



HAL
open science

Formulation d'un béton de terre en Guyane

Lily Walter

► **To cite this version:**

Lily Walter. Formulation d'un béton de terre en Guyane. Lemag', 2024, Dossier : Les technologies innovantes en environnement amazonien et technologies bio-inspirées (n°14), pp.44-49. hal-04812443

HAL Id: hal-04812443

<https://univ-guyane.hal.science/hal-04812443v1>

Submitted on 30 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

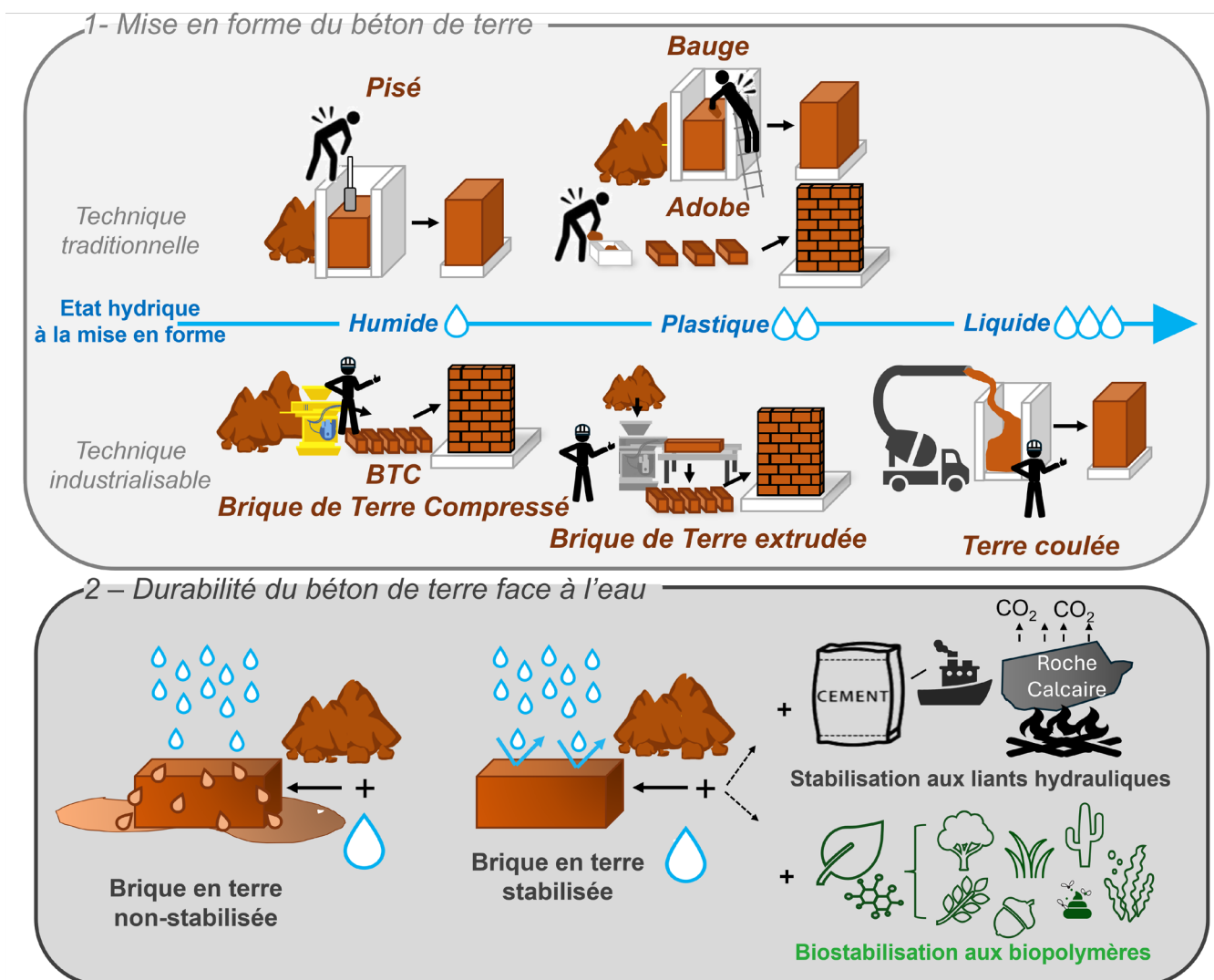
TECHNIQUE

FORMULATION D'UN BÉTON DE TERRE EN GUYANE

A l'intersection de la science du sol, du génie civil et de la chimie des substances naturelles, les travaux menés par Lily Walter s'intéressent au béton de terre, alternative écologique à l'utilisation du ciment. Pour faciliter la mise en forme du matériau et garantir des performances de durabilité, l'utilisation d'extraits végétaux peut être une technique efficace. Cependant, la maîtrise de la variabilité des sols et des extraits végétaux dans la formulation représente un enjeu majeur pour son industrialisation.

par Lily Walter
Docteur en Chimie de l'Université de Guyane, Ecole Doctorale n°1037
à l'Université de Guyane

Figure 1 – Techniques traditionnelles et industrialisables de mise en forme du béton de terre en fonction de l'état hydrique du mélange (1), Durabilité du béton de terre : différents types de stabilisation (2)



L'explosion démographique en Guyane entraîne une forte demande en logements individuels et collectifs. En Guyane, le coût économique et environnemental de la construction est particulièrement élevé, principalement en raison de l'importation des matériaux de construction tels que le clinker, composant principal du ciment. De plus, l'utilisation du ciment est responsable d'environ 8 % des émissions mondiales de CO₂. Il est donc crucial de limiter drastiquement son utilisation pour atteindre les objectifs de l'accord de Paris et parvenir à une neutralité carbone d'ici 2050.

Le béton de terre, une alternative locale et écologique

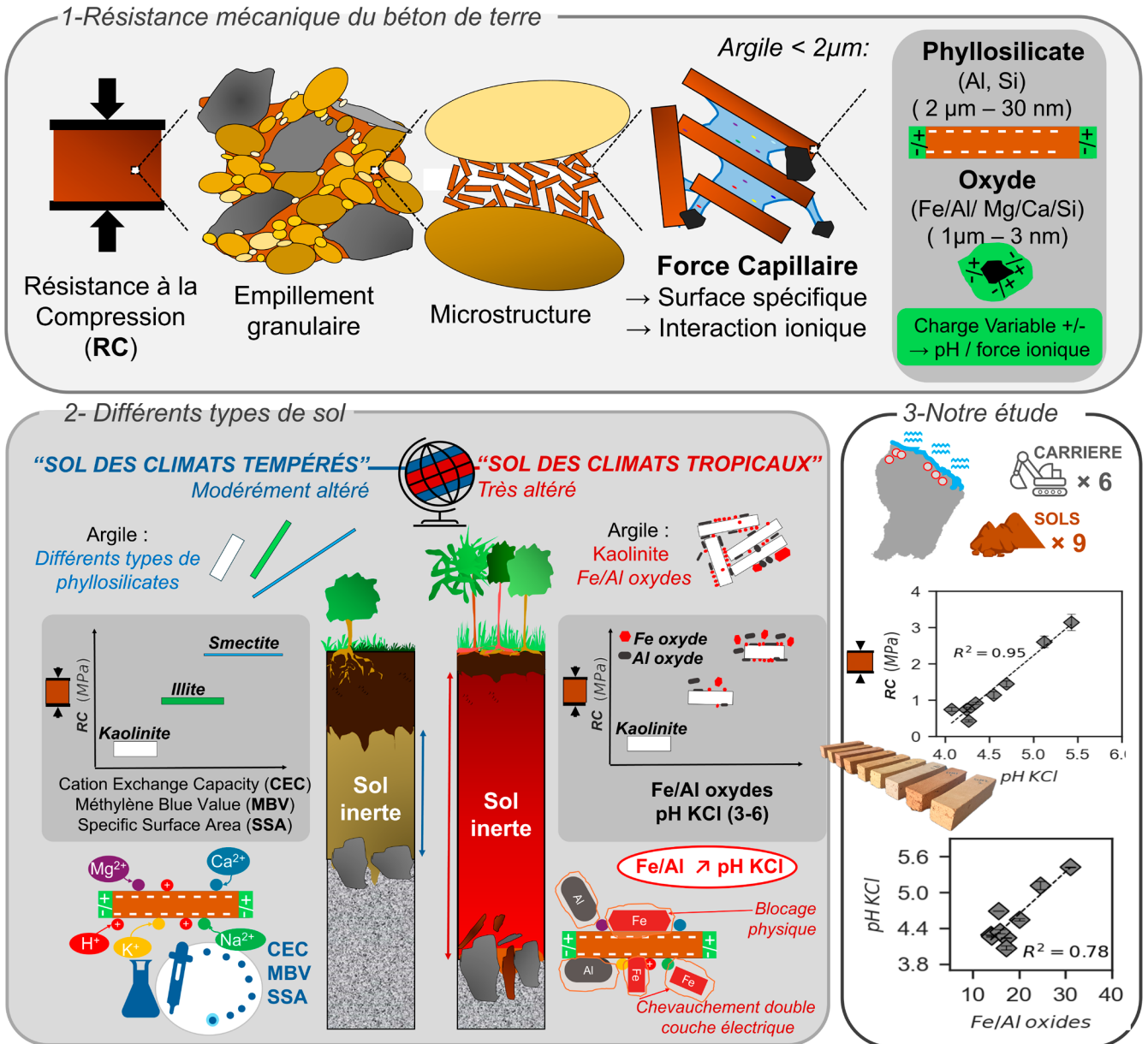
Le béton de terre est utilisé comme matériau de construction depuis des milliers d'années. Il est principalement composé de sol inerte provenant de terres d'excavation ou de carrières. Les grains grossiers – graviers, sable, limon – sont liés ensemble dans une matrice argileuse constituée des particules les plus fines (<2 µm). Pour le mettre en forme, on mélange le sol avec de l'eau qui, après un séchage naturel, acquiert sa résistance. Ce matériau offre de nombreux avantages pour la construction, permettant de réaliser des bâtiments de plusieurs étages, durables, avec un excellent confort hygrothermique et une bonne qualité de l'air.

La mise en forme du béton de terre

(Figure 1.1)

En mélangeant le sol avec de l'eau, on obtient une matière malléable qui peut être façonnée selon diverses techniques, en fonction de la quantité d'eau ajoutée au mélange. Les méthodes traditionnelles structurales telles que le pisé, l'adobe, ou la bauge sont coûteuses en temps et en effort physique pour les ouvriers, ce qui a limité leur utilisation depuis l'émergence du béton de ciment au début du XX^e siècle. Aujourd'hui, des techniques industrialisables telles que les Briques de Terre Compressée (BTC) ou les briques de terre extrudée sont maîtrisées et utilisées mondialement. Une technique industrialisable récente, la terre coulée, semble

Figure 2 - Résistance mécanique du béton de terre (1). Différents types de sols en fonction de l'histoire climatique (2). Corrélation entre la résistance à la compression des briques de terre, le pH KCl des sols et la proportion d'oxydes de fer et d'aluminium sur 9 échantillons de sols collectés dans des carrières de latérite sur le littoral de la Guyane (3).



particulièrement prometteuse. Cette méthode consiste à mettre en forme le béton de terre à l'état liquide, de manière similaire au béton de ciment.

La durabilité du béton de terre

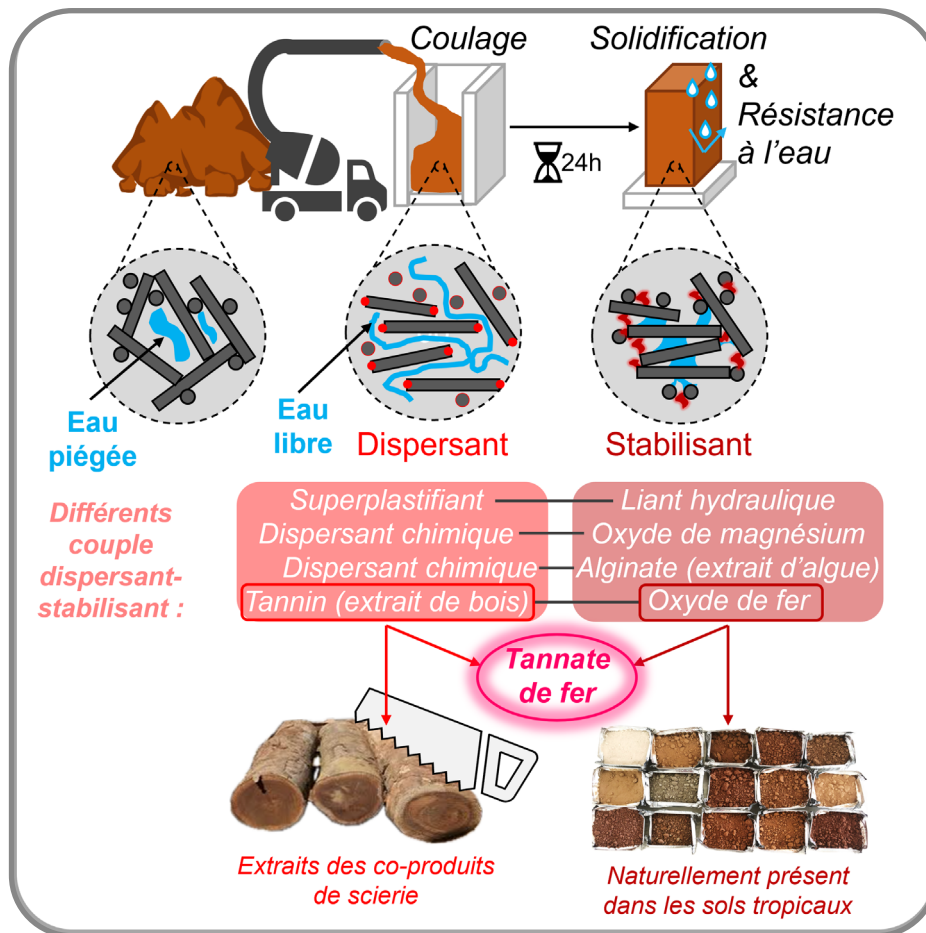
(Figure 1.2)

Pour améliorer la résistance à l'eau des matériaux en terre, une stabilisation est nécessaire. Cette stabilisation est généralement réalisée à l'aide de liants hydrauliques tels que le ciment ou la chaux, avec une proportion de 5 à 10 % de ciment par rapport à la masse du sol, ce qui entraîne une augmentation des coûts économiques et environnementaux

La terre coulée, formulée à base d'extraits de bois et de sols tropicaux, présente un grand potentiel en tant que matériau de construction structurel en Guyane. ”

1. Une alternative durable est la biostabilisation du béton de terre à l'aide de biopolymères. Ce sont des macromolécules organiques d'origines diverses, sélectionnées en fonction des ressources locales disponibles, telles que des extraits de bois, des mucilages de cactus et de végétaux, des excréments d'animaux, des algues ou des fibres végétales 2. L'efficacité de cette méthode, éprouvée par des siècles d'utilisation dans les pratiques traditionnelles, repose sur des interactions complexes entre les biopolymères et les particules du sol. Toutefois, l'industrialisation de ces matériaux reste limitée en raison des défis liés à la gestion de la variabilité et à la compatibilité entre le sol et les biopolymères.

Figure 3 - Terre coulée



Les résistances des matériaux en terre

(Figure 2.1)

Mâîtriser la résistance des matériaux en terre représente un enjeu crucial pour leur démocratisation et leur industrialisation à grande échelle. En l'absence de stabilisation, la résistance mécanique des matériaux en terre est attribuée aux interactions entre les particules du sol, notamment aux forces capillaires entre les grains. Cette résistance est influencée par plusieurs facteurs, tels que la taille des particules du sol, la microstructure de l'argile et ses propriétés spécifiques, notamment la surface spécifique et les interactions ioniques. L'argile se compose de deux types de minéraux : les phyllosilicates et les oxydes. Les phyllosilicates portent une charge négative permanente sur leur face basale et une charge variable sur leur bord, dépendant du pH et de la force ionique du sol. En revanche, les oxydes ne portent que des charges variables.



photo fournie par l'auteure

La spécificité entre sol tropical et sol tempéré

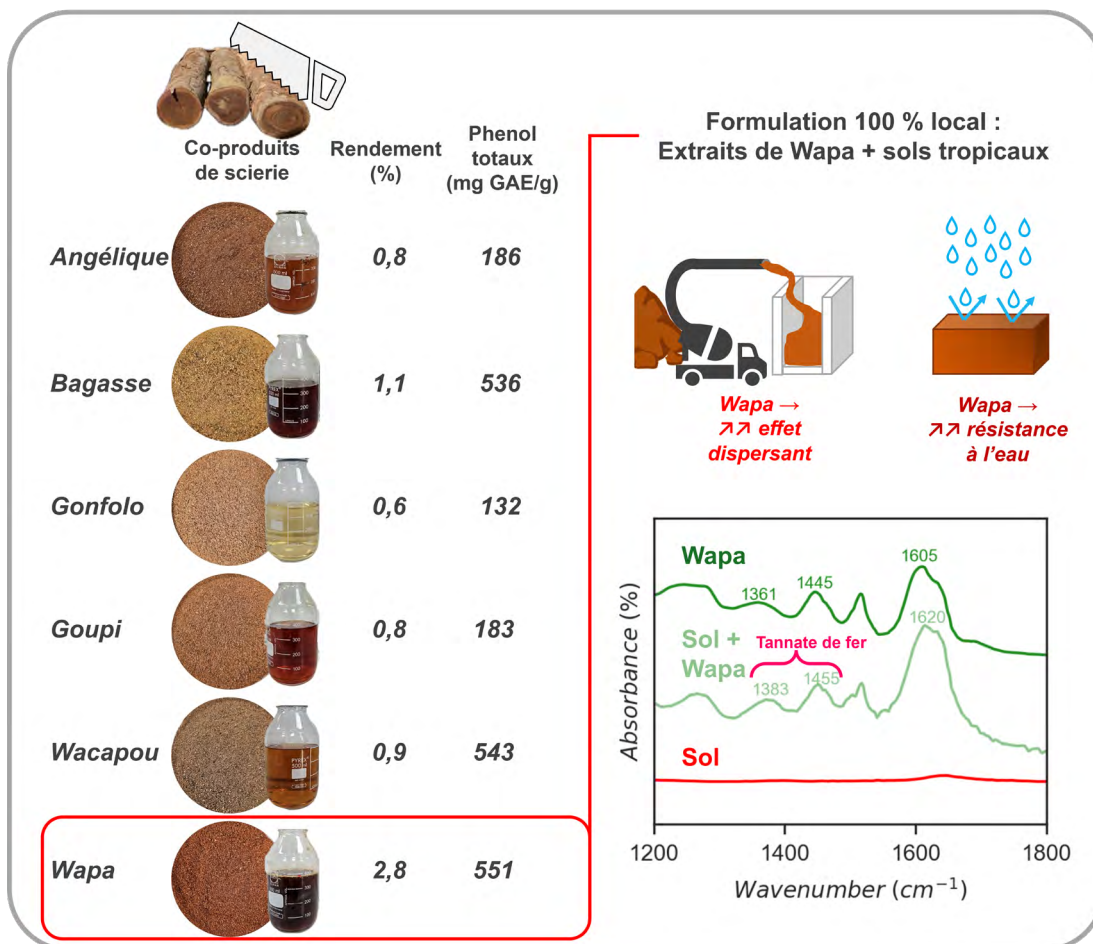
(Figure 2.2/3)

La plupart des études sur les matériaux en terre se sont concentrées sur les sols de climat tempéré, ce qui a entraîné des recommandations inadaptées aux particularités des sols tropicaux, comme ceux de la Guyane. Les sols résultent de processus complexes d'altération de la roche mère sur des millions d'années et sont largement influencés par l'histoire climatique. En général, les sols des

BIOGRAPHIE

Lily Walter, ingénieure, est doctorante à l'Université de Guyane, où elle mène ses recherches depuis avril 2021 sous la direction de Ouahcène Nait-Rabah (UMR EcoFog) et Laurent Linguet (UMR EspaceDev). Son projet de thèse, intitulé « Formulation et caractérisation d'un béton de terre local incorporant des substances végétales tropicales », se situe à l'intersection de la pédologie, de la géotechnique, du génie civil et de la chimie des substances naturelles. Lily est passionnée par la construction durable et rêve d'une Guyane où les bâtiments seraient construits avec des matériaux locaux respectueux de l'environnement, des travailleurs et des habitants.

Figure 4 - Formulation terre coulée 100% local



climats tempérés sont modérément altérés, avec une matrice argileuse principalement composée de différents phyllosilicates tels que la kaolinite, l'illite et la smectite. Les recherches ont montré que la résistance mécanique de ces matériaux en terre était largement influencée par le type de phyllosilicate, leur surface spécifique et leur échange cationique. Récemment, l'essai au bleu de méthylène, une méthode simple et couramment utilisée dans les études de sols, a démontré sa capacité à estimer de manière précise la résistance mécanique de ces matériaux en terre ³.

Les sols tropicaux, comme en Guyane, sont généralement très altérés, avec une matrice argileuse principalement composée de kaolinite, d'oxyde de fer et d'aluminium. Ils présentent un pH acide et un faible échange cationique. La résistance mécanique de ces matériaux en terre tropicale provient de la quantité et de la réactivité

des oxydes de fer et d'aluminium agissant comme des cimentés naturels ^{4 5}. Nos travaux ont confirmé la corrélation entre la proportion d'oxyde métallique et la résistance à la compression ^{6 7}. De plus, nous avons observé que l'acidité de ces sols (pH KCl) était fortement corrélée avec la proportion d'oxydes métalliques et la résistance à la compression (Figure 2-3) ⁸. Ce dernier résultat a pu s'expliquer grâce à d'autres études montrant que les oxydes de fer et d'aluminium sont corrélés avec le pH des sols tropicaux ⁹. Plus il y a de fer et d'aluminium, moins le pH de ces sols tropicaux sera acide. En effet, grâce à des mécanismes de blocage physique et de chevauchement de la double couche électrique, les oxydes de fer et d'aluminium permettent de limiter le lessivage des cations et l'acidification forte des sols. Notre étude suggère que la mesure de l'acidité des sols tropicaux (pH KCl) pourrait permettre de prédire leur résistance

mécanique. Cependant, ces résultats se basent sur l'étude de 9 sols, et des études complémentaires sur des sols tropicaux d'autres régions du monde sont nécessaires.

La formulation d'un béton en terre coulée pour la Guyane

Formuler la terre coulée

Figure 3

La terre coulée nécessite l'utilisation d'un dispersant pour permettre le coulage et d'un stabilisant pour permettre une solidification rapide et une forte résistance à l'eau. Différents couples dispersant/stabilisant se sont montrés efficaces pour faire de la terre coulée, mais nécessite l'utilisation de dispersant chimique ou de liant hydraulique ayant pour effet d'augmenter coûts environnementaux et économique ¹⁰. Cependant une récente

étude a montré le haut potentiel de l'utilisation de tannin (extraits de bois) comme dispersant avec des oxydes de fer comme stabilisant ¹¹. Dans un premier temps les tannins dispersent les argiles, puis ils réagissent lentement avec les oxydes de fer formant des tannates de fer ce qui permet une prise rapide et une augmentation de la résistance à l'eau du matériau. Nos études ont montré que le tannin de châtaignier (tannins achetés dans le commerce) pouvait être utilisé en tant que tel pour faire de la terre coulée avec les sols tropicaux. En effet les tannins de châtaignier ont permis de fluidifier différents types de sol, d'induire une prise rapide et une augmentation de la résistance à l'eau ¹² ¹³. Ces effets ont été attribués à la réaction entre les tannins et les oxydes métalliques naturellement présents dans les sols tropicaux.

Formulation de terre coulée 100 % locale

Figure 4

Les coproduits de diverses essences de bois, fréquemment utilisées dans l'industrie du bois en Guyane, ont été évalués pour leur potentiel dans la formulation de terre coulée adaptée aux sols tropicaux. Une extraction à l'eau a été réalisée sur les essences suivantes : Angélique, Bagasse, Confolo, Goupi, Wacapou et Wapa. Nous avons mesuré le rendement ainsi que la quantité totale de phénols (composants primaires des tannins) ¹⁴. Le Wapa s'est distingué par un meilleur rendement et une plus forte concentration en composés phénoliques. De façon remarquable, les extraits de Wapa ont montré un puissant effet dispersant et ont contribué à une résistance à l'eau supérieure à celle apportée par les tannins de châtaignier. Des analyses infrarouges des structures chimiques dans le mélange sol-Wapa ont permis de détecter la formation de tannate de fer, expliquant ainsi l'amélioration de la résistance à l'eau ¹⁵. Actuellement, notre laboratoire accueille un étudiant de master 2 qui se consacre à

l'optimisation de la formulation de terre coulée avec le Wapa et à l'étude de l'impact de la variabilité des extraits de Wapa sur les propriétés finales du matériau.

En perspective

La terre coulée, formulée à base d'extraits de bois et de sols tropicaux, présente un grand potentiel en tant que matériau de construction structurel en Guyane. Nos recherches mettent en lumière la nécessité de développer des critères de sélection des sols et des

extraits de bois qui garantissent les performances optimales du matériau. Le secteur de la construction en Guyane doit évoluer pour se libérer de sa dépendance aux matériaux importés et polluants, en valorisant les ressources locales géo et biosourcées. Cette transition est cruciale pour atteindre une réduction drastique des émissions de CO2 d'ici 2050. Elle doit mobiliser tous les acteurs du bâtiment, des grandes entreprises multinationales aux PME et startups, dans un effort commun entre la recherche scientifique et l'industrie.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 H. Van Damme, H. Houben. Earth concrete. Stabilization revisited. *Cem. Concr. Res.* 114 (2018) 90-102.
- 2 A. Vissac, L. Fontaine, R. Anger, A. Bourges, D. Gandreau, argiles & biopolymères - les stabilisants naturels pour la construction en terre. Hal-01682536 (2017).
- 3 D. Ardant, C. Brumaud, A. Perrot, G. Habert, Robust clay binder for earth-based concrete. *Cem. Concr. Res.* 172 (2023) 107207.
- 4 X. Zhang, X. Liu, L. Kong, C. Chen, Role of free iron oxides in the physicochemical and mechanical properties of natural clay. *Eng. Geol.* 303 (2022) 106665.
- 5 S. Goldberg. Interaction of aluminum and iron oxides and clay minerals and their effect on soil physical properties: A review. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20 (1989) 1181-1207.
- 6 L. Walter, Y. Estevez, G. Medjigbodo, J.-E. Aubert, L. Linguet, O. Nait-Rabah. Design of poured earth construction materials from the elementary characteristics of tropical soils. *Case Studies in Construction Materials* 20 (2024) e02709.
- 7 L. Walter, G. Medjigbodo, L. Claudot, O. Nait-Rabah, L. Linguet, Influence of metal oxides and particle size on earthen mortar built with tropical soils. *Academic Journal of Civil Engineering* 40 (2022) 1-10.
- 8 L. Walter, G. Medjigbodo, Y. Estevez, L. Linguet, O.N.- Rabah. SOIL pH KCl MEASUREMENT CORRELATES WITH THE STRENGTH OF TROPICAL EARTH MORTAR. in: RILEM Spring Convention & Conference on Advanced Construction Materials and Processes for a Carbon Neutral Society., n.d.
- 9 J.-Y. Li, R.-K. Xu, H. Zhang, Iron oxides serve as natural anti-acidification agents in highly weathered soils. *J. Soils Sediments* 12 (2012) 876-887.
- 10 C. Brumaud, Y. Du, D. Ardant, G. Habert, Earth, the new liquid stone: development and perspectives. *Materials Today Communications* (2024) 108959.
- 11 Y. Du, G. Habert, C. Brumaud. Design of Tannin-Based Poured Earth Material via Deflocculation-Coagulation Control: Additive Selection and Tannin Variation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* (2022). <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c04078>.
- 12 L. Walter, G. Medjigbodo, Y. Estevez, L. Linguet, O. Nait-Rabah, Tannin with Sodium Carbonate: A Single Additive for Poured Earth Concrete with Tropical Soils. (2024). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4755847>.
- 13 L. Walter, Y. Estevez, G. Medjigbodo, J.-E. Aubert, L. Linguet, O. Nait-Rabah, Influence of eco-friendly dispersants on the properties of a lateritic soil-based mortar. *Construction and Building Materials* 411 (2024) 134307.
- 14 L. Walter, Y. Estevez, G. Medjigbodo, A. Armougom, B. Roux, L. Lespinasse, L. Linguet, O. Nait-Rabah, Sustainable poured earth construction using tropical soil and local wood residue extracts. in: n.d.
- 15 L. Walter, Y. Estevez, G. Medjigbodo, J.-E. Aubert, L. Linguet, O. Nait-Rabah, Toward sustainable poured earth construction using lateritic soil and local extract of tannin. in: 19th International Conference on NonConventional Materials and Technologies IC-NOCMAT 2023. 2023.