

Etude Bibliométrique, Approche Interdisciplinaire et Modélisation Multi-échelle : Exploration de la performance thermique des matériaux bio-sourcés

Séverine Rosa Latapie

LMDC, Université de Toulouse, INSA, UPS, France

RESUME Les matériaux bio et géo-sourcés accompagnent la transition écologique du secteur du BTP. Ils améliorent le confort intérieur du bâti tout en diminuant son impact environnemental. De nombreux granulats végétaux, autres que la chènevotte utilisée dans le béton de chanvre, sont valorisables. Bien que largement disponibles grâce aux cultures implantées localement (tournesol, colza, lin, ...), leur utilisation à grande échelle reste limitée. Leur comportement complexe est un des freins majeurs à leur développement. Ces travaux explorent de nouveaux champs disciplinaires pour lever plusieurs verrous. Il s'agit de comprendre les phénomènes physiques qui s'opèrent à différentes échelles et de développer des modèles prédictifs du comportement thermique. De l'échelle stratégique du granulats végétal à celle du matériau, l'analyse multi-échelle menée – via des techniques d'homogénéisation analytique – permet de prédire le comportement thermique de plusieurs types de matériaux, avant même l'étape de fabrication et de proposer des pistes d'optimisation. Ces travaux doivent favoriser l'émergence d'économies locales basées sur des matériaux de construction sains, performants et écologiques. Ils s'ancrent dans l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre, visé par le Pacte Vert pour l'Europe d'ici 2030.

Mots-clés Matériaux de construction bio-sourcés, Modélisation multi-échelle, Propriétés thermiques, Granulats végétal, Microstructure

I. INTRODUCTION

Construire de manière durable devient un enjeu stratégique face aux défis climatiques et énergétiques actuels. Les matériaux bio et géo-sourcés sont particulièrement pertinents vis-à-vis de cet objectif. Issus de ressources locales et abondantes, ils offrent de bonnes performances thermiques. Ils permettent également de réguler de manière passive l'humidité de l'air intérieur. Face aux matériaux conventionnels, ces propriétés hygrothermiques remarquables sont un atout majeur en termes d'éco-conception. Pourtant, alors que le secteur de la construction représente 30% des émissions de gaz à effet de serre en France (Pestre and Cheze, 2023), on estime que les isolants biosourcés ne représentent que 7% de la part du marché (Trachte and Stiernon, 2023). En outre, la Règlementation Environnementale (RE 2020) entrée en vigueur en France au 1^{er} janvier 2022, encourage la mise en œuvre d'éco-matériaux via des indicateurs concernant l'impact environnemental du bâti, la sobriété énergétique ou encore le confort d'été (Ministère de la

Transition écologique, 2024). Il est donc relativement paradoxal de ne pas constater une utilisation à plus large échelle de matériaux de construction biosourcés, c'est-à-dire de matériaux non alimentaires issus pour tout ou partie de la biomasse, d'origine animale ou végétale (Lagouin, 2020). Il s'avère que la variabilité de la ressource (caractéristiques différentes au sein d'un même échantillon de granulats), la pluralité des formulations (type de granulat, nature du liant) et le manque de recul sur le comportement complexe de ces éco-matériaux freinent significativement les critères d'assurabilité et donc le développement de filières associées (Lecompte, 2020).

La chènevotte, co-produit de la culture du chanvre textile, est étudiée depuis une vingtaine d'année pour une utilisation sous forme de panneaux isolants (laine de chanvre) ou encore incorporée à une matrice minérale (béton végétal) à des fins d'isolation répartie (Magniont, 2010). Toutefois, le chanvre est loin d'être largement disponible sur tous les territoires. Ainsi, de plus en plus de travaux se concentrent sur des ressources exploitables localement comme les co-produits issus de la culture du lin, du tournesol ou du maïs par exemple (Grădinaru et al., 2021; Lagouin et al., 2018; Ratsimbazafy, 2022). En parallèle, pour compléter les campagnes expérimentales -relativement chronophages sur les matériaux bio-sourcés-, quelques travaux de modélisation émergent dans la littérature mais il se concentrent exclusivement sur la chènevotte et, pour la plupart, ne considèrent pas l'anisotropie des matériaux (Collet and Prétot, 2014; Huang et al., 2023, 2022; Tran-Le et al., 2019).

Dans ces travaux, une étude bibliométrique, une approche interdisciplinaire et une modélisation multi-échelle sont menées de manière complémentaire. L'objectif est d'identifier des axes de recherche inexplorés, de mieux comprendre les phénomènes physico-chimiques qui s'opèrent sous les conditions d'usage et de les intégrer dans des modèles prédictifs du comportement thermique des matériaux bio-sourcés.

II. METHODES

A. Etude bibliométrique

Dans le but d'identifier de nouvelles pistes exploratoires dans la thématique des matériaux de construction bio et géo-sourcés, une analyse bibliométrique est menée à partir d'informations collectées sur la base de données Web of Science. Ainsi, le traitement de ce large corpus de références fiabilise les résultats. Cette démarche peut s'inscrire en complément d'une analyse bibliographique conventionnelle. En effet, ce type d'étude permet de pointer les sujets encore peu explorés dans la littérature, offrant de nouvelles perspectives pour repousser les limites des connaissances actuelles. Elle a été réalisée en utilisant le logiciel de visualisation de réseaux bibliométriques VOSviewer, outil à la fois pertinent et didactique (Arruda et al., 2021). Le principe de la méthode appliquée est résumé dans la figure 1 pour le cas des matériaux bio et géo-sourcés. Une analyse bibliométrique complémentaire a été réalisée pour les sous-catégories suivantes : « ressources premières » des matériaux bio-sourcés et « techniques de construction » des matériaux géo-sourcés.

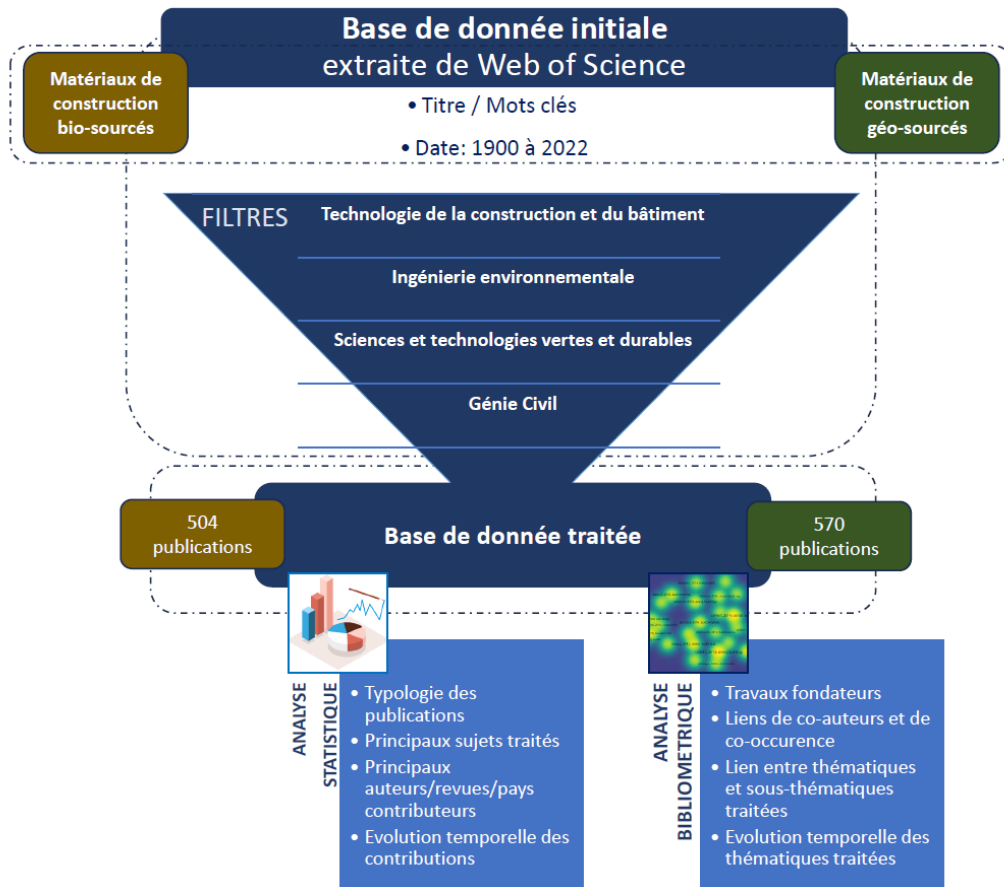


FIGURE 1. Schéma récapitulatif de l'étude bibliométrique menée.

Cette étude permet également d'identifier les principaux contributeurs dans le domaine des matériaux de construction bio-sourcés. En effet, face aux difficultés de mesure de certains paramètres hygro-thermiques (Colinart and Magniont, 2025; Seng et al., 2019), il est essentiel de s'appuyer sur les résultats expérimentaux produits par des spécialistes du domaine, dont les travaux offrent une base relativement fiable pour le développement de modèles de prédiction du comportement thermique.

B. Etude interdisciplinaire

Les matériaux de construction bio-sourcés ont la capacité remarquable de pouvoir réguler de manière passive l'humidité de l'ambiance intérieure du bâti. Associé à cette propriété naturelle de sorption-désorption d'eau, un phénomène de retrait-gonflement hystérétique est observé au niveau des granulats végétaux, de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique, sans que le phénomène physique sous-jacent ne soit clairement identifié et compris à ce jour (Achour et al., 2022; Benhaled et al., 2018; Reuge et al., 2018). Ainsi, en explorant une voie interdisciplinaire qui mêle chimie, physique et génie civil, une analyse argumentée est menée en s'appuyant notamment sur des résultats récents de simulation moléculaire (Chen et al., 2018). La nature cellulosique des granulats végétaux est exploitée pour mieux comprendre les interactions qui ont lieu, sous l'effet de l'humidité relative et de la température, au niveau de la paroi végétale (Antlauf et al., 2021). Appréhender les modes de fixation de l'eau dans les matériaux bio-sourcés

constitue un enjeu majeur afin de proposer une modélisation pertinente, en cohérence avec les phénomènes qui se jouent au niveau microstructural.

C. Etude multi-échelle

Le choix des techniques de modélisation est motivé par un usage à la fois simple (temps de calcul limité, accessibilité des données d'entrée par caractérisation de la ressource) et pertinent (adéquation avec la réelle morphologie du matériau). Les méthodes d'homogénéisation numérique sont écartées en première intention, compte tenu de leur impact environnemental (Perea et al., 2023). Les techniques d'homogénéisation utilisées dans ces travaux se basent sur la théorie des champs moyens. Elles sont couramment utilisées dans de nombreux domaines concernant la science des matériaux (Carpentier et al., 2024; Jeancolas, 2018). Le principe est d'accéder aux propriétés d'un élément à partir d'informations liées à sa microstructure. On définit ainsi un volume élémentaire représentatif (V.E.R) dans lequel des inclusions baignent dans une phase liante matricielle. Le tenseur de conductivité thermique homogénéisé Λ^{hom} s'obtient grâce à la théorie classique d'Eshelby (Eshelby, 1957) par la formule suivante :

$$\Lambda^{hom} = \sum_{i=0}^n f_i \Lambda \cdot \mathbb{A}_i = \Lambda_0 + \sum_{i=1}^n f_i (\Lambda_i - \Lambda_0) \cdot \mathbb{A}_i \quad (1)$$

Où Λ_0 est le tenseur de conductivité thermique de la matrice (0), f_i et Λ_0 respectivement la fraction volumique et le tenseur de conductivité thermique des inclusions (i), \mathbb{A}_i un tenseur de localisation d'ordre 2. Ce dernier est estimé grâce au schéma de Mori Tanaka ou celui de double inclusion (Mori and Tanaka, 1973; Hori and Nemat-Nasser, 1993). Il permet de prendre en compte à la fois la forme des inclusions et leur orientation. Ceci est particulièrement intéressant puisque les particules végétales peuvent avoir des morphologies sphériques ou plutôt cylindriques, que ce soit d'un point de vue macro ou microscopique (Ratsimbazafy, 2022). En outre, selon la technique de mise en œuvre utilisée, on remarque une orientation préférentielle des particules végétales à l'échelle du matériau (Younes and Youssef, 2017). Les modèles développés favorisent la considération de cette anisotropie multi-échelle, présente de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique (modèles R ou B au niveau particulaire selon la morphologie réelle, cf. figure 2). Ils s'inspirent d'images issues de la tomographie à rayons X ou de la Microscopie Electronique à Balayage (Lagouin et al., 2019b; Viel, 2018). Toutefois, il est important de souligner que face à un manque de données microstructurales dans la littérature, des hypothèses sont parfois nécessaires. Ainsi, le squelette solide des particules végétales est considéré constitué de cellulose uniquement (composé chimique majoritaire) pour obtenir une valeur de conductivité thermique de cette phase dans la modélisation (Ratsimbazafy, 2022). La température affecte la conductivité thermique de la paroi végétale ainsi que celle de l'air, présent en grande quantité dans les matériaux étudiés compte tenu de leur porosité multi-échelle (Antlauf et al., 2021; Tsilingiris, 2008).

Le passage de l'échelle particulaire à l'échelle matériau est réalisé grâce à un processus d'homogénéisation itératif qui intègre les différentes contraintes d'usage. La prise en compte des différents phénomènes physiques identifiés sous ces dernières (sorption de l'eau, variation de la conductivité thermique avec la température) s'appuie sur les résultats de l'analyse interdisciplinaire menée précédemment. Ainsi, la compréhension et la description faite au préalable du phénomène d'hystérésis à l'échelle moléculaire, permet de comprendre où se fixe

l'eau à l'échelle microstructurale. En conséquence, le phénomène de sorption d'eau a été considéré au niveau de l'espace poral intra-particulaire de la particule végétale. Le processus itératif d'homogénéisation développé dans cette étude est résumé dans la figure 2. Celle-ci permet de préciser à quelle échelle, i.e. à quelle étape d'homogénéisation, les différents effets sont considérés (température, humidité relative, anisotropie).

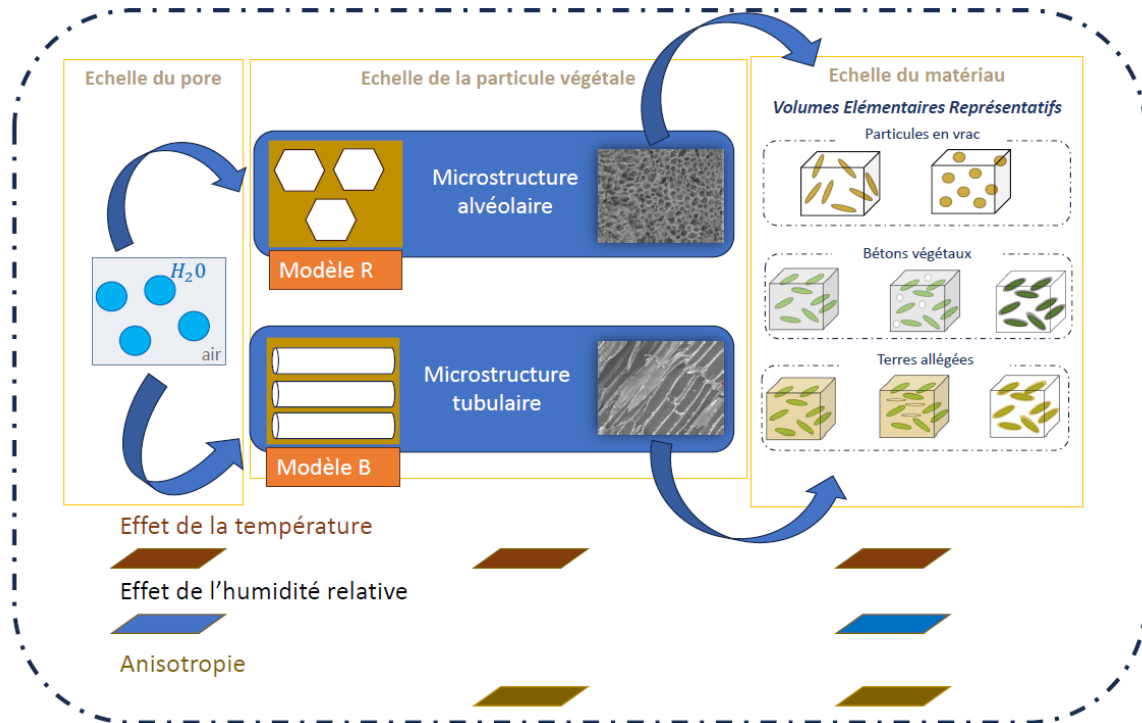


FIGURE 2. Étapes de la triple homogénéisation proposée dans cette étude pour accéder à la conductivité thermique de différents matériaux bio-sourcés (sous les contraintes d'usage et avec prise en compte de l'anisotropie).

Cette méthode a été validée dans un premier temps sur des panneaux de moelle de tournesol fabriqués selon un process peu énergivore et sans aucun liant (assimilés ainsi à des particules en vrac). Ils ont été exposés à différentes conditions de température et d'humidité relative pour permettre de comparer les valeurs de conductivité thermique expérimentales aux valeurs issues de la triple homogénéisation (S. Rosa Latapie et al., 2023). Ensuite, des modèles prédictifs ont été développés pour différents types de matériaux bio-sourcé, à partir de cette homogénéisation multiple. Les résultats ont été comparés à ceux issus des travaux expérimentaux pour apprécier leur pertinence. Le tableau 1 résume les matériaux considérés, les références associées et les valeurs de conductivité thermique mesurées expérimentalement.

TABLEAU 1. Référence des principaux matériaux considérés dans l'étude pour le développement de modèles prédictifs de leur conductivité thermique effective.

Matériau	Référence associée	Masse volumique (kg.m ⁻³)	Conductivité thermique mesurée expérimentalement (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
Panneaux de moelle de tournesol sans liant *	(S. Rosa Latapie et al., 2023)	35	0,032-0,039 (Selon conditions de température et d'humidité relative)
Chènevotte en vrac	(Ratsimbazafy, 2022)	100	0,049 ± 0,001
Terre allégée à base de chènevotte	(Laborel-Préneron et al., 2018)	1519 1271	0,030 ± 0,01 0,020 ± 0,01
Terre allégée à base d'écorce de tournesol	(Belayachi et al., 2022)	714	0,158 ± 0,01
Béton végétal à base de chaux et d'écorce de tournesol	(Lagouin et al., 2019a)	540	0,127 ± 0,008
Béton végétal à base de métakaolin et d'écorce de tournesol		511	0,128 ± 0,009

* Matériau témoin développé dans l'étude qui a servi à valider le processus de triple homogénéisation

III. RESULTATS

A. Bilan et nouvelles perspectives de travail

L'approche méthodologique présentée permet de fournir un éclairage nouveau sur la discipline des matériaux de construction bio-sourcés d'une part, et géo-sourcés d'autre part (Séverine Rosa Latapie et al., 2023a). L'analyse statistique menée identifie les principaux pays, journaux et auteurs contributeurs dans chacun des domaines. Aussi, il apparaît clairement que les travaux concernant ces thématiques de recherche émergent depuis une vingtaine d'année seulement. Le bois et la chènevotte sont de loin les matières premières les plus abordées dans la littérature tandis que la technique du pisé reste à ce jour la plus documentée concernant la construction en terre crue. De manière intéressante, on note une diversification des ressources étudiées à partir de 2015 (paille, lin, riz) et un intérêt croissant et récent pour les enduits terre crue, l'adobe ou encore le torchis.

La visualisation des cartes de réseaux bibliométriques permet une lecture transversale des références de la littérature en identifiant :

- Les principaux travaux fondateurs de la discipline (i.e les plus cités par les auteurs du domaine).
- Les collaborations entre auteurs (et donc entre laboratoires de recherche).
- Les thématiques principalement abordées jusqu'à ce jour en distinguant des sous catégories.

La figure 3 illustre notamment les résultats (affichés en anglais par le logiciel) pour le cas général des matériaux de construction bio-sourcés.

TABLEAU 2 Principales conclusions de l'étude bibliométrique menée (Séverine Rosa Latapie et al., 2023a).

Domaine	Principales sous-catégories étudiés	Principaux auteurs	Perspectives de recherche
Matériaux de construction bio-sourcés	Chênevotte Bois Paille	Collet F. Lanos C. Blanchet P. Magniont C. Habert G. Pretot S. Lawrence Mike Langlet T. Maalouf C.	Modélisation * Physique* Microstructure* Composition chimique* Durabilité Energie Diversité de la ressource* Structuration de filières locale
		Aubert J.E. Faria P. Laborel-Préneron A. Magniont C. Humberto V. Niroumand H. Pinto J.F Beckett C. Zai M.F.M Hamard E.	Modélisation* Physique* Microstructure* Variabilité de la terre crue* Du savoir-faire traditionnel aux techniques modernes Idées préconçues sur le matériau terre

* Thématiques abordées dans les travaux menés dans le cadre de cette thèse.

B. Des liaisons hydrogène différenciées à l'origine de l'hystérésis

Un nouveau mode de fixation de l'eau est proposé dans les matériaux biosourcés, basé sur l'établissement de liaisons hydrogène entre les molécules d'eau de l'ambiance intérieure et les chaînes de cellulose constituant les granulats végétaux. Une différenciation de ces liaisons entraîne différentes conséquences à la fois sur le plan microstructural et macroscopique, ce qui explique un certain nombre de phénomènes relayés dans la littérature (Séverine Rosa Latapie et al., 2023b) . De nouvelles pistes de réflexion s'ouvrent ainsi sur le phénomène d'hystérèse qui peut s'expliquer, selon l'analyse faite, par le schéma de la figure 4.

La fixation de l'eau ainsi décrite permet d'étayer l'hypothèse d'un impact de l'humidité relative sur la conductivité thermique des matériaux bi-sourcés dès l'échelle porale, concentrée principalement sur le granulat végétal et non sur le liant (dès lors que ce dernier a un caractère minéral, à distinguer des liants à base de terre crue qui ont également un caractère hygroscopique).

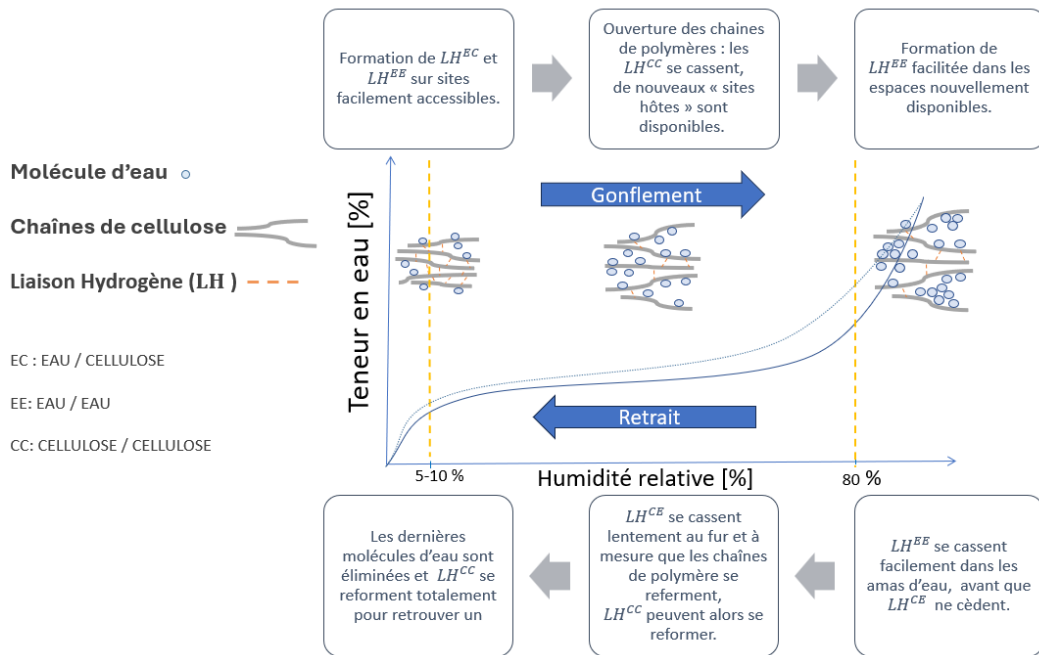


FIGURE 4. Mécanisme d'hystérésis dans les matériaux de construction biosourcés expliqué par des liaisons hydrogène différenciées.

C. De la prédiction à l'optimisation du comportement thermique

- Validation de la méthode proposée

Le processus de triple homogénéisation est validé en comparant les valeurs mesurées expérimentalement aux valeurs données par la modélisation sur les panneaux de moelle de tournesol. La cohérence de la modélisation est remarquable (figure 5) : les valeurs mesurées se situent systématiquement dans la gamme prévue par le modèle (prenant en compte les valeurs extrémales de porosité particulière).

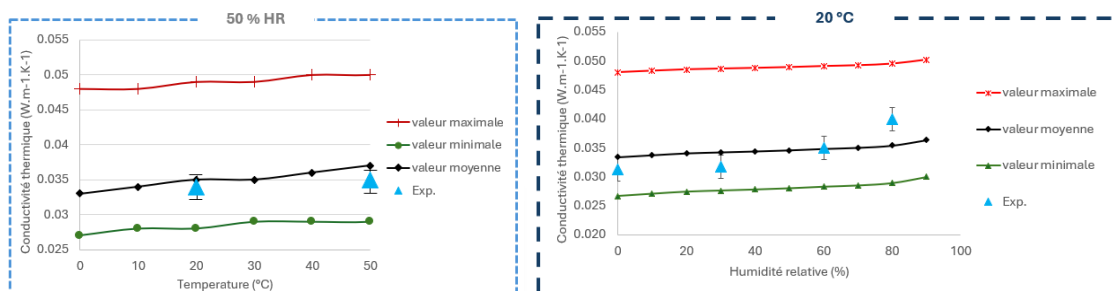


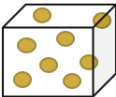
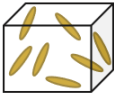
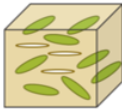
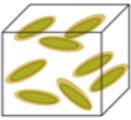
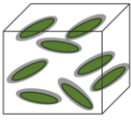
FIGURE 5. Comparaison des valeurs modélisées aux valeurs expérimentales sur les panneaux de moelle de tournesol sous différentes contraintes d'usage (S. Rosa Latapie et al., 2023)

Les deux premières étapes du processus itératif proposé permettent l'accès à la conductivité thermique particulière d'une large gamme de co-produits agricoles tout en prenant en compte la morphologie des granulats végétaux et la variabilité due aux contraintes d'usage (S. Rosa Latapie et al., 2024). La dernière étape d'homogénéisation fournit des modèles prédictifs pour différents types de matériaux bio-sourcés.

- Modèles prédictifs et étude paramétrique

Le processus d'homogénéisation multiple est ensuite appliqué à différents matériaux et validé par comparaison aux valeurs expérimentales (cf. tableau 1), puis une nouvelle phase de modélisation est proposée pour explorer différents facteurs d'optimisation (cf. tableau 3).

TABLEAU 3. Bilan des modèles développés et validés au regard des valeurs expérimentales et facteurs d'optimisation des formulations et des techniques mise en œuvre.

Type de matériau étudié	Modèle prédictif validé (V.E.R)	Hypothèses de modélisation (Schéma d'homogénéisation)	Ecart maximal à la valeur expérimentale	Facteurs d'optimisation
<i>Panneaux isolants à base de 100 % moelle de tournesol **</i>		Particules isotropes baignant dans une matrice composée d'air (Mori-Tanaka)	10% sur toute la gamme d'usage (température et humidité relative)	<i>Non étudié</i>
<i>Chênevotte en vrac **</i>		Particules transversalement isotropes baignant dans une matrice composée d'air Orientation isotrope des particules (Mori-Tanaka)	Moins de 5 % à l'état sec	Anticiper le tassement (forme des particules / technique de mise en œuvre) dans la paroi sur le long terme
<i>Terres allégées*</i>		Particules transversalement isotropes baignant dans une matrice composée de terre crue Porosité additionnelle (inclusion) pour prendre en compte notamment la fissuration après séchage (Mori-Tanaka)	3% après calibration de la fissuration	Changement de co-produit agricole Orientation unidirectionnelle des granulats
		Particules transversalement isotropes baignant enrobées de terre crue baignant dans une matrice composée d'air (Double inclusion)	1 % après la calibration de l'enrobage	
<i>Bétons végétaux*</i>		Particules transversalement isotropes enrobées de liant hydraulique baignant dans une matrice composée d'air (Double inclusion)	4 % après la calibration de l'enrobage	

* Modèles validés par des valeurs expérimentales issues de la littérature

** Modèles validés par des campagnes expérimentales menées dans les travaux présentés ici.

Le changement des paramètres dans les modèles (nature du granulat/liant, orientation/forme des particules végétales) permet d'apporter des éléments complémentaires aux campagnes expérimentales. Les résultats de la modélisation montrent que la forme des granulats a peu d'effet sur la conductivité thermique des matériaux, contrairement aux effets d'orientation préférentielle. Par ailleurs, la nature du granulat joue un rôle clé dans les performances thermiques des matériaux bio-sourcée (Latapie, 2023; Rosa Latapie et al., 2024; Rosa Latapie et al., 2025).

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'originalité des travaux présentés réside dans l'approche interdisciplinaire menée. Cette dernière s'avère particulièrement pertinente pour lever différents verrous concernant la prédiction du comportement thermique des matériaux bio et géo-sourcés. Ainsi, l'exploration de différentes échelles au sein de ces matériaux permet d'isoler certains phénomènes physiques pour mieux les appréhender dans les modèles prédictifs proposés. D'une part, l'échelle stratégique du granulat végétal donne la possibilité de contourner la difficulté liée à la variabilité de la ressource. D'autre part, la compréhension des phénomènes de sorption de l'eau dès l'échelle moléculaire supporte les hypothèses faites à l'échelle porale pour la modélisation. Ainsi, l'effet des contraintes d'usage (température et humidité relative) sur le comportement thermique est cohérent avec les phénomènes physiques associés. Les modèles développés -à la fois pour différents types de matériaux (isolation en vrac, panneau isolant, béton végétal, terre allégée) et un grand nombre de co-produits agricoles (chènevotte, moelle et écorce de tournesol, tige de miscanthus, paille de blé...) - ont démontré leur pertinence par comparaison à des valeurs expérimentales. Enfin, ces modèles révèlent certaines pistes d'optimisation des propriétés d'isolation qui sont à ce jour difficiles à appréhender d'un point de vue expérimental. Face aux enjeux environnementaux auxquels nos sociétés sont aujourd'hui confrontées, ces travaux contribuent pleinement à une démarche de valorisation des matières premières locales (co-produits agricoles) dans les matériaux de la construction.

L'accessibilité des données d'entrée des modèles développés favorise une applicabilité rapide de cette contribution, au plus près des besoins et des attentes des acteurs des économies locales. Toutefois, des travaux complémentaires sont nécessaires pour accéder à davantage de données microstructurales des matériaux (qui font défaut dans la littérature) et ainsi assurer la robustesse des méthodes proposées ici. Par ailleurs, la prise en compte de la nature organique des matériaux étudiés est probablement un facteur clé pour progresser dans la connaissance des matériaux bio et géo-sourcés. Ainsi, favoriser l'interdisciplinarité et la collaboration avec des chimistes et biologistes notamment, est une piste exploratoire très prometteuse pour la suite de ces travaux. Enfin, face à la diversité inhérente aux ressources premières, l'appui d'outils puissants issus de l'Intelligence Artificielle est une perspective inspirante. Les réseaux de neurones ou encore la notion de jumeaux numériques constituent probablement un potentiel fort de développement futur.

REMERCIEMENTS

L'autrice remercie l'ADEME et le projet LOCABATI pour leur soutien financier

REFERENCES

- Achour, C., Remond, S., Belayachi, N., 2022. Mesure du gonflement-retrait des granulats végétaux par analyse d'image. *Acad. J. Civ. Eng.* 40, 104–107. <https://doi.org/10.26168/ajce.40.1.26>
- Antlauf, M., Boulanger, N., Berglund, L., Oksman, K., Andersson, O., 2021. Thermal Conductivity of Cellulose Fibers in Different Size Scales and Densities. *Biomacromolecules* 22, 3800–3809. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.1c00643>
- Arruda, H., Silva, E.R., Lessa, M., Proença, D., Bartholo, R., 2021. VOSviewer and Bibliometrix. *J. Med. Libr. Assoc. JMLA* 110, 392–395. <https://doi.org/10.5195/jmla.2022.1434>
- Belayachi, N., Ismail, B., Broard, Y., 2022. Propriétés effectives thermiques d'un bio-composite à base de tournesol. *Acad. J. Civ. Eng.* 40, 240–243. <https://doi.org/10.26168/ajce.40.1.59>
- Benhaled, M., Ouldboukhitine, S.-E., Amziane, S., 2018. Modélisation théorique et expérimentale du comportement énergétique et environnemental des matériaux de construction biosourcés. *Acad. J. Civ. Eng.* 36, 611–614. <https://doi.org/10.26168/ajce.36.1.132>
- Carpentier, N., Raffa, M.L., da Silva Botelho, T., Klinkova, O., 2024. Assemblages collés, modélisation numérique et homogénéisation, in: 16ème Colloque National En Calcul de Structures (CSMA 2024). CNRS and CSMA and ENS Paris-Saclay and CentraleSupélec, Hyères, France.
- Chen, M., Coasne, B., Guyer, R., Derome, D., Carmeliet, J., 2018. Role of hydrogen bonding in hysteresis observed in sorption-induced swelling of soft nanoporous polymers. *Nat. Commun.* 9, 3507. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05897-9>
- Colcanap, G., Rousseau-Hans, F., 2021. Pour une bibliométrie ouverte et responsable. *Arabesques* 12–15. <https://doi.org/10.35562/arabesques.2719>
- Colinart, T., Magniont, C., 2025. RILEM TC 275-HDB: results of round-robin testing for the vapor permeability of hemp concrete. *Mater. Struct.* 58. <https://doi.org/10.1617/s11527-025-02644-7>
- Collet, F., Prétot, S., 2014. THERMAL CONDUCTIVITY OF HEMP CONCRETES: VARIATION WITH FORMULATION, DENSITY AND WATER CONTENT. *Constr. Build. Mater.* 65, 612–619. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.039>
- Eshelby, J.D., 1957. The Determination of the Elastic Field of an Ellipsoidal Inclusion, and Related Problems. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. A* 241, 376–396. <https://doi.org/10.1098/rspa.1957.0133>
- Grădinaru, C.M., Șerbănoiu, A.A., Șerbănoiu, B.V., 2021. Sunflower Stalks versus Corn Cobs as Raw Materials for Sustainable Concrete. *Materials* 14, 5078. <https://doi.org/10.3390/ma14175078>
- Hori, M., Nemat-Nasser, S., 1993. Double-inclusion model and overall moduli of multi-phase composites. *Mech. Mater.* 14, 189–206. [https://doi.org/10.1016/0167-6636\(93\)90066-Z](https://doi.org/10.1016/0167-6636(93)90066-Z)
- Huang, G., Abou-Chakra, A., Geoffroy, S., Absi, J., 2023. A multiscale homogenization model on thermal conductivity of bio-based building composite considering anisotropy, imperfect interface and moisture. *Constr. Build. Mater.* 377, 131156. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131156>
- Huang, G., Guéry, A., Absi, J., Geoffroy, S., 2022. Optimization of mechanical properties in anisotropic bio-based building materials by a multiscale homogenization model. *J. Build. Eng.* 57, 104890. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104890>
- Jeancolas, A., 2018. Étude expérimentale et modélisation micromécanique du comportement de composites hybrides : optimisation de la conductivité thermique (These de doctorat). Université de Lorraine.
- Laborel-Préneron, A., Magniont, C., Aubert, J.-E., 2018. Hygrothermal properties of unfired earth bricks: Effect of barley straw, hemp shiv and corn cob addition. *Energy Build.* 178, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.021>
- Lagouin, M., 2020. Caractérisation et optimisation multiphysiques d'une paroi bicouche bio et géosourcée (These de doctorat). Toulouse 3.
- Lagouin, M., Magniont, C., Sénéchal, P., Moonen, P., Aubert, J.-E., 2018. Etude du potentiel des écorces de tournesol et de maïs comme granulats végétaux dans la formulation de bétons légers. *Acad. J. Civ. Eng.* 36, 29–33. <https://doi.org/10.26168/ajce.36.1.8>
- Lagouin, M., Magniont, C., Sénéchal, P., Moonen, P., Aubert, J.-E., Laborel-préneron, A., 2019a. Influence of types of binder and plant aggregates on hygrothermal and mechanical properties of vegetal concretes. *Constr. Build. Mater.* 222, 852–871. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.004>
- Lagouin, M., Sénéchal, P., Moonen, P., Magniont, C., Aubert, J.-E., Laborel-Préneron, A., 2019b. Potential of X-ray tomography for the exploration of vegetal concretes' porous structure. Presented at the 3rd International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM).
- Latapie, S., 2023. Contributions of micromechanics in the characterisation of heat transfer: a multi-scale model to take into account the variability of the thermal conductivity of a biosourced wall. *Acad. J. Civ. Eng.* 41, 77–86. <https://doi.org/10.26168/ajce.41.1.8>
- Lecompte, T., 2020. Le chanvre dans les bâtiments de demain : atouts, freins et enjeux. *Ann. Bretagne Pays L'Ouest Anjou Maine Poitou-Charente Touraine* 193–207. <https://doi.org/10.4000/abpo.6361>
- Magniont, C., 2010. Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources (These de doctorat). Toulouse 3.
- Mori, T., Tanaka, K., 1973. Average stress in matrix and average elastic energy of materials with misfitting inclusions. *Acta Metall.* 21, 571–574. [https://doi.org/10.1016/0001-6160\(73\)90064-3](https://doi.org/10.1016/0001-6160(73)90064-3)
- Perea, C., Gérard, J., Benedittis, J.D., 2023. L'impact environnemental du numérique, un enjeu encore mal pris en compte par les entreprises. *Conversat. Fr.*
- Pestre, T., Cheze, O., 2023. Outil d'évaluation de l'impact environnemental des produits de construction en pierre naturelle., in: Journées Nationales de La Maçonnerie. École Centrale de Lyon, Lyon, France.
- Ratsimbazafy, H.H., 2022. Évaluation du potentiel de co-produits agricoles locaux valorisables dans le domaine des matériaux de construction (PALOMAC) (phdthesis). Université Paul Sabatier - Toulouse III.
- Reuge, N., Moissette, S., Bart, M., Collet, F., Lanos, C., 2018. Modèle de cinétique locale de sorption couplé au phénomène d'hystérésis pour les matériaux biosourcés. *Acad. J. Civ. Eng.* 36, 43–46. <https://doi.org/10.26168/ajce.36.1.11>

- Rosa Latapie, S., Abou-Chakra, A., Sabathier, V., 2025. Use of Local Resources in Plant-Based Concretes: Exploring Thermal Performance Through Multi-Scale Modeling. *Constr. Mater.* 5, 27. <https://doi.org/10.3390/constrmater5020027>
- Rosa Latapie, Séverine, Abou-Chakra, A., Sabathier, V., 2023a. Bibliometric Analysis of Bio- and Earth-Based Building Materials: Current and Future Trends. *Constr. Mater.* 3, 474–508. <https://doi.org/10.3390/constrmater3040031>
- Rosa Latapie, Séverine, Abou-Chakra, A., Sabathier, V., 2023b. Microstructure of Bio-Based Building Materials: New Insights into the Hysteresis Phenomenon and Its Consequences. *Buildings* 13, 1650. <https://doi.org/10.3390/buildings13071650>
- Rosa Latapie, S., Lagouin, M., Sabathier, V., Abou-Chakra, A., 2023. From aggregate to particleboard: A new multi-scale model approach to thermal conductivity in bio-based materials. *J. Build. Eng.* 78, 107664. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107664>
- Rosa Latapie, S., Sabathier, V., Abou-Chakra, A., 2024. Bio-based building materials: A prediction of insulating properties for a wide range of agricultural by-products. *J. Build. Eng.* 108867. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108867>
- Rosa Latapie, Séverine, Sabathier, V., Abou-Chakra, A., 2024. Thermal Performance of Lightweight Earth: From Prediction to Optimization through Multiscale Modeling. *Constr. Mater.* 4, 543–565. <https://doi.org/10.3390/constrmater4030029>
- Seng, B., Magniont, C., Lorente, S., 2019. Characterization of a precast hemp concrete. Part I: Physical and thermal properties. *J. Build. Eng.* 24, 100540. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.016>
- Trachte, S., Stiernon, D., 2023. Choix équilibré d'un isolant thermique en rénovation: Comment répondre aux exigences de performance énergétique tout en limitant l'impact environnemental global et en favorisant la circularité des matières ? lieuxdits 14–21. <https://doi.org/10.14428/ld.vi24.82263>
- Tran-Le, A.D., Nguyen, S.-T., Langlet, T., 2019. A novel anisotropic analytical model for effective thermal conductivity tensor of dry lime-hemp concrete with preferred spatial distributions. *Energy Build.* 182, 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.043>
- Tsilingiris, P.T., 2008. Thermophysical and transport properties of humid air at temperature range between 0 and 100°C. *Energy Convers. Manag.* 49, 1098–1110. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.09.015>
- Viel, M., 2018. Développement de composites bio-sourcés destinés à l'isolation des bâtiments (phdthesis). Université de Rennes.
- Younes, A.Y., Youssef, A., 2017. Prise en compte des apports mécaniques du béton de chanvre pour le calcul de structure bois/béton de chanvre et métal/béton de chanvre (phdthesis). Université de Bretagne Sud.