

CARACTÉRISATION DE LA VARIABILITÉ DE TERRES DISPONIBLES LOCALEMENT : EFFET SUR LA CONSISTANCE ET LA MESURE DU SEUIL DE CISAILLEMENT

T. Vincelas^{1*}, E. Hamard², A. Hellouin de Ménibus^{3,4}, T. Lecompte¹, T. Colinart¹, H. Lenormand⁵

1- Univ. Bretagne Sud, FRE CNRS 3744, IRDL, F-56100 Lorient, France

2- IFSTTAR, MAST, GPEM, F-44344 Bouguenais, France

3- Eco-Pertica, Hôtel Buissonnet, 61340 Perche-en-Nocé, France

4- Association Nationale Des Chanvriers en Circuits Courts

5- UniLaSalle, 3 rue du tronquet, 76134 Mont-Saint-Aignan, France

**Corresponding author; e-mail: theo.vincelas@univ-ubs.fr*

RÉSUMÉ.

La présente étude a pour but d'évaluer l'impact de la variabilité du matériau terre sur la rhéologie d'un mélange terre-eau en tant que liant dans un isolant terre-chanvre. Ce travail est réalisé dans le cadre du projet ECO-TERRA R&D en collaboration avec quatre laboratoires de recherches français, des producteurs de chanvre en circuit-court et des artisans spécialisés dans l'utilisation de la terre et du chanvre en construction. Ce document se concentre premièrement sur deux démarches d'observation de la variabilité : une méthode qualitative et visuelle par la réalisation d'une matrice de consistance, et une méthode quantitative par la réalisation d'essais géotechniques. Les résultats de ces essais permettent ensuite une compréhension de la mesure du seuil de cisaillement sur chantier, ainsi que sa comparaison avec une mesure de laboratoire.

ABSTRACT.

This study aims to evaluate the impact of raw earth variability on the rheology of water-earth mix as a binder in earth-hemp insulation materials. This work is performed in the framework of the ECO-TERRA R&D project in collaboration with four French research laboratories, short circuit hemp producers and craftsmen specialized in hemp and earth constructions. This document focus on two approaches of variabilities observation: a qualitative and visual method by the realization of a consistency matrix, and a quantitative method by the realization of geotechnical tests. Then, results allow an understanding of the in-situ yield stress measure, and its comparison with laboratory measure.

MOTS-CLÉS : terre-allégée, terre crue, variabilités, consistance, rhéologie, VBS .

KEY WORDS: light-earth, raw earth, variabilities, consistency, rheology, MBV.

1. Introduction

Des efforts importants sont menés depuis plusieurs années pour réduire la consommation d'énergie durant la vie d'un bâtiment mais au prix d'un surcoût en énergie grise. En prenant en compte le cycle de vie entier d'un bâtiment, le choix d'un système d'isolation efficace et ayant une énergie grise faible est indispensable [THO 06]. De plus, l'impact environnemental peut être réduit grâce à l'utilisation de matériaux locaux, ainsi qu'au développement de circuits courts de distribution et à l'engagement d'artisans ayant un savoir-faire en lien avec les méthodes constructives traditionnelles [MOR 01 ; FLOI 09]. Ces méthodes sont peu énergivores et permettent d'utiliser des matériaux premiers. Dans ce contexte, les isolants contenant des matériaux bio-sourcés, tel que le chaux-chanvre, gagnent en intérêt et sont le sujet de nombreuses études scientifiques [CER 05 ; COL 15 ; HUN 12 ; TRO 12]. Cependant, la part de « non biosourcé » (chaux) dans l'impact environnemental du matériau n'est pas négligeable. La substitution de la chaux par la terre comme liant dans le béton de chanvre permet de diviser par 20 l'énergie grise des systèmes d'isolation [KEE 05] et par 5 l'impact carbone [BUS 09]. En effet, les constructions terre nécessitent peu de transport de matériaux car la terre vient du site de construction ou d'une filière locale. Aussi, utiliser la terre évite dans la plupart des cas les processus de transformation [KEE 05]. N'ayant pas de réaction chimique, le matériau est réversible et peut être réutilisé ensuite pour de nouvelles constructions. Néanmoins, la terre crue présente des variabilités en fonction de son lieu d'extraction : granulométrie, type d'argile et composition chimique, entre autres. Jusqu'à aujourd'hui, ce sont les artisans qui, grâce à leur savoir-faire, s'assurent de la compatibilité d'une terre avec un mode constructif. La présente étude ne vise pas à remplacer ce savoir-faire, mais à le compléter par des essais de laboratoire et de terrain. L'objectif est d'améliorer la compréhension du comportement de la terre-crue sous forme de barbotine (mélange de terre et d'eau) pour la construction en terre allégée. Ce document présente une étude de la variabilité de terres disponibles localement, ainsi que l'influence de cette variabilité sur le comportement rhéologique de barbotines. Une attention particulière est portée sur les liens entre les caractéristiques géotechniques des terres et les mesures de seuil de cisaillement sur chantier.

2. Matériaux et méthodes

2.1. Terres utilisées et caractérisations

La collecte d'échantillons de terre a été réalisée avec un objectif : observer une plage importante de variabilité des terres. Pour ce faire, différents lieux de collecte ont été choisis : dans des carrières, où il est possible de récupérer des terres brutes ou des boues de lavage ; chez des particuliers, où la terre a pu être utilisée pour la réalisation d'un élément de leur habitation ; auprès d'artisans, où leur expertise a favorisé le choix d'une terre à caractère « extrême ». Ainsi, 26 terres ont été récupérées dans 10 départements du grand ouest de la France. Parmi ces terres, 10 proviennent de carrières (8 terres brutes, 1 produit en sac et 1 boue de lavage) et les 16 autres ont été données par des particuliers ou des artisans.

Pour permettre l'observation simple et rapide de la variabilité de l'ensemble des terres collectées, une matrice de consistance reliant chaque terre à différentes teneurs en eau a été réalisée. Le protocole choisi est le suivant : la terre est d'abord séchée à 50°C, puis réduite à l'état de poudre à l'aide d'un mortier. Puis, à l'aide d'un malaxeur à mortier de laboratoire, des mélanges à quatre teneurs en eau (15%, 30%, 45% et 60%) sont préparés. Pour finir, ces mélanges sont disposés au sol à l'aide d'un moule cylindrique. Cet essai permet de mettre en évidence deux caractéristiques : l'activité argileuse et la granulométrie.

Des essais de caractérisation plus précis ont été réalisés sur chaque terre. La granulométrie a été quantifiée par granulométrie laser selon la norme ISO 13320:2009 pour les fractions fines et par tamisage selon la norme NF P94-056 pour les fractions grossières. La valeur au bleu et l'activité des argiles ont été mesurées selon la norme NF P94-068. Le poids spécifique des grains a été étudié au pycnomètre à eau selon la NF P94-054. Enfin, les limites d'Atterberg ont été mesurées à l'aide d'un pénétromètre [FEN 01]. Les résultats de ces essais permettront de confronter une analyse de laboratoire à l'observation qualitative de la matrice des consistances.

2.2. Méthodes de caractérisation et de préparation des barbotines

La barbotine est un mélange de terre et d'eau fabriqué à l'état liquide. La mise en suspension des argiles permet de répartir le liant afin d'obtenir un ensemble liant-fibre homogène.

L'étude du comportement rhéologique vise particulièrement à traduire l'effet liant d'une barbotine par son seuil de cisaillement. Trois méthodes nous permettent de caractériser le comportement rhéologique des barbotines. Le test du gant, présenté en figure 1, est un essai qualitatif consistant à plonger la main dans le mélange puis à observer la tenue du mélange sur la main. L'essai de la plaque, aussi présenté en figure 1, représente une analogie

au test du gant. C'est un essai quantitatif de chantier qui évalue la contrainte créée par la masse de barbotine collée à une surface définie. Il est utilisé ici pour l'estimation du seuil de cisaillement pendant la fabrication. Le cylindre est trempé dans le mélange puis pesé, l'essai est répété 3 fois. Cet essai a été utilisé pour la caractérisation rhéologique de pâte cimentaire [LOM 85], il a été adapté à notre étude. Enfin, un essai quantitatif de laboratoire est réalisé au rhéomètre. Il est équipé d'une géométrie Vane à 6 pales ($h = 6\text{cm}$, $L = 3\text{cm}$). Une vitesse angulaire de 0.5s^{-1} est imposée, et une mesure du couple toutes les 2 secondes est effectuée jusqu'à stabilisation du couple. Le seuil de cisaillement est calculé à partir de couple maximum mesuré, et la mesure est répétée 3 fois.

La barbotine est réalisée à l'aide d'un malaxeur à mortier. Dans un premier temps, une quantité importante de mélange est fabriqué avec une teneur en eau suffisante pour permettre un tamisage à 2mm. Le seuil de cisaillement de cette première barbotine est estimé. Puis de l'eau est ajoutée successivement pour atteindre un seuil de cisaillement voisin de 5 Pa. Une fois ce seuil atteint, la teneur en eau de la barbotine est mesurée.



Figure 1 : À gauche, test du gant. À droite, essai de la plaque

3. Résultats et discussion

3.1. Matrice des consistances et caractérisation géotechnique

La figure 2 présente 12 des 26 terres étudiées et permet d'observer différents états de la matière selon différentes teneurs en eau. Quatre états se distinguent : Tas, empilement stable, boue et étalement avec lavage des argiles. L'analyse du résultat est uniquement visuelle et qualitative, mais permet de classer les terres en trois grandes familles : faible, moyenne et forte activité argileuse. Par exemple, lorsque l'état de lavage des argiles est atteint rapidement, la terre est classée dans la famille faible activité argileuse. À l'inverse, lorsque cet état de lavage des argiles se révèle tardif ou n'est pas atteint, la terre est considérée comme ayant une forte activité argileuse.

Pour les extrêmes, le classement visuel est vérifié par la caractérisation géotechnique. La terre 50-LIEU-SABLE est classée en activité argileuse faible : elle présente une VBS égale à $0.7\text{g}/100\text{g}$ et un D_{50} de 0.80 mm . La terre 50-LIEU-ROUGE est classée en activité argileuse forte : elle présente une VBS égale à $5.0\text{g}/100\text{g}$ et un D_{50} de 0.03 mm .



Figure 2 : Classement selon l'activité argileuse apparente de 12 terres issues de la matrice des consistances

3.2. Essais rhéologiques et caractérisation géotechnique

Pour cette partie d'étude, nous avons choisi 5 terres. Parmi celles-ci, 3 sont classées visuellement à une activité argileuse forte, 1 à moyenne activité argileuse et 1 à faible activité argileuse. À partir de ces terres, 5 barbotines sont fabriquées à seuils de cisaillement du même ordre de grandeur. La figure 3a présente la corrélation entre seuil de cisaillement mesuré au rhéomètre et VBS. Plus la VBS est haute, plus le seuil de cisaillement est important,

mais l'évolution n'est pas strictement linéaire et semble dépendre d'autres paramètres. Selon la figure 3b, la granulométrie semble affecter le seuil de cisaillement à partir d'un certain seuil. Toutefois, l'analyse de ce résultat nécessiterait plus de points de mesure.

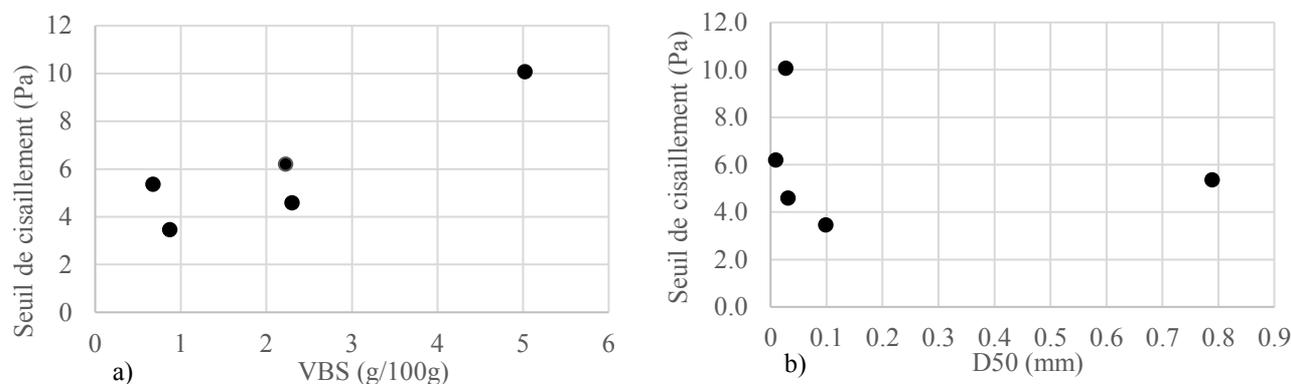


Figure 3 : a) Évolution du seuil de cisaillement des barbotines mesuré au rhéomètre en fonction de la valeur au bleu de méthylène des terres correspondantes ; b) Influence de la granulométrie sur la mesure de seuil de cisaillement.

Enfin, pour un seuil de cisaillement mesuré à l'essai de la plaque à 5 Pa, les résultats au rhéomètre varient entre 3.5 et 10Pa, soit une erreur variant de 10 à 100%. Des essais mécaniques sur les mélanges terre-chanvre permettront par la suite d'évaluer l'influence de cette erreur sur la performance du matériau.

4. Conclusion

Les essais géotechniques ont principalement montré que l'ensemble des terres représente une plage de variabilité conséquente sur tous les plans. La matrice des consistances apporte des informations non-négligeable. Ainsi, elle permet de lier grossièrement la consistance, fonction de la teneur en eau, avec VBS et granulométrie. Quant à la mesure de chantier du seuil de cisaillement par essai de la plaque, la variabilité des terres semble affecter la mesure. Les influences de l'activité argileuse et de la granulométrie sont observables mais non quantifiable à ce stade de notre étude. Des précautions s'imposent puisque seulement 5 terres ont été analysées. D'une part, nous envisageons d'établir un essai robuste d'estimation du seuil de cisaillement et d'autre part, grâce aux résultats tirés de cette étude, observer la possibilité de lier le seuil de cisaillement d'une barbotine et la résistance mécanique d'échantillons de terre-chanvre.

5. Bibliographie

- [CER 05] CERESO, V. Propriétés Mécaniques, Thermiques et Acoustiques D'un Matériau À Base de Particules Végétales : Approche Expérimentale et Modélisation Théorique, Thèse de doctorat, INSA Lyon, 2005
- [COL 15] COLINART, T, LELIEVRE D, AND GLOUANNEC P. Experimental and Numerical Analysis of the Transient Hygrothermal behavior of Multilayered Hemp Concrete Wall, *Energy and Buildings* 112 1–11, 2015
- [FEN 01] FENG T-W, A linear log d – log w model for the determination of consistency limits of soils, *Geotech. J.* 38: 1335–1342, Canada, 2001
- [FLOI 09] FLOISSAC L, MARCOM A, COLAS A-N, BUI Q-B, AND MOREL J-C, How to Assess the Sustainability of Building Construction Processes, *In Fifth Urban Research Symposium*, 2009
- [HUN 12] HUNG PHAM, T, FÉREC J, PICANDET V, TRONET P, COSTA J, AND PILVIN P. 'Étude expérimentale et numérique de la conductivité thermique d'un composite chaux–chanvre'. *Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry*, Savoie, 2012
- [KEE 05] KEEFE, L, *Earth Building - Methods and Materials, Repair and Conservation*. Abingdon (UK): Taylor & Francis Group, 2005
- [LOM 85] LOMBARDI, G, The role of cohesion in cement grouting of rock, *Quinzième Congrès des Grands Barrages*, Lausanne, Suisse, 1985.
- [MOR 01] MOREL J-C, MESBAH A, OGGERO M, AND WALKER P, Building Houses with Local Materials: Means to Drastically Reduce the Environmental Impact of Construction, *Building and Environment* 36 (10), 2001
- [THO 06] THORMARK, C., The Effect of Material Choice on the Total Energy Need and Recycling Potential of a Building, *Building and Environment* 41 (8), 2006
- [TRO 12] TRONET P, LECOMPTE T, PICANDET V, BALEY C. Compression de blocs de chanvre : mesure du frottement, de la compressibilité et de la transmission des contraintes, *Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry*, Savoie, 2012