

## HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Date de la soutenance : **15 décembre 2023**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur BUI Quoc Bao**

Titre des travaux : « *Différentes approches dans la recherche des matériaux à faibles impacts environnementaux – cas des matériaux terre, bambou, béton de granulats recyclés, géopolymère, nano-graphène* »



### Résumé

Le génie civil est l'un des secteurs qui ont des impacts environnementaux considérables. Le béton, qui est le matériau courant dans le génie civil, utilise du ciment Portland comme liant. La fabrication du ciment consomme de grandes quantités d'énergie et émet d'importants gaz CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. La surexploitation des granulats naturels pour la fabrication du béton (sable, gravier) pose de sérieux problèmes environnementaux, notamment l'exploitation du sable de rivière. Les matériaux de construction alternatifs qui ont moins d'impacts environnementaux font l'objet de différentes recherches scientifiques.

La première piste est l'utilisation de la terre du site pour fabriquer des matériaux de construction. En fait, cette approche est ancienne et utilisée par l'homme depuis longtemps. Différentes techniques de construction en terre existent: le pisé, le torchis, les adobes, les blocs de terre comprimée (BTC). Le nombre de constructions en terre a diminué depuis l'apparition des matériaux industriels (par exemple le béton). Cependant, au cours des dernières années, le matériau terre a attiré l'attention du public et des recherches scientifiques en raison de sa faible énergie grise, un comportement hygro-thermique intéressant, et le potentiel de recyclage. En plus, le nombre de bâtiments anciens en terre est encore important, la conservation et la réparation de ces monuments nécessitent des connaissances scientifiques sur le matériau. Les matériaux en terre peuvent être fabriqués directement à partir de terre naturelle sans aucun liant supplémentaire («terre non stabilisée»). Dans plusieurs cas, des liants (ex. ciment, chaux) sont ajoutés («terre stabilisée»). De nouveaux types de stabilisation (par exemple géopolymère) ont également été explorés. Parmi les différentes techniques de construction en terre, le pisé est généralement choisi pour les constructions en terre récentes. Les murs en pisé possèdent un aspect esthétique généralement apprécié du public.

Une autre approche est de remplacer les granulats naturels dans le béton (sable et gravier dont la quantité diminue rapidement, notamment le sable de rivière) par d'autres matériaux. Des granulats recyclés ont été utilisés pour substituer partiellement ou totalement des granulats naturels. La terre a aussi été utilisée dans la fabrication des bétons de terre. Cette approche est recherchée ce dernier temps car la mise en place par le coulage est plus rapide que le compactage. L'automatisation dans la fabrication du matériau, par exemple l'impression 3D, a aussi été évoquée. Pourtant, les propriétés mécaniques de béton de terre sont encore limitées et ne peuvent être adapté seulement pour les bâtiments de faible hauteur ou les éléments non-porteurs.

La troisième approche était de chercher des solutions pour réduire la quantité du ciment Portland dans les « bétons verts ». Une possibilité est l'utilisation des « sous-produits industriels » comme le laitier de haut fourneau (« slag »), la cendre volante de centrales thermiques (« fly ash »), pour remplacer partiellement le

clinker dans la fabrication du ciment, ainsi que remplacer partiellement le ciment Portland dans le béton. Une autre possibilité est de chercher des « liants verts » qui ont moins l’empreinte carbone que le ciment Portland. Le géopolymère est considéré comme un candidat potentiel qui puisse remplacer le ciment Portland.

Ces dernières décades ont témoigné l’application des nanomatériaux dans différents domaines, y compris le génie civil. Plusieurs nanomatériaux, notamment nanomatériaux à base de graphène, ont été explorés pour leur efficacité dans les matériaux de construction. Plusieurs études ont montré des améliorations considérables des propriétés mécaniques des matériaux utilisant les nanomatériaux. Par conséquent, l’utilisation des nanomatériaux peut augmenter les propriétés des matériaux et/ou réduire la quantité de ciment dans la fabrication du béton ou les matériaux à base de ciment.

Une autre approche qui attire l’attention du public et les recherches scientifiques est l’utilisation des matériaux bio-sourcés qui sont renouvelables et ont une faible empreinte carbone. Les constructions en bois ou en bambou sont souvent mentionnées. L’intégration des composants bio-sourcés dans les matériaux de construction a aussi été explorée: béton de chanvre, béton de lin, typha... À part les avantages évidents des matériaux bio-sourcés, l’inconvénient de ces matériaux est une faible résistance au feu, et la durabilité est influencée par plusieurs facteurs comme l’humidité, des insectes. Les recherches pour améliorer la durabilité de ces matériaux sont nécessaires.

Cette thèse d’HDR présente les axes de recherches qui ont été menés par l’auteur autour des approches mentionnées ci-dessus:

#### Axe 1 : Formulation et caractérisation des éco-matériaux

- Matériau de terre compactée.
- Nouveaux liants (geopolymer, addition de nano graphène).
- Béton géopolymère de granulats recyclés.

#### Axe 2 : Comportement dynamique et analyse parasismique des structures

- Structures en matériaux non-conventionnels (pisé et maçonnerie).
- Structures en matériaux conventionnels (béton armé).

#### Axe 3 : Durabilité et comportement à long terme

- Comportement des matériaux dans les conditions climatiques naturelles.
- Traitements pour améliorer la durabilité.
- Le suivi à long terme des matériaux et des bâtiments, y compris le comportement hygro-thermique, la performance énergétique, la qualité de l’air ambiante.