

Influence de l'âge sur le comportement à la rupture des bétons de terre à l'aide de la technique d'émission acoustique

Nathalie Kouta ¹, Jacqueline Saliba¹, Nadia Saiyouri¹

¹ Université de Bordeaux, UMR 5295, Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M), CNRS, Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Talence, France.

RESUME Dans cette étude, l'effet de l'âge sur le comportement à la rupture des bétons de terre avec et sans fibres de lin a été étudié. Des essais de flexion trois points ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques avec différents pourcentages (0%, 0,3% et 0,6%) et longueurs (12 mm, 24 mm, 50 mm) de fibres de lin à 28 et 180 jours. La technique d'émission acoustique a été utilisée afin de mieux comprendre le processus de rupture. Les résultats montrent que les propriétés mécaniques augmentent avec l'âge du béton de terre. L'ajout des fibres de lin améliore la ductilité du matériau. L'activité acoustique a augmenté avec l'ajout de fibres ainsi qu'avec l'âge dû au renforcement générant des mécanismes d'endommagement supplémentaires et au durcissement du béton de terre. De plus, une bonne corrélation a été observée entre l'énergie de rupture et l'énergie acoustique détectée.

Mots-clefs Béton de terre, fibres de lin, âge, émission acoustique.

I. INTRODUCTION

Le secteur de la construction est responsable de 50 % des émissions mondiales annuelles de dioxyde de carbone, d'où le besoin d'un matériau alternatif écologique et durable comme le béton de terre. Ce sont des bétons à base de sols stabilisés avec des liants qui permettent d'améliorer les propriétés mécaniques. La résistance de compression et de flexion du sol traité augmente au fur et à mesure que la période de durcissement s'allonge, en raison des réactions pouzzolaniques dépendantes du temps (Ngo et al., 2020). Ce résultat est attribué au fait que les hydrates formés lient les particules de sol entre elles et leur confèrent une structure matricielle plus compacte ; ce qui limite considérablement le réarrangement des particules à l'interface et augmente la zone de contact efficace inter faciale. Les hydrates, qui recouvrent la surface des fibres, permettent aussi d'améliorer les caractéristiques des liaisons inter faciales et augmenter la force de frottement entre les fibres et la matrice (Khattab et al., 2007).

L'ajout des fibres naturelles aux bétons de terre a été utilisé depuis longtemps. Les fibres permettent d'améliorer considérablement les propriétés mécaniques et plus particulièrement la résistance à la traction ainsi que la ductilité des bétons (Kouta et al., 2020a). De plus, l'utilisation des fibres naturelles permet de réduire les fissurations induites par le retrait plastique (Kouta et al., 2020b) et

rend le mortier un meilleur isolant thermique et acoustique. Des fibres de lin, naturels, écologiques, sans effet nocif sur l'environnement même après leur dégradation avec un avantage économique par rapport aux fibres synthétiques ont été utilisées dans cette étude. Ces fibres sont très flexibles en raison du rapport longueur/diamètre élevé et ont une bonne résistance à la traction.

L'utilisation de la technique d'émission acoustique peut être efficace afin de suivre l'évolution de l'endommagement en étudiant la variation temporelle de l'activité acoustique ainsi les paramètres des signaux acoustiques lors du chargement (Saliba and Mezhoud, 2019).

L'objectif principal de cette étude est d'étudier l'effet de l'âge sur les propriétés mécaniques et le comportement à la rupture des bétons de terre avec différents longueurs et pourcentages de fibres de lin. Dans un premier temps, les matériaux et la procédure expérimentale seront présentés. Ensuite, les résultats des essais de flexion 3 points sont exposés. Finalement, les données d'émission acoustique seront analysées pour une meilleure compréhension des mécanismes d'endommagement.

II. MATERIAUX ET PROCEDURE EXPERIMENTALE

A. Matériaux et formulations

Le sol utilisé dans cette étude est un sol artificiel afin de limiter la variabilité des sols naturels et mieux comprendre les mécanismes physiques. Le sol artificiel est composé de 30% de bentonite (75% smectites, 15% illite et 10% de kaolinite) et de 70% de sable afin d'avoir une bonne compacité. Ce mélange est traité par deux types de liants hydrauliques la chaux et le ciment afin d'améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité de ces bétons de terre. La chaux utilisée est une chaux hydraulique (NHL5) selon la norme européenne EN 459-1 avec un pourcentage de 3% du mélange sable-argile (Khattab et al., 2007). Le ciment utilisé est un ciment CEM I 52.5 N PM-CP2 conforme à la norme NF EN 197-1, avec un pourcentage de 8% de la masse de la formulation (Anagnostopoulos, 2015). Suite au mélange des différents composants du béton de terre, différents pourcentages (0 ; 0,3 et 0,6%) de fibres de lin de 12 mm de longueurs ont été ajoutés.

B. Procédure expérimentale

Les essais de flexion trois points ont été réalisés sur des éprouvettes $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$. Les éprouvettes ont été démoulées après 48 heures et conservées à une humidité relative de 90 % et à une température de 20°C. Les essais de flexion ont été réalisés à 28 et 180 jours. Les essais mécaniques ont été effectués à l'aide d'une machine électromécanique d'une capacité de 100 kN. Ces essais ont été pilotés avec le déplacement du vérin avec une vitesse de 0,1 mm/min à température ambiante. Trois éprouvettes ont été testées pour chaque mélange à l'âge de 28 et 180 jours. Ces essais ont été suivis en parallèle avec la technique la technique d'émission acoustique, afin d'étudier l'évolution de l'endommagement (Boniface et al., 2020). Le système d'acquisition AEWIN, ayant huit voies et un système d'analyse de stockage de données, est utilisé. 6 capteurs piézoélectriques de type R15a ont été utilisés. Les capteurs ont été placés sur deux côtés opposés de l'éprouvette à l'aide d'une fine couche de graisse de silicone pour assurer un bon couplage et la transmission des signaux d'EA entre l'éprouvette et les capteurs. Les signaux détectés ont été amplifiés avec un amplificateur différentiel de 40 dB. Le seuil de détection est fixé à 35 dB pour éviter les bruits.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

A. Effet des fibres et de l'âge sur l'activité acoustique

La Figure 1 présente la corrélation entre la force, le nombre cumulé de signaux d'émission acoustique et l'amplitude pour les essais de flexion réalisés pour les mélanges avec 0 et 0,6% de fibres de 12 mm à 28 et 180 jours.

Pour la formulation sans fibre et pour les différents temps de cure, la force augmente linéairement en fonction de la flèche au début jusqu'à la charge maximale. Après le pic, la force diminue rapidement indiquant un comportement fragile. L'activité acoustique est faible dans la phase élastique, avec quelques signaux qui peuvent être dû à l'écrasement du béton de terre au niveau du contact avec le vérin, et augmente rapidement au niveau du pic avec des signaux de fortes amplitudes indiquant la propagation instable de la fissure avec un comportement fragile. Le nombre cumulé des signaux est plus important à 180 jours ce qui peut être dû à la meilleure résistance du béton de terre à cet âge avec un nombre de signaux plus important dans la partie post pic.

Pour les formulations avec fibres, un comportement élastique a été aussi observé au début suivi d'une première chute de résistance indiquant le développement d'une fissure près du pic dans la matrice du béton de terre (Mesbah et al., 2004). A partir d'un certain moment, les fibres de lin commencent à reprendre les efforts et la force augmente de nouveau légèrement avec une phase non linéaire. Dans les cas des essais réalisés à 180 jours, la chute de résistance est plus faible en comparaison avec les essais réalisés à 28 jours. De plus, après cette chute de résistance, la reprise de force est encore plus importante que le premier pic. Ceci indique un meilleur transfert de l'effort et donc une amélioration de l'adhésion entre les fibres et la matrice. L'activité acoustique est aussi faible dans la phase élastique et augmente lentement dans la phase non linéaire (avant le pic) indiquant le développement des microfissures avec des signaux de faibles amplitudes. Le taux de l'activité acoustique augmente rapidement après le pic indiquant la propagation d'une macro-fissure. Le nombre cumulé des signaux est important en comparaison avec les éprouvettes sans fibres. De plus, les amplitudes des signaux sont plus élevées. Ceci peut être dû à des mécanismes d'endommagement additionnels tels que le pontage de la fissure, l'arrachement et le frottement des fibres au niveau de l'interface fibres/matrice. Le taux de l'activité acoustique augmente aussi avec le temps de cure. A partir d'environ 50% après le pic, le taux diminue indiquant la propagation stable de la fissure.

Pour résumer, l'activité acoustique du béton de terre augmente avec l'ajout des fibres et le temps de cure. Cette augmentation est liée au renforcement et au durcissement du béton de terre. En effet, plus le pourcentage des fibres augmente, plus les points de pontage au niveau de la fissure augmentent générant ainsi une activité acoustique supplémentaire (Soulioti et al., 2009). De plus, les réactions pouzzolaniques liées à la présence de la chaux aboutissent à la formation de nouveaux hydrates. Ces hydrates permettent d'augmenter la force de cohésion entre les particules d'argile ainsi que la cohésion entre les fibres et la matrice et ainsi d'améliorer la résistance en flexion (Jörg Müller, 2005). L'augmentation de l'activité acoustique est encore plus significative pour les formulations avec des fibres de lin.

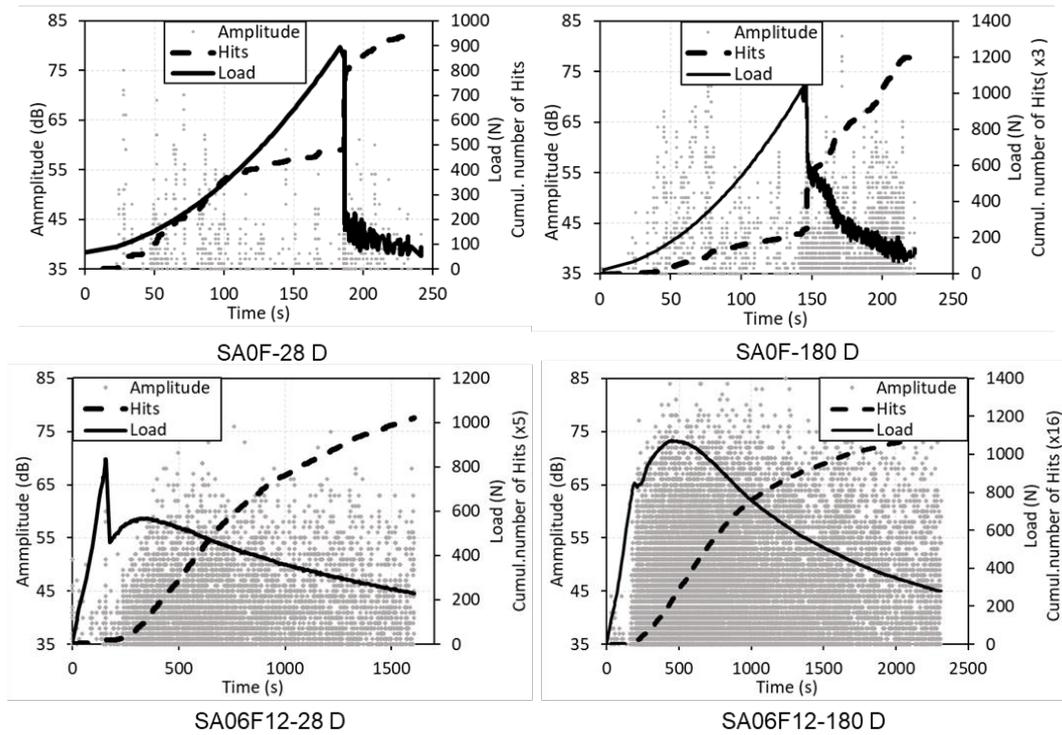


FIGURE 1. Corrélation entre la force, le nombre cumulé et l’amplitude des signaux pour SA0F et SA06F12 du béton de terre à l’âge de 28 et 180 jours.

L’énergie de fissuration a été aussi calculée en considérant la surface au-dessous de la courbe force-flèche. La figure 2 présente l’énergie de fissuration ainsi que l’énergie acoustique cumulée pour les différentes formulations du béton de terre à l’âge de 28 et 180 jours. Les résultats montrent une augmentation de l’énergie de fissuration ainsi que l’énergie acoustique détectée du béton de terre avec le temps de cure indiquant une bonne corrélation entre les deux types d’énergie. Une augmentation significative a été aussi observée avec le pourcentage et la longueur des fibres. Ceci indique une plus grande absorption d’énergie et une grande ductilité avec l’ajout de fibres limitant ainsi la propagation des fissures. Cette absorption d’énergie est liée aux différents mécanismes de redistribution des contraintes, du pontage, du transfert de la charge entre les fibres et la matrice dans la zone fissurée avec une augmentation du frottement à l’interface fibres – matrice (Saliba and Mezhoud, 2019).

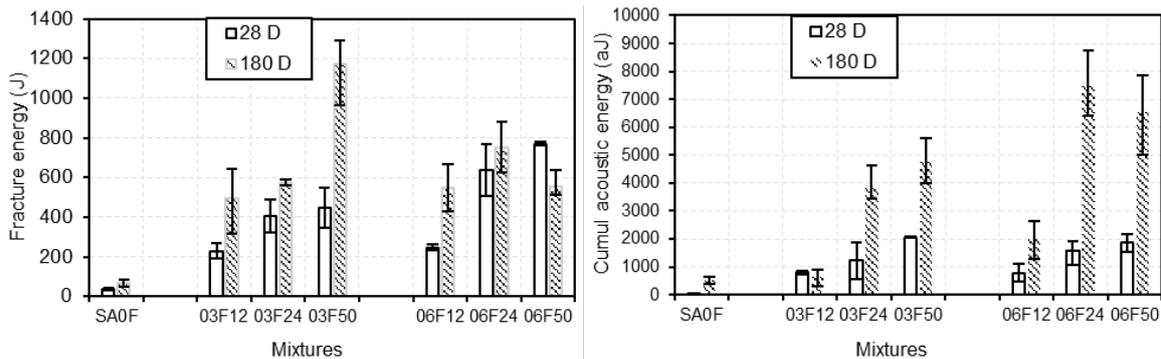


FIGURE 2. Effet des fibres et du temps de cure sur l’énergie de rupture et l’énergie acoustique.

IV. CONCLUSIONS

Dans cette étude, l'effet des fibres et le temps de cure sur le comportement en flexion du béton de terre a été étudié. Les résultats ont montré l'efficacité de la technique d'émission acoustique afin de suivre l'évolution de l'endommagement et mieux comprendre les différents mécanismes de fissuration. L'activité acoustique augmente avec l'ajout des fibres et le temps de cure des éprouvettes. Ceci est dû à l'augmentation de la résistance du béton de terre qui continue à durcir suite aux différentes réactions chimiques à long terme qui augmente la cohésion au niveau de la matrice ainsi qu'à l'interface matrice / fibres. L'ajout de fibres de lin permet aussi d'améliorer la ductilité du béton dû à la redistribution des efforts et à l'effet de pontage des fibres générant ainsi une activité acoustique additionnelle. Une étude supplémentaire sera réalisée par la suite afin de classer les différents mécanismes d'endommagement en se basant sur une analyse statistique multi variable.

REFERENCES

- Anagnostopoulos, C.A., 2015. Strength properties of an epoxy resin and cement-stabilized silty clay soil. *Appl. Clay Sci.* 114, 517–529. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.07.007>
- Jörg Müller, C., 2005. Pozzolanic Activity of Natural Clay Minerals with Respect to Environmental Geotechnics 125. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-005142316>
- Khattab, S.A., Al-Mukhtar, M., Fleureau, J.M., 2007. Long-term stability characteristics of a lime-treated plastic soil. *J. Mater. Civ. Eng.* 19, 358–366.
- Kouta, N., Saliba, J., Saiyouri, N., 2020a. Fracture behavior of flax fibers reinforced earth concrete. *Eng. Fract. Mech.* 241, 107378. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107378>
- Kouta, N., Saliba, J., Saiyouri, N., 2020b. Effect of flax fibers on early age shrinkage and cracking of earth concrete. *Constr. Build. Mater.* 254, 119315. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119315>
- Mesbah, A., Morel, J.C., Walker, P., Ghavami, K., 2004. Development of a direct tensile test for compacted earth blocks reinforced with natural fibers. *J. Mater. Civ. Eng.* 95–98.
- Ngo, D.C., Saliba, J., Saiyouri, N., Sbartaï, Z.M., 2020. Design of a soil concrete as a new building material – Effect of clay and hemp proportions. *J. Build. Eng.* 32, 101553. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101553>
- Saliba, J., Mezhoud, D., 2019. Monitoring of steel-concrete bond with the acoustic emission technique. *Theor. Appl. Fract. Mech.* 100, 416–425. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2019.01.034>
- Soulioti, D., Barkoula, N.M., Paipetis, A., Matikas, T.E., Shiotani, T., Aggelis, D.G., 2009. Acoustic emission behavior of steel fibre reinforced concrete under bending. *Constr. Build. Mater.* 23, 3532–3536. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.042>
- A. Boniface, J. Saliba, Z.M. Sbartaï, N. Ranaivomanana, J-P. Balayssac, « Evaluation of the acoustic emission 3D localisation accuracy for the mechanical damage monitoring in concrete », *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 223, 2020