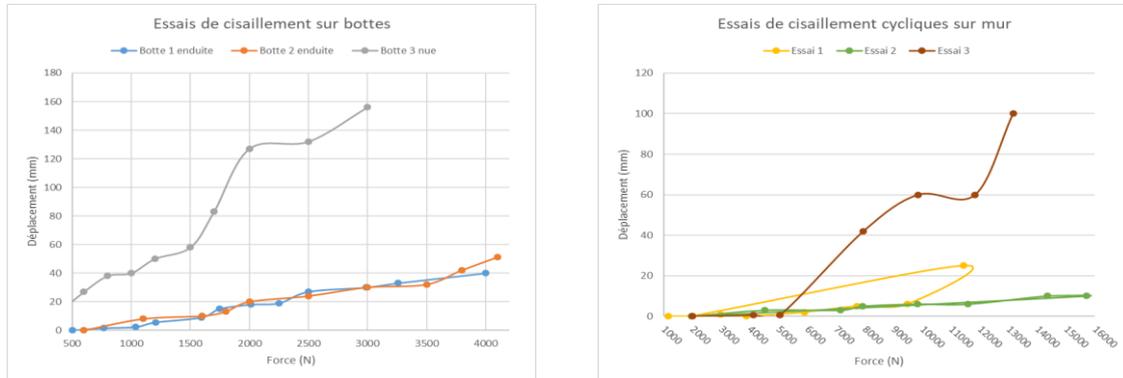


Figure 3 Graphes des essais de cisaillement sur bottes et sur mur (IUT de Nîmes, 2019)

Il a été conclu que l'enduit jouait donc un rôle important, permettant ainsi de rigidifier la botte et son utilisation comme élément de contreventement. Cette constatation a été vérifiée au travers d'essais cycliques sur un mur enduit, mené jusqu'à la rupture (Fig. 3). Le mode de ruine s'est produit par fissuration de l'enduit sur les deux faces du mur suivant des directions en cohérence avec la sollicitation appliquée.

PERSPECTIVES

A partir d'essais préliminaires de cisaillement et de fluage, il a été confirmé que l'enduit apportait de la rigidité aux bottes et aux murs de paille. Les travaux futurs consisteront à approfondir notre analyse en faisant varier le niveau de charge, le type d'enduit, la précontrainte, le type de céréale, la densité des bottes ou encore le niveau d'humidité. Il sera question également de procéder à une analyse dynamique par des essais cycliques ou d'impact. Le but sera de capitaliser les données expérimentales issues de travaux antérieurs et futurs afin de pouvoir les exploiter pour proposer de nouveaux modèles numériques, par approches aux éléments finis multicouche et/ou analytiques (panneau sandwich) en prenant en compte différents scénarios pouvant influencer les caractéristiques des matériaux (singularités architecturales, différentes phases de vie du système paille-enduit, etc.). Il faudra adapter nos modèles selon les besoins de l'utilisateur (Olivier, 2012). Un logiciel utilisant des équations simples pourrait permettre à un ingénieur méthode un dimensionnement global des systèmes en paille porteuse. Cependant, pour résoudre des désordres locaux (interface, ouvertures) ou des phénomènes plus complexes (impact, arrachement), il faudra se tourner vers une modélisation aux éléments finis.

CONCLUSION

La paille est souvent considérée comme un résidu agricole et est surtout connu comme matériau d'isolation cependant de nombreux travaux et de retours d'expériences ont permis de le considérer comme un élément porteur à part entière. Une synthèse bibliographique a été établie et des travaux préliminaires ont permis d'orienter les axes de recherche et de développer l'analyse comportementale en dynamique. Il s'agira ainsi d'approfondir nos connaissances sur le fonctionnement de l'ensemble paille – enduit et de proposer les outils permettant sa mise en œuvre et la reconnaissance de la paille porteuse comme technologie utilisable à part entière en construction.

REFERENCES

King, B. ; De Bouter, A. (2009) *Concevoir des bâtiments en bottes de paille*. Champmillon, Paris : la Maison en paille; Eyrolles.

Danielewicz I., Fitz C.; Hofbauer W.; Klatecki M.; Krick B. (2008) *Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise- Weiterentwicklung der lastragenden Konstruktionsart und Optimierung der bauphysikalischen performance* ».

Floissac, L. (2012) *La construction en paille. Principes fondamentaux, techniques de mise en oeuvre, exemples de réalisations*. Mens (Isère) : Terre vivante (Techniques de pro).

Gadret L. (2017) *La paille porteuse en architecture - quels enjeux et quelles potentialités réelles de cette technique constructive ?* Ecole nationale supérieure d'architecture et de paysage de Bordeaux. Talence.

Jones, B. (2015) *Building with straw bales. A practical manual for self-builders and architects*. [US & CA only version]. Cambridge, England : Green Books.

Kim, Yail J.; Reberg, Andrew; Hossain, Mozahid (2012) *Bio-Building Materials for Load-Bearing Applications: Conceptual Development of Reinforced Plastered Straw Bale Composite Sandwich Walls*. In : *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 26, n° 1, p. 38–45.

Olivier M., Rojat F., Gilles Forêt, Hamelin C., éd. (2012) *Construction en paille porteuse – méthodologie d'essais du comportement mécanique*. Colloque International Francophone NoMaD 2012. Toulouse, France, 19-20 Novembre 2012.

Quirant J., Averseng J., Hamelin C., éd. (2018) *Murs en paille porteuse : mise en oeuvre et comportement*. 36èmes Rencontres de l'AUGC,. Saint Etienne, France, 19 au 22 juin 2018 : *Academic Journal of Civil Engineering*.

Réseau français de la construction en paille (2018) *Règles professionnelles de construction en paille*. 3e édition réorganisée et augmentée. Editions le Moniteur. Paris

Truong, Montes, Singh, Aschheim, éd. (2008) *Shear strength of straw bales plasters*. The 14 World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, Chine, 12 au 17 Octobre 2008. Beijing, Chine.