

DESCRIPTIF DU SUJET ET ARGUMENTAIRE DU DIRECTEUR DE THESE

Nom et prénom du directeur de thèse : Nor-Edine ABRIAK

Nom et prénom du codirecteur de thèse : Walid MAHERZI ([Inscription HDR prévue en 2022](#))

Intitulé du sujet de thèse (en français) : « OPTIMISATION DES FORMULATIONS DE MATERIAUX EN TERRE CRUES ALCALI ACTIVE –CARACTERISATION PHYSICOMECANIQUES, HYGROTHERMIQUES ET ANALYSE CYCLE DE VIE »

Résumé du sujet de thèse (Décrire en français les objectifs visés en 1500 caractères maximum)

Depuis 2015 et la publication du texte de loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, la France s'est fixée des objectifs ambitieux pour engager la transition vers une économie circulaire. Ces objectifs passent par une prise en compte des impacts environnementaux et sociétaux des ressources utilisées et la maîtrise du cycle de vie des produits dès leur conception. Le secteur du bâtiment est l'un des secteurs qui consomme le plus de matières premières (environ 1 Million de tonne/jour). De ce fait secteur du bâtiment l'un des secteurs sur lequel il faut impérativement agir. L'une des solutions est le recours aux matériaux à faible impact environnemental tel que les matériaux en « Terre crue ». Les constructions en terre crue sont économiques, durables et 100% recyclables. Ces matériaux sont composés principalement de sable, de graviers, d'argile et de fibres naturelles. Souvent des liants (chaux/ciment) sont utilisés dans la formulation des terres crues.

Dans ce travail de thèse on se propose de développer de nouveaux matériaux « terre crue » écologiques à hautes valeurs ajoutées, en substituant la chaux et le ciment par des liants alcali-activés/géopolymères. Les matières premières pour la formulation de ces nouveaux liants seront issues principalement de sous-produits industriels (laitiers de hauts fourneaux, déchets de verre, déchets de déconstruction). L'aboutissement de ce travail de thèse contribuera au développement et à la promotion des constructions en terre crue dans la Région Haut de France et en France en général.

DESCRIPTIF DU SUJET (en 3 pages minimum)

1) Le sujet de recherche choisi et son contexte scientifique et économique :

1.1. Sujet de recherche

Dans le cadre de ce travail de recherche on s'intéressera au développement de nouveaux matériaux en terre crue en utilisant des liants alternatifs issus de sous-produits industriels (matières premières secondaires). Le matériau terre crue est l'un des plus anciens des matériaux de construction (la plus ancienne des constructions en terre crue est située en Mésopotamie dans le Moyen Orient et sa date de construction a été estimée à 10000 Avant Jésus-Christ). En effet, ils ont été utilisés auparavant par l'homme comme matières premières pour les constructions avant d'être délaissés à l'égard des matériaux à matrice cimentaire. Aujourd'hui on estime que 30% de la population mondiale habite une maison en terre crue. Les matériaux en terre crue sont composés de granulats d'argiles, de liants (ciment et/ou chaux) et de fibres naturelles (pailles, anas de lin, etc.).

Le principe de base de la construction en terre crue est le mélange de la terre (granulats, limons, argiles) avec une certaine quantité d'eau et de fibres végétales. Ce mélange est ensuite formé et mis en œuvre de diverses manières, dont les plus répandues sont : **Le pisé** dont le procédé de construction de murs en terre crue est très répandu en France, notamment en Rhône-Alpes. La terre crue est compactée dans un coffrage en couches successives à l'aide d'un pilon. **La bauge** cette technique est présente en Picardie, en Normandie et en Bretagne. Elle consiste à monter des murs massifs en terre par l'empilement de mottes composées d'un mélange plastique de terre et de fibres végétales. Cette technique se différencie du pisé dans la mesure où il n'utilise aucun coffrage. **L'adobe** est une brique en terre crue séchée au soleil. La brique peut être moulée à la main ou bien fabriquée par compression avec une presse. Ces briques sont aujourd'hui souvent utilisées en maçonnerie de remplissage dans les constructions bois. Par ailleurs, la terre crue peut également être utilisée comme enduit intérieur ou encore extérieur, sur les façades abritées des intempéries.

Ces dernières années les laboratoires et centres de recherche, partout dans le monde, montrent un intérêt croissant aux matériaux en terre crue. Les principaux travaux de recherche sur ces matériaux portent sur le développement des méthodes et des techniques afin d'améliorer leur durabilité, en particulier vis-à-vis de l'eau et de l'humidité. Les dernières avancées en ce sens ont montré que l'utilisation de liants alternatifs, autres que le ciment et la chaux, permet d'améliorer considérablement les performances techniques et la durabilité des matériaux en terre crue. Ces liants alternatifs, appelés aussi écologiques, sont formulés en utilisant les réactions alcalines ou géopolymériques. L'utilisation de ces nouveaux liants alternatifs, permet également de réduire l'impact environnemental des constructions. À titre d'exemple, le nouvel aéroport de "Brisbane West Wellcamp-Australie", qui a été inauguré en septembre 2014, où pas moins de 70 000 tonnes de liants géopolymères ont été utilisés, a permis d'éviter l'émission de 6600 tonnes de CO₂.

La composition de ces nouveaux matériaux, qui seront issus de ce travail de recherche, inclura des liants alcali-activés (géopolymères) formulés à base de sous-produits industriels (matériaux de déconstruction, déchets de verre, sédiments). À cet effet, le travail sera axé sur l'optimisation du choix des matières premières locales et la mise en place de formulations innovantes, incluant notamment l'ajout de particules hydrophobes et des fibres naturelles (anas de lin, pailles, chanvres, etc.) à la terre crue. Un point de focus sera porté, également, sur l'interaction matériaux terres crues avec son environnement à travers une étude de leurs performances de durabilité (tenue à l'eau) et de comportement hygrothermique. Une analyse de cycle de vie des matériaux développés permettra le développement et la promotion des constructions en terre crue fibrés. Enfin, les retombés à long terme de ce travail de recherche étant de mobiliser la construction en terre crue fibré comme levier de développement local et durable à faible énergie grise.

Les géopolymères sont une classe de matériaux aluminosilicatés semi-cristallins, généralement synthétisés à une température ambiante ou légèrement élevée par une réaction chimique entre une source d'aluminosilicate amorphe et une solution alcaline (figure 1). En 1950, Glukhovsky est le premier à avoir proposé l'activation des aluminosilicates par des composés alcalins. A l'heure actuelle, il existe plusieurs sortes d'activateurs comme NaOH, KOH, NaCO₃, KCO₃, LiCO₃, ou des solutions de silicates alcalins (Me₂O + nSiO₂ avec Me = Na, K ou Li). Il s'agit de sels formés par la réaction entre SiO₂ (silice réactive) et des oxydes alcalins (Sodium (Na), Potassium (K), Lithium (Li)). Les matériaux formés suites aux réactions géopolymères sont très stables et sont caractérisés par une excellente tenue à l'eau comparés aux matériaux standards.

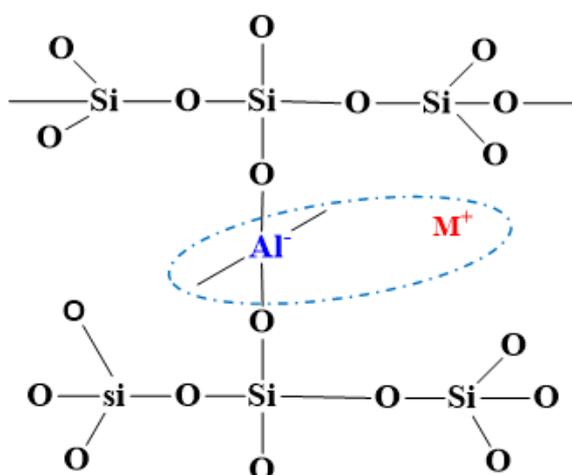


Figure 1. Géopolymère poly (sialate-siloxo) résultant d'une géosynthèse

1.2. Contexte générale (réglementaire et économique)

Dans un contexte de croissance de la demande sur les matières premières au niveau mondial et de tension sur les ressources minérales, la feuille de route Economie Circulaire publiée le 23 avril 2018 préconise plusieurs mesures afin de réduire l'impact du développement économique sur l'environnement. Parmi ces mesures l'augmentation de la part des matériaux recyclés dans les produits mis sur le marché, et l'utilisation des ressources issues d'un approvisionnement durable et « éco-conçus

». Au niveau européen, le pacte vert pour l'Europe a proposé en septembre 2020 de porter l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre, incluant les émissions et les absorptions, à au moins 55 % en 2030 par rapport à 1990. Des propositions législatives détaillées, seront présentés en juin 2021 en vue de mettre en œuvre cette nouvelle ambition. Cet objectif permettra à l'UE de progresser vers une économie neutre pour le climat et de mettre en œuvre ses engagements pris au titre de l'accord de Paris.

Les matériaux de construction en terre crue bénéficient d'atouts environnementaux non négligeable, tels que la renouvelabilité de la matière première ou encore de faibles besoins en énergie grise (quantité d'énergie nécessaire au cycle de vie du matériau, de sa production jusqu'à sa valorisation, son stockage ou son élimination). Ces dernières années les acteurs du secteur du bâtiment montrent un intérêt croissant pour les matériaux en terre crue, non seulement pour leur faible impact environnemental, mais aussi pour leurs qualités techniques, et l'apport bénéfique sur le confort intérieur. La figure 2 présente l'évolution du nombre des opérations de construction neuve en terre crue entre 1976 et 2015. Il est a noté qu'une opération de construction peut représenter la construction de plusieurs bâtiments. Ce regain d'intérêt pour les constructions en terre crue s'est accompagné d'une augmentation du nombre de structures spécialisés dans ces techniques de construction. En effet, entre 1999 et 2012 le nombre de structures spécialisés dans la terre crue a été multiplié par 6. Ce tissu compte désormais plus de 650 structures, réparties sur l'ensemble du territoire national et est composé principalement d'artisans (46%), de maîtres d'œuvre/ bureaux d'études (16%), et seulement de 3% de laboratoires de recherche (figure 3).

D'un point de vue normalisation technique de la construction en terre crue, cinq guides ont été élaborés et publiés en 2019. Ces guides sont le fruit d'une démarche initiée en 2015 par onze structures nationales ou régionales avec financement de la Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et du Paysage (Ministère de la Transition écologique et solidaire/Ministère de la Cohésion des territoires). L'objectif est de mettre à disposition des recommandations et spécifications permettant la réalisation et l'entretien d'ouvrages en terre crue conformes aux attentes en termes de stabilité, d'usage, et de durabilité. Ces guides portent sur 6 techniques : le **pisé**, **les enduits**, **le torchis**, **les terres allégées**, **la bauge** et **les briques en terre crue**.

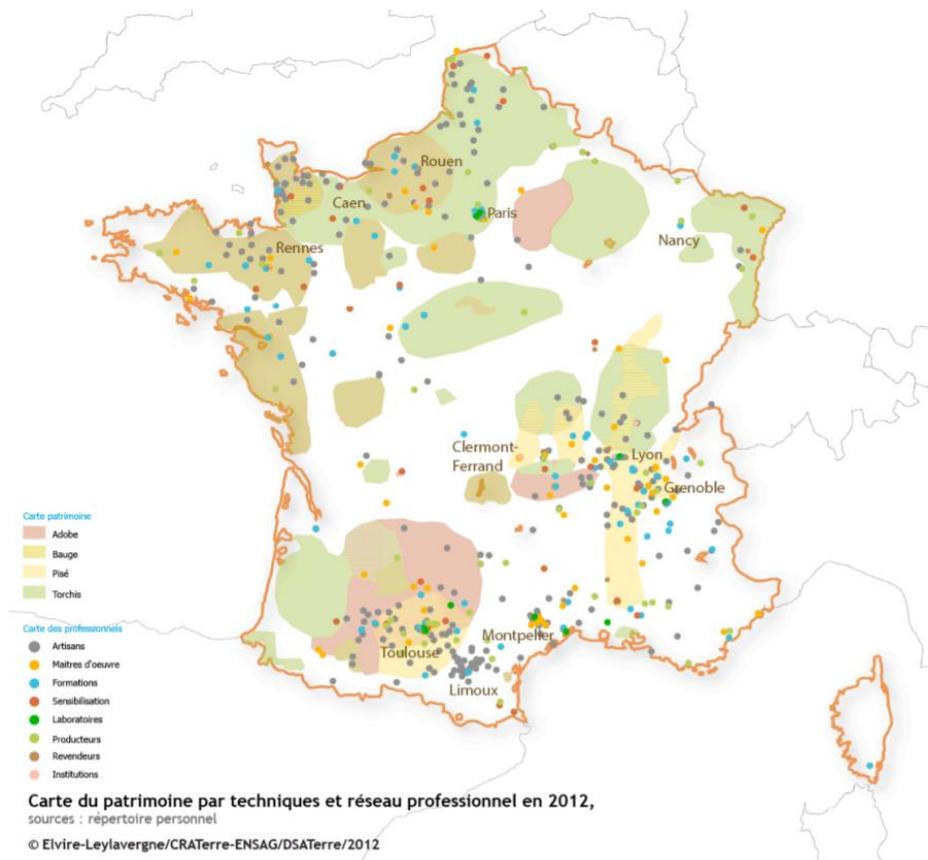


Figure 2. Carte du patrimoine terre crue par technique et réseau professionnel en 2012

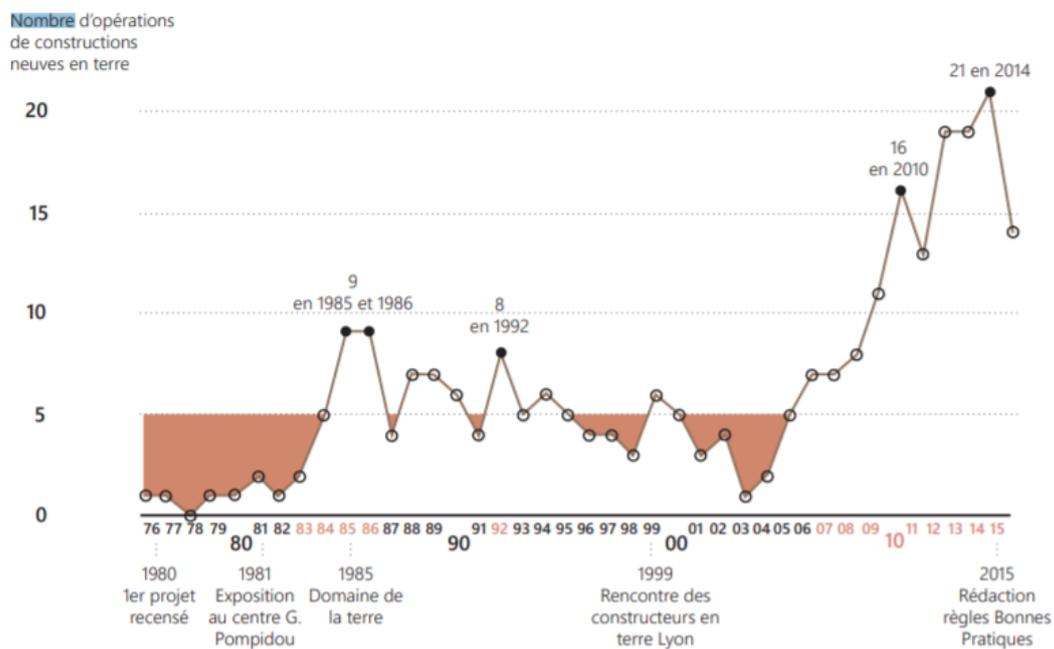


Figure 3. Courbe de l'évolution de la construction neuve en terre crue en France métropolitaine entre 1976 et 2015

2) L'état du sujet dans le laboratoire d'accueil :

Le CERI Matériaux et Procédés (CERI MP) de l'IMT Nord Europe (IMTNE) est un des centres associés au Laboratoire de Génie Civil et Géo-Environnement (LGCgE). La valorisation de matières premières secondaires dans la construction est une thématique phare du CERIMP, où l'expertise, tant matériel qu'humaine dans ce domaine est reconnue.

Dans ce contexte, IMTLD réalise des recherches fondamentales et appliquées visant à mieux comprendre les interactions existantes entre les matériaux (sols et matériaux du génie-civil qui, pour certains d'entre eux, sont réalisés en partie avec des coproduits industriels) et leur environnement. Pluridisciplinaire, le CERIMP développe les aspects mécaniques et physico-chimiques, mais aussi les sciences du vivant à travers la bio détérioration, la bio remédiation et l'éco toxicologie. Le CERIMP anime le Groupement d'Intérêt Scientifique Sites, Sols Sédiments Pollués (GIS 3SP) et est également partenaire du projet SEDIMATERIAUX. Le CERIMP a également pour mission de réaliser des actions de formation à travers l'option Génie Civil mais aussi grâce à la formation par la recherche de doctorants. Le laboratoire CERI MP propose des recherches pour répondre aux défis de la construction durable, l'aménagement et l'écologie. Il répond ainsi aux problématiques posées par la construction, l'aménagement durable, la sécurité des ouvrages et des infrastructures, la gestion rationnelle de l'énergie, la protection des ressources naturelles (notamment les ressources d'eau), la gestion des sites contaminés et la biodiversité.

En menant une activité de recherche et de veille en partenariat avec le secteur socio-économique (pôles de compétitivités et d'excellences, entreprises, bureaux d'ingénierie, gestionnaires des infrastructures et de patrimoines, collectivités...), le laboratoire CERI MP contribue au transfert des résultats de la recherche et à l'innovation technologique. Il met l'expertise de ses membres, son équipement scientifique et ses plateformes technologiques (caractérisation des géo-matériaux, instrumentation de l'habitat, analyse géochimique et biologique) au service des acteurs socio-économiques.

Depuis quelques années, des travaux spécifiques aux matériaux en terre crue ont été initiés aux CERI MP de l'IMT Nord Europe. Ces travaux de recherche ont été réalisés dans le cadre de thèse de doctorat. Ci-dessous une synthèse des travaux réalisés et les principaux résultats :

1.Thèse de M Bouchikhi, soutenue en Mai 2020 : « Optimisation de la valorisation des déchets de verre et de sédiments dans des liants recomposés : Activation - Formulation de mortiers - Stabilisation physico-chimique », Directeurs de thèse : Pr. N.-E. Abriak – Pr. M. Benzerzour, Encadrant Dr. W. Maherzi

« Dans ce travail de thèse on s'est intéressé à la co-valorisation de deux types de déchets ; à savoir, les sédiments de dragage de nature fluviale, et les déchets verre. Dans un premier temps, les

sédiments ont été caractérisés et traités par calcination (figure 4). Ils ont ensuite été incorporés comme additif dans une matrice cimentaire. Les résultats ont montré des propriétés comparables à d'autres additions minérales d'origine naturelles comme le métakaolin ou les fumées de silice. Les déchets de verre ont quant à eux subi une activation alcaline (figure 4) avant d'être introduits dans une matrice géopolymère. Ce travail a permis de montrer que les déchets de verre pouvaient jouer le rôle d'une source de silicates de soude, éléments essentiels pour la réaction géopolymère. Enfin, les deux types de déchets ont été utilisés ensemble pour la formulation d'un liant géopolymère. Les résultats obtenus ont permis de démontrer l'intérêt d'utiliser ces deux coproduits dans les formulations de liants géopolymères. En effet, les résistances mécaniques à la compression sont 40% supérieures à ceux formulés avec les matières premières commerciales (silicate de soude). (figure 5) »

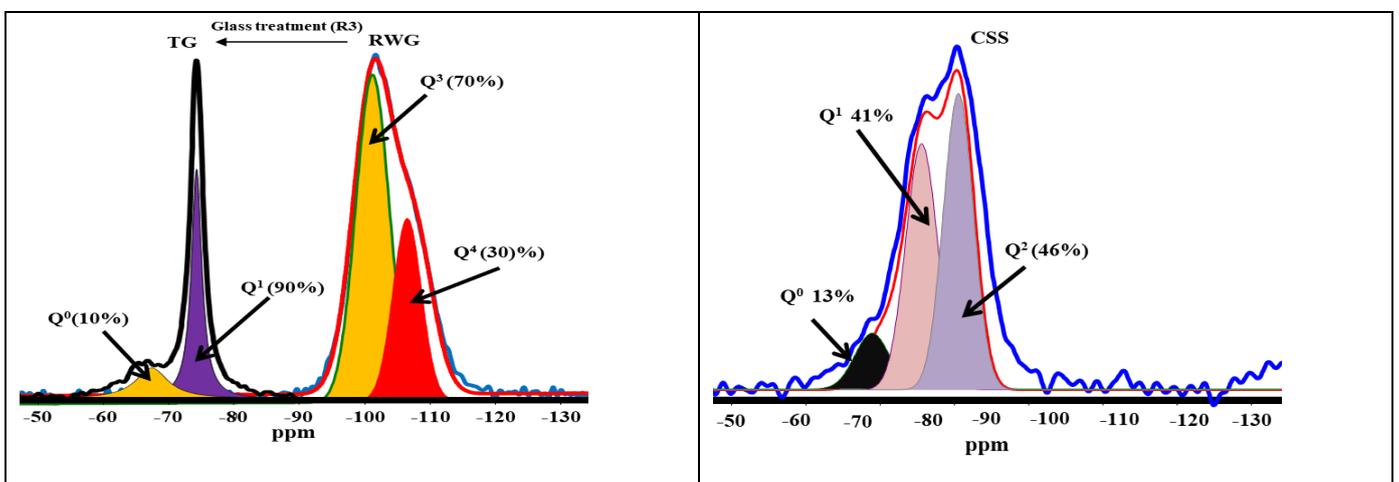


Figure 4. Activation des déchets de verre et des sédiments de dragage

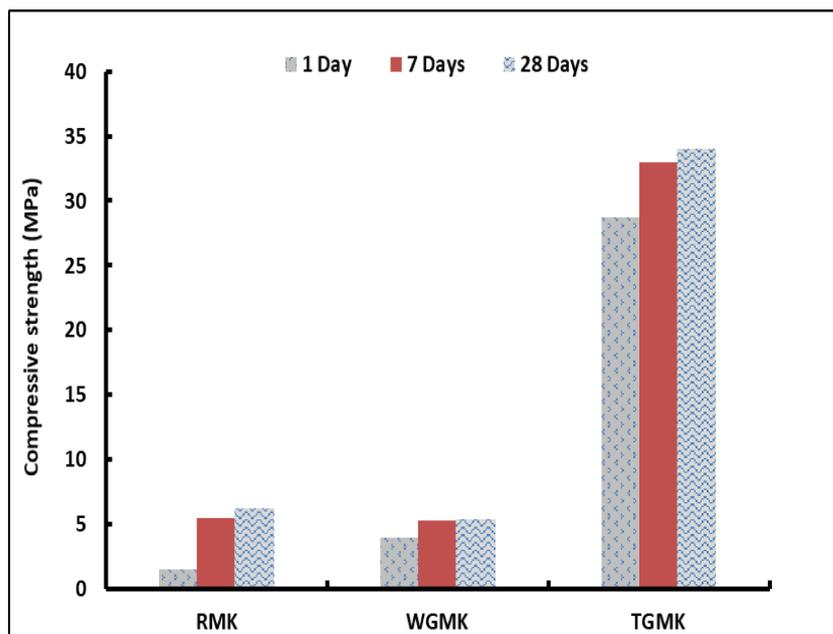


Figure 5. Performance mécanique des matériaux alcali-activés

Publications:

Bouchikhi, A., Benzerzour, M., **Abriak, N. E.**, **Maherzi, W.**, & Mamindy-Pajany, Y. (2019). Study of the impact of waste glasses types on pozzolanic activity of cementitious matrix. *Construction and Building Materials*, 197, 626-640.

Bouchikhi, A., Mamindy-Pajany, Y., **Maherzi, W.**, Albert-Mercier, C., El-Moueden, H., Benzerzour, M., & **Abriak, N. E.** (2020). Use of residual waste glass in an alkali-activated binder–Structural characterization, environmental leaching behavior and comparison of reactivity. *Journal of Building Engineering*, 101903.

2.Thèse de Mme Mkaouer, soutenance prévue en 2021 : « Etude comparative entre différents types d'argile naturelle tunisienne pour la formulation de brique en terre compactée », thèse codirigée entre l'IMT Nord Europe et l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (Tunisie). Directeurs de thèse : Pr. BENZINA, Encadrant : Dr. W. Maherzi

« L'objet de ce travail de thèse était l'optimisation de formulations de briques en terre crue (BTC) à partir de trois matériaux naturels (Gafsa (A1), Zeramdine (A2) et Nabeul (A3)). Les résultats de l'analyse minéralogique de ces matériaux ont révélé la dominance de la kaolinite (> 13,58%), de l'illite (> 25,7%), du quartz (> 18%) et d'une fraction mineure de smectite. L'analyse chimique des éléments majeurs a montré une teneur en SiO_2 supérieur à 50% et un pourcentage d' Al_2O_3 supérieur à 18%. L'analyse granulométrique des différents matériaux a permis de quantifier les fractions argileuses, qui variaient de 10 à 20%. Suite à cette phase de caractérisation les matériaux ont été formulés afin de répondre aux exigences de la norme XP P13-901 « Blocs de Terre Comprimée (BTC) pour murs et cloisons ». À cet effet, la chaux a été utilisée comme liant à des différents taux (4, 6, 8 et 10%). Les résultats obtenus ont permis de démontrer la faisabilité de l'utilisation des matériaux étudiés dans les formulations de BTC. En effet, les performances techniques (résistance mécanique, densité, absorption d'eau, etc.) étaient comparables à ceux exigés pour les matériaux standards . ».

Publication : Mkaouar, S., **Maherzi, W.**, Pizette, P., Zaitan, H., & Benzina, M. (2019). A comparative study of natural Tunisian clay types in the formulation of compacted earth blocks. *Journal of African Earth Sciences*, 160, 103620.

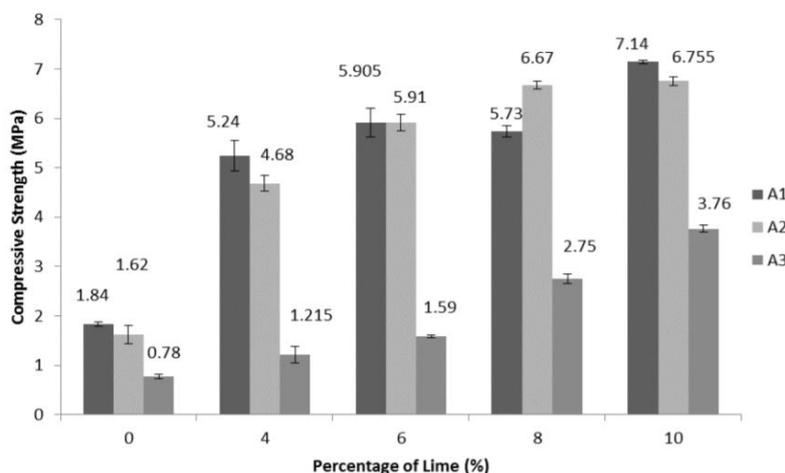


Figure 6. Performances mécaniques des briques en terre crue à base d'argile et de chaux

3.Thèse de Mme Larbi, soutenance prévue en 2021 : « Caractérisation et valorisation des sédiments marins pour la fabrication des matériaux de construction », thèse codirigée entre l'IMT Nord Europe et l'université d'Oran (Algérie). Directeurs de thèse : Pr. N.-E. Abriak, Encadrant : Dr. W. Maherzi

« L'objectif de cette thèse était d'étudier les possibilités de valorisation des sédiments de dragage marins pour la formulation de briques en terre crue. Des liants alcali-activés à base de laitiers de haut fourneau et de cendres volantes silico-alumineuses ont été utilisés afin de stabiliser les matériaux formulés. Les matériaux formulés répondent aux exigences requises dans le cahier de charge des briques. L'utilisation des liants alcali-activés a permis d'améliorer considérablement la durabilité des BTC (tenue à l'eau après 24h d'immersion et les remontées capillaires) (figure 5).

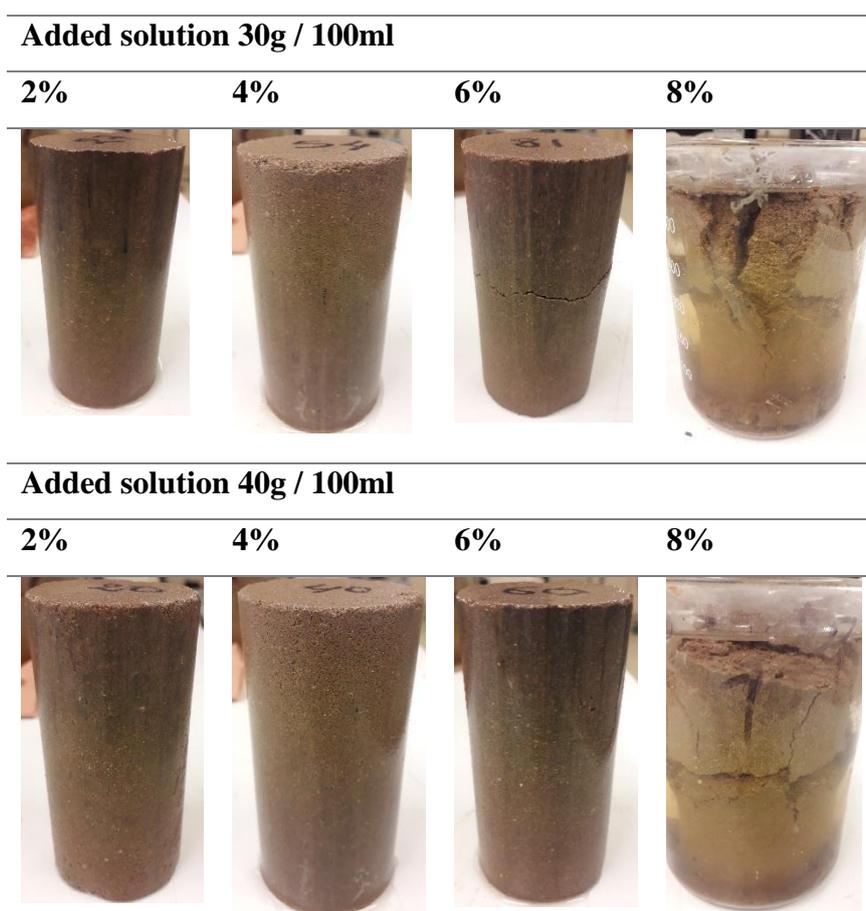


Figure 7. Tenue à l'eau des BTC à base de sédiments marins stabilisé avec un liant alcali-activé

Publication: Larbi, S., Khaldi, A., Maherzi, W., & Abriak, N. E. (2022). Formulation of Compressed Earth Blocks Stabilized by Glass Waste Activated with NaOH Solution. Sustainability, 14(1), 102.

3) Les objectifs visés, les résultats escomptés

Ce travail de recherche vise à démontrer la faisabilité technique, environnementale et économique de l'utilisation des terres crues dans les filières de la construction. Les objectifs visés par ce travail de thèse sont :

- Établir une base de données de caractérisation des matériaux locaux de la Région des Hauts de France susceptibles d'être utilisés pour la formulation des matériaux en terre crue,
- Formulation de liants alcali-activés à base de matières premières secondaires (sédiments, déchets de verre, matériaux de démolition)
- Formulations de matériaux en terre crue en utilisant les liants alcali activés. Ces matériaux seront en accord avec les recommandations des nouveaux guides Terre Crue (Publiés en 2019),
- Établir une étude d'analyse de cycle de vie des matériaux en terre crue, issue de ce travail de recherche afin de promouvoir leur utilisation dans le futur,
- Définir une nouvelle offre de matériaux de construction écologique répondant aux objectifs nationaux et européens en terme de transition énergétique et d'économie circulaire. Ceci contribuera également à la convergence vers une économie de la fonctionnalité dans la région des Hauts de France.

5) Les collaborations prévues (préciser le cadre, la nature des collaborations, l'ancrage national, international, la transdisciplinarité éventuellement)

- Les travaux de thèse seront réalisés aux CERI Matériaux et procédés de l'IMT Nord Europe qui fait partie du laboratoire régional LGCgE, qui regroupe plusieurs laboratoires de recherche : Université d'Artois, Université de Lille, IMT Nord Europe et Junia. L'activité de recherche et de valorisation du LGCgE est assurée par plus de 200 personnes, dont 92 enseignants-chercheurs et chercheurs, 36 personnels techniques et administratifs et 80 doctorants.

6) Une liste de 10 publications maximum portant directement sur le sujet en soulignant celles du laboratoire

Publications issus de travaux réalisés à IMT Nord Europe

1. Larbi, S., Khaldi, A., **Maherzi, W.**, & Abriak, N. E. (2022). Formulation of Compressed Earth Blocks Stabilized by Glass Waste Activated with NaOH Solution. *Sustainability*, 14(1), 102.
2. Bouchikhi, A., Benzerzour, M., **Abriak, N. E.**, **Maherzi, W.**, & Mamindy-Pajany, Y. (2019). Study of the impact of waste glasses types on pozzolanic activity of cementitious matrix. *Construction and Building Materials*, 197, 626-640.
3. Bouchikhi, A., Mamindy-Pajany, Y., **Maherzi, W.**, Albert-Mercier, C., El-Moueden, H., Benzerzour, M., & **Abriak, N. E.** (2020). Use of residual waste glass in an alkali-activated binder—Structural characterization, environmental leaching behavior and comparison of reactivity. *Journal of Building Engineering*, 101903.
4. Wang, D., Wang, H., Larsson, S., Benzerzour, M., **Maherzi, W.**, & Amar, M. (2020). Effect of basalt fiber inclusion on the mechanical properties and microstructure of cement-solidified kaolinite. *Construction and Building Materials*, 241, 118085.
5. Mkaouar, S., **Maherzi, W.**, Pizette, P., Zaitan, H., & Benzina, M. (2019). A comparative study of natural Tunisian clay types in the formulation of compacted earth blocks. *Journal of African Earth Sciences*, 160, 103620.

Autres publications internationales récentes

6. Barbero-Barrera, M. M., Jové-Sandoval, F., & Iglesias, S. G. (2020). Assessment of the effect of natural hydraulic lime on the stabilisation of compressed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 260, 119877.
7. Teixeira, E. R., Machado, G., P Junior, A. D., Guarnier, C., Fernandes, J., Silva, S. M., & Mateus, R. (2020). Mechanical and Thermal Performance Characterisation of Compressed Earth Blocks. *Energies*, 13(11), 2978.
8. Ben-Alon, L., Loftness, V., Harries, K. A., DiPietro, G., & Hameen, E. C. (2019). Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of natural vs conventional building materials: A case study on cob earthen material. *Building and Environment*, 160, 106150.
9. Sangma, S., & Tripura, D. D. (2020). Experimental study on shrinkage behaviour of earth walling materials with fibers and stabilizer for cob building. *Construction and Building Materials*, 256, 119449.
10. Gomaa, M., Carfrae, J., Goodhew, S., Jabi, W., & Veliz Reyes, A. (2019). Thermal performance exploration of 3D printed cob. *Architectural Science Review*, 62(3), 230-237.
11. Sangma, S., & Tripura, D. D. (2019). Characteristic Properties of Unstabilized, Stabilized and Fibre-Reinforced Cob Blocks. *Structural Engineering International*, 1-9.

ARGUMENTAIRE DU DIRECTEUR DE THESE

En quoi le projet répond à l'un au moins des critères de priorisation de la Région (cf. Délibération de lancement de l'appel à projets Allocations) ?

- Le projet de recherche proposé s'inscrit dans l'axe de recherche prioritaire de la Région Hub 2 : **Innovation au service d'une planète en mutation : Troisième Révolution Industrielle et agricole, transition énergétique...**

En quoi le projet participe à la structuration de la recherche en Région ? (Indiquer si le sujet contribue ou non à un programme régional en cours ou envisagé, notamment un projet déposé au CPER 2021-2017, si le sujet est lié à l'arrivée d'un chercheur en région, à la création d'une nouvelle équipe, à un rapprochement d'équipes etc...)

- Le projet proposé permettra le rapprochement de plusieurs laboratoires régionaux à travers les collaborations dans le cadre du laboratoire régional LGCgE. En effet, le sujet permettra le rapprochement de plusieurs équipes de recherche de la Région des Hauts de France, spécialisées dans plusieurs domaines : Matériaux innovants, Habitat et ville intelligente, Modélisation et caractérisation multi-échelle des problèmes couplés.

En quoi le projet s'inscrit dans les priorités du cofinanceur sollicité ?

Le projet entre dans les thématiques du développement durable et de l'économie circulaire qui visent à réduire l'utilisation de ressources naturelles et l'augmentation de la part du recyclage dans les produits. En plus de la préservation des ressources naturelles et de l'environnement, cette démarche permettra de réduire les coûts du cycle de vie, qui représentent les coûts directement supportés par l'acheteur (appelés communément « coût global ») et les coûts externes liés aux impacts environnementaux (dits d'externalités).

Pour les projets en lien avec un partenariat public-privé ou un partenariat entre plusieurs laboratoires publics, quelles sont les modalités du partenariat (nature, moyens, propriété, partage et diffusion des résultats ?)

En quoi le projet pourrait être valorisé dans un cadre national, européen, international ?

L'aboutissement de ce projet permettra d'asseoir une base de connaissance solide au niveau régional et national sur les matériaux innovants et écoresponsable. Ceci ouvrira de nouveaux horizons pour des collaborations futures dans le cadre de projet européen et international (H2020, iINTERREG).

Quelles sont les perspectives de valorisation, de transfert et d'innovation sur le territoire des Hauts-de-France ? Le projet contribue-t-il à la Stratégie Recherche Innovation de la région (S3) ? Si oui, pour quel Domaine d'Activité Stratégique ? D'une façon plus générale, quelles sont les retombées socio-économiques pour le territoire régional ?

- Au niveau régional, les **perspectives de valorisation, de transfert et d'innovation** sont les suivantes :

Le projet de recherche s'inscrit parfaitement dans **la Stratégie Recherche Innovation (S3)** de la Région des Hauts de France. En effet, le sujet proposé entre dans le cadre des thématiques des **Domaines d'Activités Stratégiques « CHIMIE, MATERIAUX ET RECYCLAGE »**. Le sujet de recherche est un axe transversal qui traite la gestion et la valorisation des sous-produits, incluant la prise en compte des concepts d'analyse de cycle de vie.

Les **retombées socioéconomiques** sur le territoire régional sont les suivantes :

- Développer des filières industrielles de valorisation des sous-produits industriels,
- Renforcer l'innovation dans ce domaine par l'émergence d'éco-industries à forts potentiels économiques sur le marché régional ;
- Promouvoir la recherche et le développement dans la région des Hauts de France,
- Compléter l'offre de matières premières de la région dans les secteurs du bâtiment,
- Créer de nouvelles filières compétitives de valorisation des sous-produits industriels.

Le projet peut-il ou non contribuer à la Troisième Révolution Industrielle (TRI) ? Si oui, en quoi le projet répond à un ou plusieurs critères de la TRI (efficacité énergétique, énergie renouvelables distribuées, mobilité, réseaux intelligents et intelligence artificielle, économie circulaire, économie de la fonctionnalité) (cf. Référentiel sur la TRI enseignement supérieur et recherche) ? <https://rev3.fr/enseignement-superieur-recherche/>

« Le projet de recherche proposé s'inscrit parfaitement dans les concepts Troisième Révolution Industrielle. En effet, le sujet de recherche entre dans le cadre de la démarche d'économie circulaire et de développement durable car l'aboutissement et le développement des résultats issus de ce projet permettront :

- De réduire la consommation des ressources naturelles, à travers l'utilisation des sous-produits industriels comme matières premières secondaires. Ceci permettra de créer de nouvelles boucles d'économie circulaire « écologiquement vertueuse »,
- De réduire les volumes de déchets car ils seront réutiliser pour la production les nouveaux matériaux de construction,
- De réduire les émissions CO₂ à travers l'utilisation de matériaux construction moins consommateurs d'énergie grise,
- Amélioration du confort thermique des habitations ce qui permettra de réduire la consommation.

Le projet peut-il contribuer à développer la bioéconomie en région ?(cf. master plan délibération 20181233 bioéconomie) <https://www.hautsdefrance.fr/categorie/dossiers/bioeconomie/>

Non concerné

Le projet peut-il contribuer à développer l'intelligence artificielle ? <https://www.hautsdefrance.fr/humain-lambition-des-hauts-de-france-pour-une-intelligence-artificielle-au-service-des-habitants/>
https://www.aiforhumanity.fr/pdfs/MissionVillani_Synthese_FR.pdf
https://www.aiforhumanity.fr/pdfs/9782111457089_Rapport_Villani_accessible.pdf

Non concerné

Fait à DOUAI, le 17 DECEMBRE 2021 Prénom,
Nom du Directeur de Thèse : Nor-Edine ABRIAK
Nom du Codirecteur de Thèse : Walid MAHERZI (Inscription HDR prévue en 2022)
Signature