

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département Génie civil.

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER 2

FILIERE : Génie civil

SPECIALITE : Matériaux en génie civil

Par

➤ **Belounnas Mebarek Amine**

➤ **Benterkia Adel**

Intitulé

Développement d'une brique écologique, légère et isolante

Soutenu le : 11 juin 2026

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. Abdelaziz Khennouf</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Belkadi Ahmed Abderraouf</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme. Dridi Meriem</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Benaammar Abdelhafid</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Belmarieul Farid</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2025/2026

Remerciements

Avant toute chose, nous rendons grâce à Allah, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la santé, la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail de recherche.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents et à nos familles pour leur amour inconditionnel, leur soutien moral, leurs encouragements constants et les sacrifices consentis tout au long de notre parcours académique. Leur confiance et leur présence ont constitué une source permanente de motivation.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail et pour l'intérêt qu'ils portent à cette recherche.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à nos directeurs de thèse, Dr Dridi Meriem et Dr Belkadi Ahmed Abderaouf, pour leur encadrement scientifique, leur disponibilité, leurs conseils avisés, leur rigueur méthodologique ainsi que leur soutien constant tout au long de la réalisation de cette thèse. Leurs compétences, leurs orientations et leurs encouragements ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des membres des laboratoires de Génie Civil de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj pour leur aide précieuse, leur collaboration et les moyens techniques mis à notre disposition durant les différentes phases expérimentales de cette étude.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les enseignants du Département de Génie Civil qui ont contribué à notre formation scientifique et académique et dont les enseignements ont constitué une base essentielle pour la réalisation de cette recherche.

Enfin, nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce travail et nous ont apporté leur soutien tout au long de cette expérience scientifique et humaine.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

À mon père et à ma mère bien-aimée, qui ont toujours été une source de soutien et de force pour moi, et qui ont semé en moi l'amour du savoir et de la persévérance.

Je leur exprime toute ma gratitude et mon affection.

À mes frères, mes sœurs et toute ma famille, qui m'ont soutenue et encouragée tout au long de mon parcours universitaire, et qui ont toujours été à mes côtés dans les moments de difficulté comme de réussite.

À tous les enseignants et professeurs qui m'ont guidée vers le chemin du savoir et de la réussite, et qui m'ont apporté leur aide et leurs précieux conseils avec sincérité et dévouement.

Adel

Dédicace

À mes très chers parents, en témoignage de ma profonde gratitude pour leur amour, leurs sacrifices, leurs encouragements et leur soutien indéfectible tout au long de mon parcours.

À mes frères, mes sœurs et à toute ma famille, pour leur affection, leur confiance et leur soutien constant.

À tous mes enseignants et professeurs, pour leur accompagnement, leurs précieux conseils et leur contribution à ma formation.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Avec toute ma reconnaissance et mon profond respect.

Mebarek

Résumé

Face aux enjeux actuels liés à la réduction de la consommation énergétique, à la préservation des ressources naturelles et à la protection de l'environnement, le développement de matériaux de construction innovants et durables constitue une priorité majeure dans le secteur du bâtiment. Les briques légères représentent une solution prometteuse grâce à leur faible masse volumique, leurs propriétés d'isolation thermique et acoustique ainsi que leur contribution à l'amélioration de l'efficacité énergétique des constructions.

Cette thèse porte sur l'étude de l'influence du polystyrène expansé (EPS) sur les propriétés physiques, mécaniques et thermiques des briques légères à base de ciment. L'EPS est un matériau alvéolaire caractérisé par une très faible densité, une faible conductivité thermique et une bonne résistance à l'humidité. Son incorporation dans les matériaux cimentaires permet d'alléger les éléments de construction tout en améliorant leurs performances thermiques.

L'objectif principal de cette recherche est d'évaluer l'effet de différents taux d'incorporation de l'EPS sur les performances des briques afin d'identifier une formulation optimale offrant un compromis satisfaisant entre légèreté, isolation thermique et résistance mécanique. Pour atteindre cet objectif, une campagne expérimentale a été réalisée comprenant la caractérisation des matériaux constitutifs, la formulation des mélanges, la fabrication des éprouvettes ainsi que la réalisation de plusieurs essais normalisés.

Les propriétés étudiées concernent principalement la masse volumique, l'absorption d'eau, la résistance à la compression et les performances thermiques. Les résultats obtenus montrent que l'incorporation de l'EPS entraîne une diminution significative de la densité des briques et une amélioration de leurs capacités isolantes. Toutefois, une réduction progressive des résistances mécaniques est observée avec l'augmentation du taux d'EPS. Cette étude met en évidence la possibilité de développer des briques légères performantes et écologiques répondant aux exigences de la construction durable et de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Abstract

In the context of increasing concerns regarding energy consumption, environmental protection, and sustainable resource management, the development of innovative and sustainable construction materials has become a major challenge for the building sector. Lightweight bricks represent a promising solution due to their low density, thermal and acoustic insulation properties, and their contribution to improving building energy efficiency.

This doctoral research investigates the influence of Expanded Polystyrene (EPS) on the physical, mechanical, and thermal properties of lightweight cement-based bricks. EPS is a cellular material characterized by very low density, low thermal conductivity, and good resistance to moisture. Its incorporation into cementitious materials can significantly reduce the weight of construction elements while enhancing their thermal insulation performance.

The main objective of this study is to evaluate the effect of different EPS incorporation rates on brick performance and to identify an optimal formulation that provides a satisfactory balance between lightness, thermal insulation, and mechanical strength. To achieve this objective, a comprehensive experimental program was carried out, including the characterization of raw materials, mixture design, specimen manufacturing, and the execution of several standardized laboratory tests.

The investigated properties mainly include bulk density, water absorption, compressive strength, and thermal performance. The obtained results indicate that the incorporation of EPS leads to a significant reduction in brick density and an improvement in thermal insulation properties. However, an increase in EPS content is generally accompanied by a gradual decrease in mechanical strength. Despite this limitation, the results demonstrate the feasibility of producing lightweight and environmentally friendly bricks with satisfactory performance for sustainable construction applications. This research contributes to the development of innovative building materials capable of enhancing energy efficiency while promoting the valorization of lightweight and recyclable materials in the construction industry.

الملخص

في ظل التحديات المتزايدة المتعلقة بترشيد استهلاك الطاقة، والمحافظة على الموارد الطبيعية، والحد من التأثيرات البيئية، أصبح تطوير مواد بناء مبتكرة ومستدامة من الأولويات الأساسية في قطاع البناء. وتُعد الطوب الخفيفة من الحلول الواعدة لما تتميز به من انخفاض الكثافة وتحسين خصائص العزل الحراري والصوتي، إضافة إلى مساهمتها في رفع الكفاءة الطاقوية للمباني.

تهدف هذه الأطروحة إلى دراسة تأثير البوليسترين الممدد (EPS) على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية للطوب الخفيف القائم على الإسمنت. ويتميز البوليسترين الممدد بانخفاض كثافته ومعامل توصيله الحراري، بالإضافة إلى مقاومته الجيدة للرطوبة، مما يجعله مادة مناسبة لتحسين الأداء الحراري لمواد البناء وتقليل وزنها.

يتمثل الهدف الرئيسي لهذا العمل في تقييم تأثير نسب مختلفة من إضافة البوليسترين الممدد على أداء الطوب، بهدف تحديد تركيبة مثلى تحقق توازناً بين خفة الوزن والعزل الحراري والمقاومة الميكانيكية. ولتحقيق ذلك، تم تنفيذ برنامج تجريبي شامل تضمن توصيف المواد الأولية، وتحضير الخلطات المختلفة، وتصنيع النماذج، وإجراء مجموعة من الاختبارات المخبرية المعيارية.

شملت الدراسة تقييم الكثافة الظاهرية وامتصاص الماء ومقاومة الضغط والخصائص الحرارية للطوب المصنع. وأظهرت النتائج أن إضافة البوليسترين الممدد تؤدي إلى انخفاض ملحوظ في كثافة الطوب وتحسين قدرته على العزل الحراري، في حين تؤدي زيادة نسبة الإضافة إلى تراجع تدريجي في المقاومة الميكانيكية. ورغم ذلك، أثبتت الدراسة إمكانية إنتاج طوب خفيف وصديق للبيئة يتمتع بخصائص مناسبة للاستخدام في مجال البناء المستدام وتحسين الكفاءة الطاقوية للمباني.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1: Comparaison entre briques traditionnelles et légères.....	15
Tableau 2: Tableau comparatif : briques légères vs briques traditionnelles	18
Tableau 3: Propriétés des briques en fonction de la teneur en cendres de balle de riz	28
Tableau 4: Effet du taux de cendres volantes sur les propriétés des briques cuites	28
Tableau 5: Propriétés des briques poreuses en fonction de la teneur en résidus de papier	29
Tableau 6: Propriétés des briques légères en fonction de la teneur en déchets de thé	30
Tableau 7: Masse volumique approximative (Remplacement des granulats lourds).....	43
Tableau 8: Comparaison des propriétés générales entre les briques conventionnelles et les briques contenant de l'EPS	54
Tableau 9: composition chimique élémentaire de ciment CEM II	57
Tableau 10: Caractéristiques du sable utilisé	58
Tableau 11: Caractéristiques du polystyrène expansé	60
Tableau 12: Compositions des différents mélanges de bétons	60
Tableau 13: Comparaison des performances d'isolation acoustique entre la brique traditionnelle et la brique légère incorporant du polystyrène expansé (EPS)	74

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1: Classification des matériaux de construction [2]	11
Figure 2: La brique monomur	12
Figure 3: La brique réfractaire	13
Figure 4: La brique de verre.....	13
Figure 5: La brique creuse	14
Figure 6: Conductivité thermique	19
Figure 7: Isolation thermique.....	20
Figure 8: Inertie thermique	20
Figure 9: Avantages environnementaux des briques légères.....	22
Figure 10: Évolution de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique sèche des différents bétons légers	25
Figure 11: Influence de la teneur en polystyrène expansé sur la conductivité thermique des composites contenant différentes proportions de PSA.....	26
Figure 12: Évolution de la conductivité thermique en fonction de la température pour différentes teneurs en cendres volantes recyclées	27
Figure 13: Résistance à la compression en fonction de taux de déchets	31
Figure 14: Résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres	32
Figure 15: EPS (Polystyrène expansé)	36
Figure 16: Influence du taux d'incorporation de l'EPS sur la masse volumique du béton.....	44
Figure 17: Évolution de la résistance à la compression selon le taux d'EPS	46
Figure 18: Influence de l'EPS sur la résistance à la flexion	47
Figure 19: Influence de l'EPS sur la résistance à la traction du béton	48
Figure 20: Composition chimique de ciment LC3 et OPC.....	58
Figure 21: Ciment utilisé	58
Figure 22: Analyse granulométrique du sable de dune (OUED SOUF)	59
Figure 23: Malaxage à sec du sable et du ciment.....	61
Figure 24: Ajout de l'eau	61
Figure 25: Incorporation du polystyrène expansé (EPS).....	62
Figure 26: Mise en moule des éprouvettes	62
Figure 27: Vibration et compactage des éprouvettes	63
Figure 28: Conservation et cure des éprouvettes	63
Figure 29: Essai de flexion et de compression sur éprouvettes prismatiques $4 \times 4 \times 16$ cm.	64

Liste des figures

Figure 30 : Processus de la conductivité thermique	64
Figure 31: Résistance à la compression de différents mélanges	68
Figure 32: Résistance à la flexion	69
Figure 33: Masse volumique des différents mélanges	70
Figure 34: Absorption d'eau de différents mélanges	71
Figure 35: Conductivité thermique de différents mélanges.....	72
Figure 36: Test d'isolation acoustique brique conventionnel	73
Figure 37: Test d'isolation acoustique brique léger	74

Table des matières

Table des matières

REMERCIEMENTS

DEDICACE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE.....7

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BRIQUES LEGERES

I.1 INTRODUCTION10

I.2 GENERALITES SUR LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION10

I.2.1 CLASSIFICATION DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION10

I.3 DEFINITION ET CLASSIFICATION DES BRIQUES11

I.3.1 DEFINITION DES BRIQUES.....11

I.3.2 CLASSIFICATION DES BRIQUES11

I.3.2.1 La brique monomur12

I.3.2.2 La brique réfractaire12

I.3.2.3 La brique de verre13

I.3.2.4 La brique creuse13

I.4 BRIQUES TRADITIONNELLES ET BRIQUES LEGERES.....14

I.5 COMPARAISON ENTRE BRIQUES TRADITIONNELLES ET LEGERES.....15

I.6 MATERIAUX UTILISES DANS LES BRIQUES LEGERES15

I.6.1 L'EAU15

I.6.2 LE CIMENT15

I.6.3 LES GRANULATS.....16

I.6.4 LE SABLE16

I.7 PROPRIETES MECANQUES DES BRIQUES LEGERES.....17

I.7.1 RESISTANCE A LA COMPRESSION17

I.7.2 RESISTANCE A LA TRACTION18

I.7.3 TABLEAU COMPARATIF : BRIQUES LEGERES VS BRIQUES TRADITIONNELLES18

I.8 CARACTERISTIQUES THERMIQUES ET ACOUSTIQUES.....18

I.8.1 PROPRIETES THERMIQUES18

I.8.1.1 Conductivité thermique19

I.8.1.2 Isolation thermique.....19

Table des matières

I.8.1.3	Inertie thermique	20
I.8.2	PROPRIETES ACOUSTIQUES	20
I.8.2.1	Isolation acoustique	21
I.8.2.2	Absorption acoustique	21
I.9	AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX DES BRIQUES LEGERES.....	21
I.9.1	VALORISATION DES DECHETS INDUSTRIELS ET DOMESTIQUES	22
I.9.2	PRESERVATION DES RESSOURCES NATURELLES.....	22
I.9.3	REDUCTION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE	23
I.9.4	REDUCTION DES EMISSIONS DE CO ₂	23
I.9.5	REDUCTION DU POIDS DES CONSTRUCTIONS	23
I.9.6	CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT DURABLE	24
I.10	TRAVAUX DE RECHERCHE ANTERIEURS SUR LES BRIQUES ECOLOGIQUES .	24
I.10.1	TRAVAIL DE LOPEZ GOMEZ ET CULTRONE (2023) [17]	24
I.10.2	TRAVAIL DE FERRANDIZ-MAS ET AL. (2014) [18]	25
I.10.3	TRAVAIL DE BROOKS, SHEN ET ZHOU (2020) [19]	26
I.10.4	TRAVAIL DE RAHMAN (1987) [20].....	27
I.10.5	TRAVAIL DE LINGLING ET AL. (2005) [21]	28
I.10.6	TRAVAIL DE SUTCU ET AL. (2009) [22].....	29
I.10.7	TRAVAIL DE DEMIR ET AL. (2005) [23].....	30
I.10.8	TRAVAIL DE ZHANG (2013) [24]	30
I.10.9	TRAVAIL DE SALIH, OSOFERO ET IMBABI (2020) [25].....	31
	CONCLUSION	33
CHAPITRE II : EFFET DE L'EPS SUR LES BRIQUES		
	INTRODUCTION.....	35
II.1	PRESENTATION DE L'EPS	35
II.1.1	HISTORIQUE DU POLYSTYRENE	36
II.2	LES PROPRIETES DE L'EPS (PHYSIQUES, MECANIQUES, THERMIQUES)....	37
II.2.1	PROPRIETES PHYSIQUES DE L'EPS.....	37
II.2.1.1	Masse volumique	37
II.2.1.2	Structure cellulaire fermée.....	37
II.2.1.3	Absorption d'eau.....	37
II.2.2	PROPRIETES MECANIQUES DE L'EPS	38
II.2.2.1	Résistance à la compression	38
II.2.2.2	Élasticité et déformation.....	38

Table des matières

II.2.2.3	Résistance aux chocs	38
II.2.3	PROPRIETES THERMIQUES DE L'EPS.....	39
II.2.3.1	Conductivité thermique	39
II.2.3.2	Résistance thermique.....	39
II.2.3.3	Comportement au feu	40
II.3	METHODES D'INCORPORATION DE L'EPS DANS LES BRIQUES ET BETONS.....	40
II.3.1.	INCORPORATION DIRECTE DES BILLES D'EPS	41
II.3.1.1	Principe.....	41
II.3.2	SUBSTITUTION PARTIELLE DES GRANULATS.....	41
II.3.2.1	Principe	41
II.3.3	PRE-ENROBAGE DES BILLES DE POLYSTYRENE EXPANSE (EPS).....	42
II.3.3.1	Principe	42
II.3.4	INCORPORATION DE DECHETS RECYCLES D'EPS	42
II.3.4.1	Principe	42
II.4	L'INFLUENCE DE L'EPS SUR LA MASSE VOLUMIQUE DES BRIQUES ET BETONS.....	42
II.4.1.1	Remplacement des granulats lourds.....	43
II.4.1.2	Augmentation du volume de vides.....	43
II.4.1.3	Structure cellulaire fermée de l'EPS	43
II.4.1.4	Influence du taux d'incorporation de l'EPS sur la masse volumique du béton ..	44
II.4.2	AVANTAGES DE LA REDUCTION DE MASSE VOLUMIQUE.....	44
II.4.2.1	Réduction des charges permanentes.....	44
II.4.2.2	Facilité de transport et de mise en œuvre	45
II.5	EFFET DE L'EPS SUR LES PROPRIETES MECANIQUES DES BRIQUES.....	45
II.5.1	INFLUENCE DE L'EPS SUR LA RESISTANCE A LA COMPRESSION.....	45
II.5.1.1	Évolution de la resistance a la compression selon le taux d'EPS	46
II.5.2	INFLUENCE SUR LA RESISTANCE A LA FLEXION	47
II.5.3	INFLUENCE SUR LA RESISTANCE A LA TRACTION	47
II.5.4	INFLUENCE SUR LE MODULE D'ELASTICITE	48
II.5.5	INFLUENCE SUR LA RESISTANCE AUX CHOCS.....	49
II.6	EFFET DE L'EPS SUR LES PERFORMANCES THERMIQUES ET ISOLANTES.....	49
II.7	DURABILITE ET COMPORTEMENT ENVIRONNEMENTAL DES BRIQUES A BASE D'EPS	49
II.7.1	DURABILITE DES BRIQUES A BASE D'EPS	50
II.7.1.1	Résistance aux cycles de gel-dégel	50

Table des matières

II.7.1.2	Résistance chimique	51
II.7.1.3	Vieillessement et stabilité à long terme	51
II.7.2	COMPORTEMENT ENVIRONNEMENTAL DES BRIQUES A BASE D'EPS	51
II.7.2.1	Réduction de la consommation énergétique des bâtiments	52
II.7.2.2	Réduction des émissions de CO ₂	52
II.7.2.3	Conservation des ressources naturelles	52
II.7.2.4	Gestion des déchets de construction.....	53
II.7.2.5	Analyse du cycle de vie des briques à base d'EPS	53
II.8	COMPARAISON AVEC LES BRIQUES CONVENTIONNELLES	54
	CONCLUSION	55

CHAPITRE III : MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

	INTRODUCTION	57
III.1	CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES	57
III.1.1	CIMENT	57
III.1.2	SABLE.....	58
III.1.3	EAU DE GACHAGE	59
III.1.4	POLYSTYRENE EXPANSE (EPS).....	59
III.2	COMPOSITION DES DIFFERENTS MELANGES	60
III.3	PREPARATION DES ECHANTILLONS	60
III.4	ESSAIS DE CARACTERISATIONS	63
III.4.1	ESSAIS A L'ETAT DURCIS	63
III.4.1.1	Résistances mécaniques	63
III.4.1.1.1	Résistance à la compression et à la flexion	63
III.4.1.2	Absorbtion.....	64
III.4.1.3	Conductivité thermique.....	64
	CONCLUSION	65

CHAPITRE VI : RESULTATS ET DISCUSSION

	INTRODUCTION	67
IV.1	RESISTANCE A LA COMPRESSION	68
IV.2	RESISTANCE A LA FLEXION.....	69
IV.3	MASSE VOLUMIQUE A SEC	70
IV.4	ABSORPTION D'EAU	71
IV.5	CONDUCTIVITE THERMIQUE.....	72
IV.6	ISOLATION ACOUSTIQUE	73

Table des matières

IV.6.1	BRIQUE TRADITIONNEL	73
IV.6.2	BRIQUE LEGER.....	74
CONCLUSION		76
Conclusion générale.....		78
REFERENCES.....		80

Introduction générale

Introduction générale

Le secteur du bâtiment et des travaux publics est aujourd'hui confronté à une transformation profonde imposée par les enjeux environnementaux, énergétiques et économiques du XXI^e siècle. En effet, l'augmentation constante des besoins en logements et en infrastructures s'accompagne d'une pression croissante sur les ressources naturelles et d'une contribution significative du secteur aux émissions mondiales de gaz à effet de serre. Cette situation place l'industrie de la construction dans une dynamique paradoxale : produire davantage tout en réduisant drastiquement son impact environnemental, notamment à travers la diminution de la consommation d'énergie primaire et l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Dans ce contexte, l'enveloppe du bâtiment joue un rôle fondamental dans la maîtrise des échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur. Les matériaux traditionnels, bien que largement utilisés pour leurs propriétés mécaniques et leur disponibilité, montrent aujourd'hui leurs limites face aux exigences des réglementations thermiques modernes. Cela a conduit la communauté scientifique à s'intéresser au développement de matériaux innovants capables de combiner légèreté, performance thermique et durabilité. Parmi ces solutions, les composites cimentaires légers occupent une place de plus en plus importante.

L'intégration de billes de polystyrène expansé (EPS) dans les matrices cimentaires constitue l'une des approches les plus étudiées pour alléger les matériaux de construction tout en améliorant leurs propriétés isolantes. Grâce à sa structure alvéolaire composée majoritairement d'air, l'EPS permet une réduction significative de la masse volumique ainsi qu'une diminution importante de la conductivité thermique des briques et des bétons. Cette caractéristique en fait un matériau particulièrement intéressant pour les applications liées à l'isolation thermique et à la réduction des charges structurelles.

Cependant, malgré ses avantages fonctionnels, l'utilisation de l'EPS dans les composites cimentaires engendre des défis scientifiques et techniques importants. L'introduction d'une phase polymère souple et hydrophobe au sein d'une matrice minérale rigide modifie profondément la microstructure du matériau. L'interface entre l'EPS et la pâte cimentaire, souvent appelée zone de transition interfaciale, constitue un point faible mécanique qui influence directement les performances globales du composite. Cette incompatibilité mécanique se traduit généralement par une diminution des résistances à la compression, à la traction et à la flexion, ainsi que par une sensibilité accrue aux déformations.

Introduction générale

À ces limitations mécaniques s'ajoutent des contraintes liées à la mise en œuvre des matériaux. La différence de densité entre les billes d'EPS et la matrice cimentaire peut entraîner des phénomènes de ségrégation et de flottation, compromettant ainsi l'homogénéité du mélange et, par conséquent, les performances finales du matériau. La maîtrise de ces phénomènes représente donc un enjeu essentiel pour garantir la reproductibilité et la fiabilité des composites légers à base d'EPS.

Par ailleurs, cette recherche s'inscrit dans une démarche plus large de valorisation des ressources locales et de développement durable. Dans les régions arides, notamment en Algérie, le sable de dune constitue une ressource abondante mais encore sous-exploitée dans le domaine du génie civil. Bien que ses caractéristiques granulométriques posent des défis techniques, son utilisation dans les matériaux de construction pourrait contribuer à réduire la dépendance aux granulats alluvionnaires traditionnels, dont les ressources deviennent de plus en plus limitées et réglementées. Dans cette optique, le sable de dune est considéré non seulement comme un substitut, mais également comme un matériau potentiellement actif dans la formulation de composites innovants.

En parallèle, l'émergence de nouveaux liants à faible empreinte carbone, tels que les ciments ternaires de type LC3 (Limestone Calcined Clay Cement), offre des perspectives prometteuses pour réduire l'impact environnemental des matériaux de construction. Ces liants permettent de diminuer significativement la teneur en clinker Portland, principal responsable des émissions de CO₂ dans la production du ciment, tout en maintenant des performances mécaniques satisfaisantes.

Cette recherche repose sur une approche expérimentale rigoureuse visant, d'une part, à caractériser les constituants utilisés, et d'autre part, à analyser le comportement mécanique, thermique et physique des composites obtenus. L'étude cherche également à identifier les taux optimaux d'incorporation de l'EPS afin de déterminer le meilleur compromis entre légèreté, isolation thermique et résistance mécanique.

Enfin, ce travail ambitionne de contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine des matériaux de construction durables en proposant des solutions innovantes adaptées aux contraintes actuelles du secteur du bâtiment, tout en intégrant les principes de l'économie circulaire et de la réduction de l'empreinte carbone.

CHAPITRE I :

Recherche bibliographique sur les briques légères

I.1 Introduction

Ce chapitre présente les bases fondamentales relatives aux matériaux de construction, en particulier les briques, qui constituent l'un des éléments essentiels dans le domaine du génie civil et du bâtiment. Il retrace l'évolution des matériaux depuis les solutions traditionnelles jusqu'aux matériaux innovants, notamment les briques légères et écologiques, développées pour répondre aux exigences actuelles de performance et de durabilité.

Une analyse détaillée des différentes classifications des briques est proposée, ainsi que des matériaux constitutifs utilisés dans leur fabrication. L'accent est mis sur les propriétés physiques, mécaniques, thermiques et acoustiques, qui conditionnent directement les performances globales des matériaux de construction.

Enfin, ce chapitre met en évidence l'intérêt croissant pour l'intégration de matériaux recyclés et alternatifs dans les briques légères, dans une logique de réduction de l'impact environnemental et d'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.

I.2 Généralités sur les matériaux de construction

Les matériaux de construction constituent l'ensemble des substances utilisées pour la réalisation des ouvrages de génie civil et des bâtiments. Depuis l'Antiquité, l'être humain utilise différents matériaux pour construire des habitations, des infrastructures et des ouvrages adaptés à ses besoins. Avec l'évolution technologique et industrielle, les matériaux de construction ont connu un développement considérable afin de répondre aux exigences de résistance mécanique, de durabilité, de confort et de protection environnementale.

Le choix des matériaux joue un rôle fondamental dans la qualité, la stabilité et la durabilité des constructions. Chaque matériau possède des propriétés physiques, mécaniques, thermiques et chimiques spécifiques qui déterminent son domaine d'utilisation. Aujourd'hui, les préoccupations liées au développement durable et à l'efficacité énergétique ont conduit au développement de nouveaux matériaux écologiques et innovants capables de réduire les impacts environnementaux du secteur du bâtiment. [1]

I.2.1 Classification des matériaux de construction

Les matériaux de construction se répartissent en trois catégories bien connues :

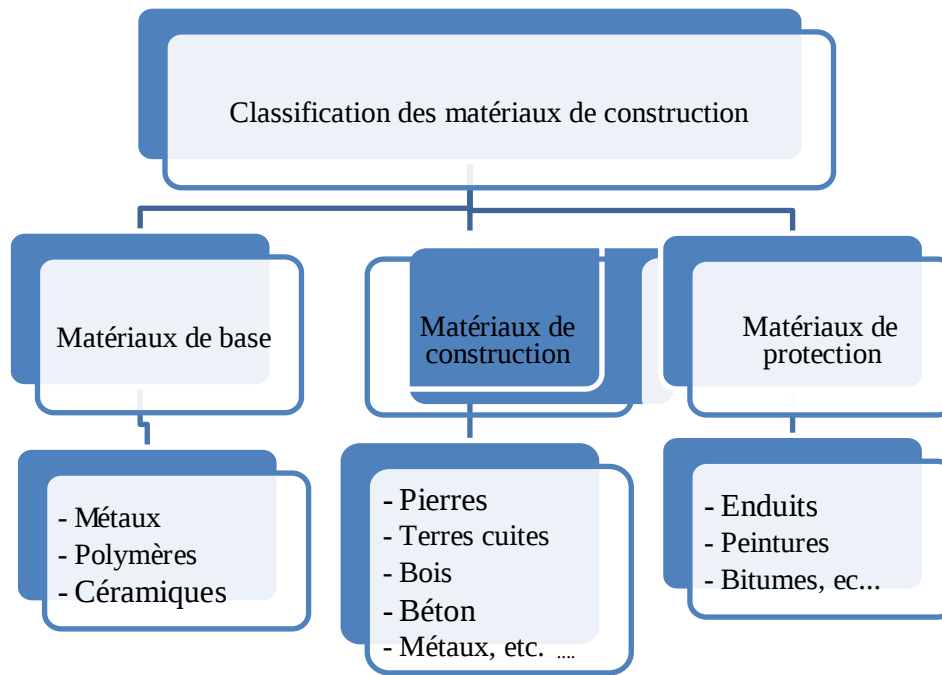


Figure 1: Classification des matériaux de construction [2]

I.3 Définition et classification des briques

I.3.1 Définition des briques

Largement employée dans la réalisation des murs, des cloisons et de diverses structures architecturales. Ses propriétés, telles que la durabilité, la résistance mécanique, la stabilité dimensionnelle et la résistance aux agents climatiques, en font un matériau particulièrement adapté aux applications de construction.

Outre les briques traditionnelles en terre cuite, d'autres types de briques peuvent être produits à partir de matériaux tels que le ciment, la chaux ou des composites innovants. Grâce aux avancées technologiques, les briques sont aujourd'hui disponibles sous différentes formes et dimensions afin de répondre aux exigences techniques, fonctionnelles et architecturales modernes. Associées à des mortiers de liaison, elles permettent la réalisation d'ouvrages durables, résistants et adaptés aux besoins croissants du secteur de la construction. [3]

I.3.2 Classification des briques

Il existe plusieurs types de briques disponibles sur le marché, chacune présentant des avantages et des inconvénients en fonction du type de projet.

La brique pleine, ou brique rouge, est un matériau de construction fabriqué à partir d'argile et de sable cuits à haute température. Naturelle et recyclable, elle offre une bonne résistance

mécanique, une excellente inertie thermique ainsi qu'une résistance à l'humidité. Grâce à sa durabilité, ses performances d'isolation et son coût accessible, elle est largement utilisée dans la construction des bâtiments et des ouvrages de maçonnerie. [4]

I.3.2.1 La brique monomur

La brique monomur est un matériau de construction conçu pour améliorer les performances thermiques des bâtiments en réduisant les ponts thermiques et en maintenant une température intérieure confortable. Grâce à sa structure alvéolaire emprisonnant l'air, elle offre une bonne isolation thermique et acoustique. Généralement plus épaisse qu'une brique traditionnelle, elle peut être fabriquée en terre cuite ou en béton cellulaire. De plus, la présence d'argile contribue à la régulation de l'humidité intérieure, limitant ainsi les risques de condensation et de moisissures. La brique monomur se distingue également par sa facilité de mise en œuvre et par l'optimisation des délais de construction.



Figure 2: La brique monomur

I.3.2.2 La brique réfractaire

La brique réfractaire est un matériau spécialement conçu pour résister à des températures très élevées pouvant atteindre environ 1 700 °C. Grâce à ses excellentes propriétés thermiques et isolantes, elle est principalement utilisée dans la construction des fours, cheminées et installations soumises à de fortes contraintes thermiques. Ce type de brique possède également une grande capacité de conservation et de restitution de la chaleur. Toutefois, en raison de son coût relativement élevé, son utilisation dans la construction des façades et des murs de bâtiments demeure limitée.

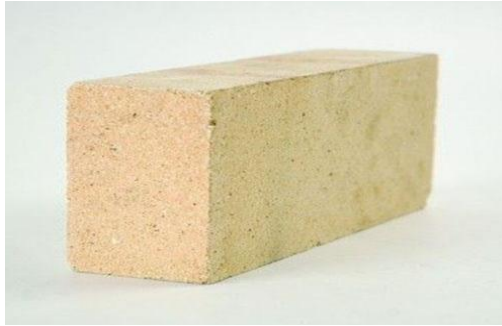


Figure 3: La brique réfractaire

I.3.2.3 *La brique de verre*

La brique de verre est un matériau utilisé pour la réalisation de cloisons et de parois laissant passer la lumière naturelle tout en assurant une certaine intimité. Elle se distingue par ses qualités esthétiques ainsi que par ses bonnes performances en matière d'isolation thermique et acoustique. De plus, elle présente une résistance appréciable à l'humidité et au feu, ce qui favorise son utilisation dans divers espaces intérieurs. Toutefois, son coût relativement élevé et les contraintes liées à sa mise en œuvre peuvent constituer des limites à son emploi.[5]



Figure 4: La brique de verre

I.3.2.4 *La brique creuse*

La brique creuse est un matériau de construction largement utilisé grâce à ses bonnes performances thermiques et à sa légèreté. Fabriquée en terre cuite, elle possède des perforations internes qui améliorent l'isolation thermique tout en réduisant son poids par rapport à la brique pleine. Cette caractéristique permet de diminuer les charges appliquées aux fondations, facilitant ainsi sa mise en œuvre dans les constructions modernes. La brique creuse existe sous différentes formes, notamment la brique classique et la brique alvéolaire, cette dernière offrant une isolation thermique plus performante mais à un coût plus élevé.



Figure 5: La brique creuse

I.4 Briques traditionnelles et briques légères

Les briques constituent l'un des matériaux de construction les plus utilisés en raison de leurs performances mécaniques, thermiques et de leur durabilité. Elles se répartissent principalement en deux catégories : les briques traditionnelles et les briques légères. Les briques traditionnelles, généralement fabriquées à partir d'argile cuite, se caractérisent par leur forte résistance mécanique, leur durabilité et leur capacité à supporter des charges importantes. Elles comprennent notamment les briques pleines, creuses et réfractaires, adaptées à diverses applications de construction.

Les briques légères ont été développées pour répondre aux exigences croissantes d'efficacité énergétique et de réduction des charges structurelles. Grâce à leur faible densité et à leur structure poreuse ou alvéolaire, elles offrent de meilleures performances d'isolation thermique et acoustique tout en facilitant la mise en œuvre. Parmi les plus courantes figurent les briques monomur, les briques alvéolaires et celles à base de béton cellulaire.

Le choix entre briques traditionnelles et briques légères dépend des exigences du projet en termes de résistance mécanique, de performances thermiques et acoustiques, de contraintes économiques ainsi que des conditions environnementales et architecturales. Ainsi, chaque type de brique présente des avantages spécifiques permettant de répondre aux besoins variés du secteur de la construction moderne. [6]

I.5 Comparaison entre briques traditionnelles et légères

Tableau 1: Comparaison entre briques traditionnelles et légères

Propriété	Brique traditionnelle	Brique légère
Masse volumique	1800–2200 kg/m ³	600–1400 kg/m ³
Résistance à la compression	20–60 MPa	5–20 MPa
Isolation thermique	Moyenne	Bonne
Isolation acoustique	Moyenne	Bonne
Utilisation	Murs porteurs lourds	Murs porteurs légers, cloisons, bâtiments écologiques
Durabilité	Très élevée	Élevée, mais moins résistante aux charges lourdes

I.6 Matériaux utilisés dans les briques légères

I.6.1 L'eau

L'eau constitue un élément essentiel dans la formulation du béton, car elle intervient directement dans ses propriétés physiques et chimiques. Sur le plan physique, elle assure l'ouvrabilité du mélange en facilitant l'écoulement, le moulage et la mise en place du béton. Sur le plan chimique, elle participe à l'hydratation du ciment, réaction indispensable à la formation du liant, tout en contribuant au mouillage des granulats.

L'eau utilisée dans la fabrication du béton doit être propre et, de préférence, potable afin d'éviter la présence d'impuretés susceptibles d'altérer les performances du matériau. Dans certains cas particuliers, l'utilisation de l'eau de mer peut être envisagée pour les bétons non armés, afin d'éviter les risques de corrosion des armatures causés par les sels dissous.

Par ailleurs, le dosage en eau doit être soigneusement contrôlé, car un excès peut réduire la résistance mécanique et la durabilité du béton. La quantité d'eau nécessaire dépend principalement du dosage en ciment, des caractéristiques des granulats ainsi que de la consistance recherchée pour le béton frais.

I.6.2 Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique essentiel dans la fabrication des mortiers et des bétons. Au contact de l'eau, il développe progressivement ses propriétés mécaniques grâce aux réactions

d'hydratation, la résistance à 28 jours constituant la référence pour l'évaluation de ses performances. Selon sa composition et ses domaines d'application, il est classé en plusieurs catégories, notamment le ciment Portland (CEM I), le ciment Portland composé (CEM II), le ciment de haut fourneau (CEM III) ainsi que les ciments pouzzolaniques et composés (CEM IV et CEM V). Ces différents types de ciment se distinguent par leurs propriétés spécifiques en termes de résistance mécanique, de durabilité et de comportement face aux agressions chimiques. Par ailleurs, les ciments sont classés selon leur résistance à la compression à 28 jours, généralement exprimée par les classes 32,5 ; 42,5 et 52,5, permettant de répondre aux diverses exigences du secteur de la construction. [7]

I.6.3 Les granulats

Les granulats jouent un rôle essentiel dans la fabrication des briques légères en influençant directement leurs propriétés physiques, mécaniques et thermiques. Les granulats légers, caractérisés par leur faible densité et leur structure poreuse, permettent de réduire la masse volumique des briques tout en améliorant leurs performances d'isolation thermique et acoustique. Ils peuvent être d'origine naturelle, tels que la pierre ponce, la perlite et la vermiculite, ou d'origine artificielle, comme l'argile expansée, le schiste expansé et le polystyrène expansé (EPS).

L'utilisation de ces granulats contribue à l'allègement des structures, à la réduction des charges permanentes et à l'amélioration du confort thermique et acoustique des bâtiments. Toutefois, leur incorporation peut entraîner une diminution des performances mécaniques, notamment de la résistance à la compression. Par conséquent, le choix du type de granulat, de sa granulométrie et de son dosage doit être optimisé afin d'assurer un compromis entre légèreté, résistance, durabilité et efficacité énergétique. Ainsi, les granulats légers constituent une solution prometteuse pour le développement de matériaux de construction innovants et durables.

I.6.4 Le sable

Le sable constitue l'un des principaux granulats utilisés dans la formulation du béton. Il provient généralement des gisements naturels tels que les dunes ou les milieux marins, après extraction et traitement adaptés. Le sable joue un rôle essentiel dans la compacité du mélange et contribue aux propriétés mécaniques et physiques du béton.

Afin d'assurer une bonne qualité du béton, le sable doit répondre à plusieurs exigences relatives à sa granulométrie, sa propreté et sa composition. Il doit être exempt d'impuretés organiques, d'argile ou de sels susceptibles d'altérer l'adhérence entre les différents constituants du béton ou de réduire sa durabilité. Une granulométrie appropriée permet également d'améliorer la cohésion du mélange et d'assurer une meilleure compacité du matériau.

Le dosage du sable dans le béton est généralement exprimé en masse, notamment en kilogrammes, bien qu'il puisse également être déterminé en volume selon les méthodes de formulation employées. Le choix de la quantité de sable dépend des performances recherchées, des caractéristiques des autres granulats ainsi que de la consistance souhaitée pour le béton frais. Ainsi, le sable représente un constituant fondamental influençant directement la résistance, la durabilité et la qualité globale du béton

I.7 Propriétés mécaniques des briques légères

Les briques légères occupent une place importante dans le domaine de la construction moderne grâce à leurs caractéristiques physiques et mécaniques adaptées aux exigences des bâtiments contemporains. Elles sont principalement utilisées pour réduire les charges permanentes des structures tout en améliorant les performances thermiques et acoustiques des constructions. Les propriétés mécaniques de ces briques constituent un paramètre essentiel permettant d'évaluer leur aptitude à être utilisées dans différentes applications du bâtiment.

I.7.1 Résistance à la compression

La résistance à la compression est la propriété mécanique la plus étudiée pour les briques légères. Elle représente la capacité du matériau à supporter des charges verticales avant rupture. Cette résistance varie selon la formulation utilisée et le taux d'allègement incorporé dans la matrice.

Une augmentation de la porosité entraîne généralement une diminution de la résistance à la compression. Cependant, certaines formulations optimisées permettent d'obtenir des résistances suffisantes pour des applications structurelles ou semi-structurelles. Les briques légères destinées aux cloisons présentent souvent des résistances plus faibles que celles utilisées dans les murs porteurs.

La résistance à la compression dépend également du degré de compacité et de l'adhérence entre la pâte liante et les particules légères.

I.7.2 Résistance à la traction

Les briques légères présentent une faible résistance à la traction comparativement à leur résistance à la compression. Cette faiblesse est principalement due à la présence de pores et de microfissures internes qui facilitent la propagation des fissures sous l'effet des contraintes de traction.

Pour améliorer cette propriété, plusieurs chercheurs proposent l'ajout de fibres métalliques, végétales ou synthétiques. Ces fibres contribuent à limiter l'ouverture des fissures et augmentent la cohésion interne du matériau. [9]

I.7.3 Tableau comparatif : briques légères vs briques traditionnelles

Tableau 2: Tableau comparatif : briques légères vs briques traditionnelles

Propriété mécanique	Brique traditionnelle (terre cuite / béton plein)	Brique légère (béton léger / terre cuite alvéolaire)
Résistance à la compression	20–60 MPa	5–30 MPa
Résistance à la flexion	3–10 MPa	1–5 MPa
Module d'élasticité (E)	10–20 GPa	2–8 GPa
Masse volumique	1800–2200 kg/m ³	600–1400 kg/m ³

[10]

I.8 Caractéristiques thermiques et acoustiques

Dans le domaine de la construction moderne, les briques légères occupent une place importante grâce à leurs performances thermiques et acoustiques élevées. Ces matériaux sont particulièrement recherchés dans les bâtiments à haute efficacité énergétique, car ils permettent de réduire les pertes thermiques tout en améliorant le confort acoustique des occupants. Les propriétés thermiques et acoustiques des briques légères dépendent essentiellement de leur structure poreuse, de leur faible densité et de la nature des matériaux incorporés dans leur composition.

I.8.1 Propriétés thermiques

Les performances thermiques des briques légères constituent l'un des principaux avantages de ces matériaux par rapport aux briques conventionnelles. Leur structure interne contient un grand nombre de pores remplis d'air, ce qui limite la transmission de chaleur à travers le matériau.

I.8.1.1 Conductivité thermique

La conductivité thermique est une propriété physique qui traduit la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Elle est généralement exprimée en $W/m \cdot K$. Les briques légères présentent une faible conductivité thermique en raison de leur forte porosité et de l'utilisation de matériaux allégeants tels que :

- Le polystyrène expansé ;
- La perlite ;
- Les granulats poreux ;
- Les fibres végétales

La présence d'air emprisonné dans les cavités internes réduit considérablement les transferts thermiques, ce qui améliore les performances isolantes des briques légères. Ainsi, plus la densité du matériau diminue, plus la conductivité thermique devient faible.

	sec	hum.		Conductivité thermique des matériaux λ en $W/m.K$
Matériaux isolants	0,028		polyuréthane	
	0,040		laine minérale, liège	
	0,058		vermiculite	
	0,065		perlite	
Bois et dérivés	0,17	0,19	feuillus durs	
	0,12	0,13	résineux	
Maçonneries	0,27	0,41	briques 700-1000 kg/m^3	
	0,54	0,75	briques 1000-1600 kg/m^3	
	0,90	1,1	briques 1600-2100 kg/m^3	
Verre	1,0	1,0		
Béton armé	1,7	2,2		
Pierres naturelles	1,40	1,69	tuft, pierre tendre	
	2,91	3,49	granit, marbres	
Métaux		45	acier	
		203	aluminium	
		384	cuivre	

Figure 6: Conductivité thermique

I.8.1.2 Isolation thermique

L'isolation thermique représente l'aptitude du matériau à limiter les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Les briques légères contribuent à maintenir une température intérieure stable en hiver comme en été, réduisant ainsi les besoins en chauffage et en climatisation.

Cette propriété permet :

- L'amélioration du confort thermique ;
- La diminution des émissions de gaz à effet de serre ;
- L'augmentation de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Les briques légères sont donc particulièrement adaptées aux constructions écologiques et aux bâtiments à faible consommation énergétique.

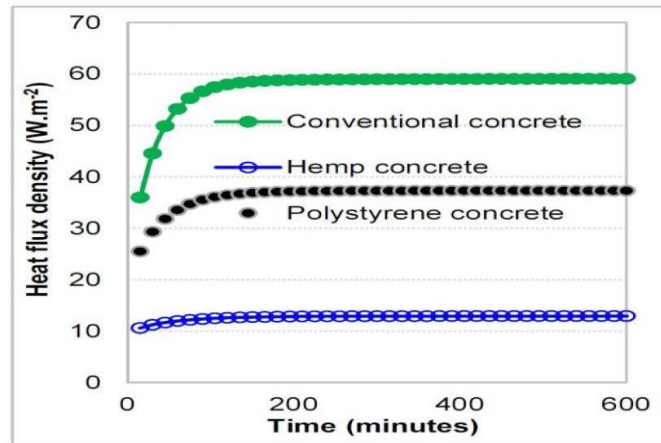


Figure 7: Isolation thermique

I.8.1.3 Inertie thermique

L'inertie thermique désigne la capacité d'un matériau à stocker la chaleur puis à la restituer progressivement. Les briques légères possèdent généralement une inertie thermique inférieure à celle des matériaux denses en raison de leur faible masse volumique. Toutefois, certaines formulations permettent d'obtenir un compromis entre isolation thermique et capacité de stockage thermique.

Une bonne inertie thermique contribue à limiter les variations rapides de température à l'intérieur des locaux. [11]

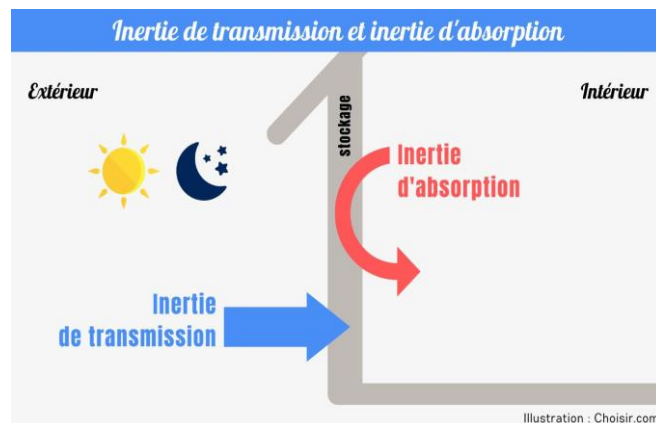


Figure 8: Inertie thermique

I.8.2 Propriétés acoustiques

Les performances acoustiques des matériaux de construction constituent aujourd'hui un critère essentiel dans la conception des bâtiments modernes. L'augmentation des nuisances sonores dans les zones urbaines a conduit au développement de matériaux capables d'améliorer le confort acoustique des occupants. Les briques légères représentent une solution intéressante grâce à leur structure poreuse et à leur faible densité, qui leur confèrent des propriétés favorables à l'isolation et à l'absorption acoustiques.

Les propriétés acoustiques des briques légères dépendent principalement de plusieurs paramètres tels que la densité, la porosité, l'épaisseur, la structure interne et la nature des matériaux utilisés dans leur fabrication. [12]

I.8.2.1 Isolation acoustique

L'isolation acoustique désigne la capacité d'un matériau à réduire la transmission des sons d'un espace à un autre. Les briques légères contribuent à limiter la propagation des bruits aériens grâce à leur structure interne contenant des pores et des cavités qui dissipent une partie de l'énergie sonore.

L'efficacité de l'isolation acoustique dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- La masse volumique du matériau ; l'épaisseur de la paroi ; la taille et la répartition des pores ;
- La fréquence des ondes sonores ; le mode de fabrication des briques.

Les briques légères utilisées dans les cloisons et les murs de séparation permettent de réduire les nuisances sonores provenant de l'extérieur ou des espaces adjacents. Toutefois, une densité très faible peut parfois limiter l'efficacité de l'isolation contre les sons de basse fréquence. [13]

I.8.2.2 Absorption acoustique

L'absorption acoustique correspond à la capacité d'un matériau à absorber l'énergie sonore au lieu de la réfléchir. Les briques légères présentent généralement de bonnes performances d'absorption grâce à leur forte porosité interne.

Lorsque les ondes sonores pénètrent dans les pores du matériau, une partie de leur énergie est dissipée sous forme de chaleur par frottement entre l'air et les parois internes des cavités. Ce phénomène permet de réduire :

- La réverbération sonore ;
- L'écho à l'intérieur des locaux ;
- Les niveaux de bruit ambiant.

Cette propriété améliore considérablement le confort acoustique dans les bâtiments résidentiels, les établissements scolaires, les bureaux et les salles de réunion. [14]

I.9 Avantages environnementaux des briques légères

Dans le contexte actuel de protection de l'environnement et de réduction de la consommation énergétique, le secteur de la construction est orienté vers l'utilisation de matériaux plus durables et écologiques. Les briques légères représentent l'une des solutions les plus prometteuses grâce

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur les briques légères

à leurs caractéristiques physiques et environnementales favorables. Leur faible densité, leurs propriétés isolantes ainsi que la possibilité d'incorporer des matériaux recyclés dans leur fabrication permettent de réduire considérablement les impacts environnementaux des bâtiments.

Les avantages environnementaux des briques légères apparaissent aussi bien durant leur fabrication que pendant la phase d'exploitation des constructions. [15]



Figure 9: Avantages environnementaux des briques légères

I.9.1 Valorisation des déchets industriels et domestiques

La fabrication des briques légères peut intégrer plusieurs types de déchets et sous-produits industriels, notamment :

- Les déchets plastiques ;
- Le polystyrène expansé recyclé ;
- Les cendres volantes ;
- Les sciures de bois ;
- Les fibres végétales ;
- Les déchets de verre ;
- Certains résidus industriels.

L'utilisation de ces matériaux contribue à la réduction des déchets solides et favorise leur valorisation dans le domaine de la construction. Cette approche permet également de limiter les problèmes environnementaux liés au stockage et à l'élimination des déchets.

I.9.2 Préservation des ressources naturelles

Les briques conventionnelles nécessitent une importante consommation de matières premières naturelles telles que l'argile, le sable et les granulats. L'utilisation de matériaux alternatifs dans

les briques légères permet de réduire l'exploitation excessive de ces ressources naturelles. Cette réduction contribue à :

- Préserver les carrières et les sols naturels ; limiter la dégradation des paysages ;
- Réduire les impacts liés à l'extraction des matériaux ;
- Favoriser une gestion durable des ressources.

I.9.3 Réduction de la consommation énergétique

Grâce à leur faible conductivité thermique, les briques légères améliorent l'isolation des bâtiments et réduisent les échanges thermiques avec l'extérieur. Cette propriété permet de diminuer les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments entraîne :

- Une réduction de la consommation d'électricité ;
- Une diminution des dépenses énergétiques ;
- Une baisse des émissions de gaz à effet de serre ;
- Une amélioration du confort thermique intérieur.

Les briques légères participent ainsi à la conception de bâtiments économes en énergie et respectueux de l'environnement.

I.9.4 Réduction des émissions de CO₂

Le secteur du bâtiment est responsable d'une part importante des émissions mondiales de dioxyde de carbone. Les briques légères permettent de réduire ces émissions de différentes manières :

- Diminution de la quantité de matériaux utilisés ;
- Réduction du poids transporté ;
- Amélioration des performances thermiques ;
- Valorisation des matériaux recyclés ;
- Réduction de la consommation énergétique durant l'exploitation du bâtiment.

Certaines formulations de briques légères permettent également de réduire la quantité de ciment utilisée, ce qui diminue davantage l'empreinte carbone du matériau.

I.9.5 Réduction du poids des constructions

Les briques légères possèdent une masse volumique inférieure à celle des briques traditionnelles. Cette légèreté réduit les charges appliquées aux éléments structuraux et aux fondations.

Par conséquent, il devient possible de :

- Diminuer les quantités de béton et d'acier ;
- Réduire la consommation globale des matériaux ;
- Limiter les coûts énergétiques liés au transport ;
- Faciliter les opérations de manutention sur chantier.

Cette réduction du poids contribue indirectement à diminuer l'impact environnemental global des constructions.

I.9.6 Contribution au développement durable

Les briques légères répondent aux exigences du développement durable en conciliant performances techniques, efficacité énergétique et protection de l'environnement. Elles représentent une alternative moderne aux matériaux conventionnels et participent activement à la réduction des impacts environnementaux du secteur du bâtiment.

Le développement de nouvelles formulations écologiques à base de matériaux recyclés ouvre des perspectives importantes pour la construction durable de demain. [16]

I.10 Travaux de recherche antérieurs sur les briques écologiques

I.10.1 Travail de López Gómez et Cultrone (2023) [17]

María López Gómez et Giuseppe Cultrone ont étudié l'utilisation du polystyrène expansé (EPS) et des noyaux d'olive dans la fabrication de briques légères écologiques. Leur recherche a porté sur l'évaluation des propriétés physiques, thermiques et mécaniques des briques fabriquées avec différents taux d'incorporation de ces matériaux. Les résultats obtenus ont montré que l'ajout de l'EPS augmente la porosité des briques et améliore leur isolation thermique tout en réduisant leur densité. Cependant, une diminution progressive de la résistance à la compression a été observée lorsque le taux d'EPS augmente.

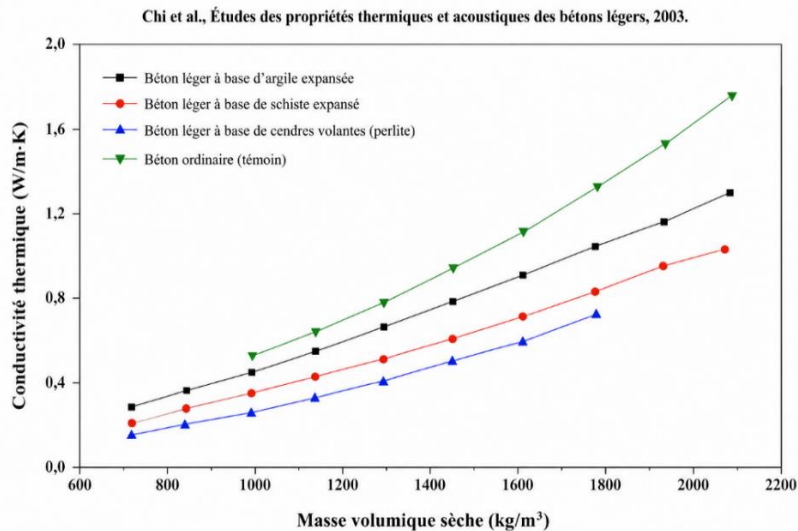


Figure 10: Évolution de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique sèche des différents bétons légers

La figure montre que la conductivité thermique augmente avec la masse volumique sèche pour tous les types de bétons. Le béton ordinaire présente les valeurs les plus élevées, tandis que les bétons légers offrent une meilleure isolation thermique grâce à leur forte porosité. Parmi eux, le béton à base de cendres volantes (perlite) possède la plus faible conductivité thermique, suivi du béton à base de schiste expansé puis d'argile expansée. Ces résultats confirment que l'utilisation de granulats légers permet d'améliorer les performances thermiques des bétons et de réduire les pertes énergétiques des bâtiments.

Résumé : Cette étude a démontré que l'utilisation du polystyrène expansé permet de produire des briques légères à bonnes performances thermiques. Les auteurs ont conclu qu'un dosage modéré en EPS permet d'obtenir un compromis acceptable entre légèreté, isolation thermique et résistance mécanique. [17]

I.10.2 Travail de Ferrándiz-Mas et al. (2014) [18]

V. Ferrándiz-Mas, T. Bond, E. García-Alcocel et C. R. Cheeseman ont développé des mortiers légers contenant du polystyrène expansé et des cendres issues des boues papetières. Leur objectif était de produire des matériaux légers présentant une bonne isolation thermique et une faible densité.

Les résultats ont montré que l'ajout de polystyrène expansé réduit considérablement la conductivité thermique et la masse volumique des matériaux. Les auteurs ont également observé que ces mortiers peuvent être utilisés dans les applications d'enduits et de revêtements isolants.

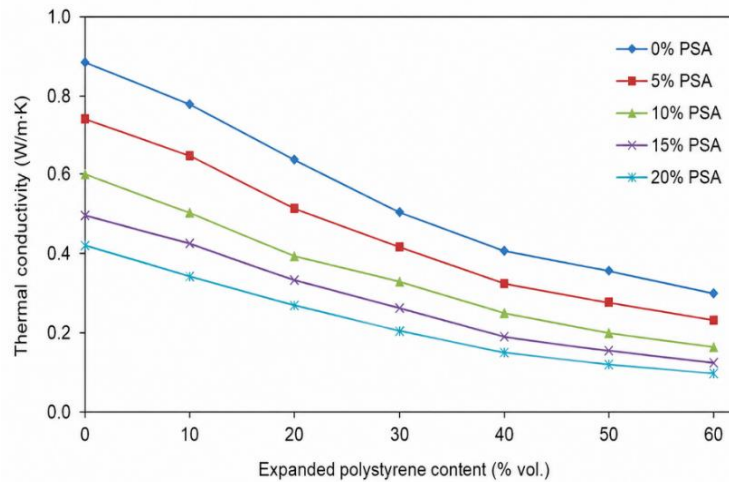


Figure 11: Influence de la teneur en polystyrène expansé sur la conductivité thermique des composites contenant différentes proportions de PSA

La courbe montre que la conductivité thermique des mortiers légers diminue progressivement avec l'augmentation de la teneur en polystyrène expansé (EPS) et en cendres de boues papetières (PSA). Cette diminution est due à l'augmentation de la porosité et à la réduction de la densité du matériau, ce qui améliore ses performances d'isolation thermique. Les résultats confirment ainsi l'intérêt de l'utilisation des déchets recyclés dans la production de mortiers légers destinés aux applications de construction durable et d'efficacité énergétique.

Résumé : Les chercheurs ont confirmé l'intérêt de l'utilisation des déchets industriels dans la fabrication de matériaux de construction écologiques et isolants, contribuant ainsi à la valorisation des déchets et à la réduction de la consommation énergétique des bâtiments. [18]

I.10.3 Travail de Brooks, Shen et Zhou (2020) [19]

Adam L. Brooks, Zhenglai Shen et Hongyu Zhou ont développé un matériau isolant léger à base de cendres volantes recyclées destiné à la fabrication de briques isolantes thermiques. Leur étude a montré que les cendres volantes permettent d'obtenir des matériaux de faible densité présentant de bonnes propriétés thermiques et des résistances mécaniques satisfaisantes. Les auteurs ont également souligné les avantages environnementaux liés à la valorisation des déchets industriels dans le domaine de la construction.

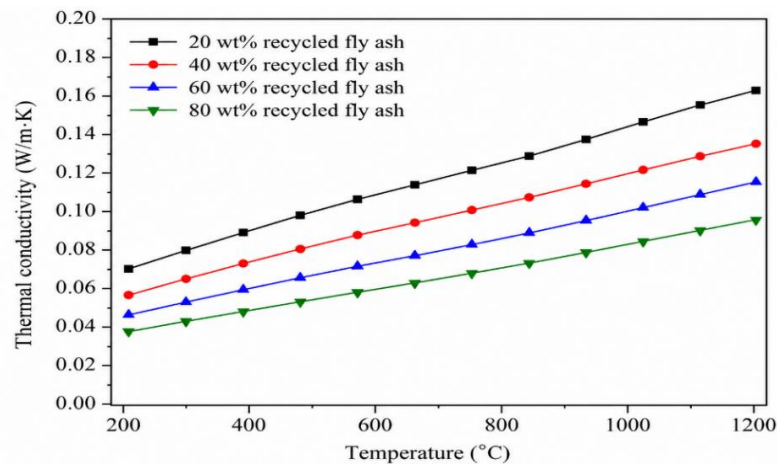


Figure 12: Évolution de la conductivité thermique en fonction de la température pour différentes teneurs en cendres volantes recyclées

La courbe indique que la conductivité thermique augmente avec la température, tandis qu'elle diminue lorsque la teneur en cendres volantes recyclées augmente. Cette réduction est liée à l'augmentation de la porosité et à la diminution de la densité du matériau. Les résultats montrent ainsi que l'ajout de cendres volantes améliore les propriétés d'isolation thermique des mousses inorganiques destinées aux applications à haute température.

Résumé : Cette recherche a démontré que les déchets industriels recyclés peuvent être utilisés efficacement dans la fabrication de briques écologiques à haute performance thermique tout en réduisant l'impact environnemental des matériaux de construction. [19]

I.10.4 Travail de Rahman (1987) [20]

M. A. Rahman a étudié les propriétés des briques fabriquées à partir d'un mélange d'argile, de sable et de cendres de balle de riz (rice husk ash). L'objectif principal de cette recherche était de valoriser les déchets agricoles dans la fabrication de briques écologiques tout en améliorant les propriétés thermiques des matériaux.

Les résultats ont montré que l'ajout de cendres de balle de riz permet de réduire la densité des briques et d'améliorer leur isolation thermique grâce à l'augmentation de la porosité. Toutefois, une diminution progressive de la résistance mécanique a été observée lorsque le pourcentage de cendres augmente.

Tableau 3: Propriétés des briques en fonction de la teneur en cendres de balle de riz

Teneur en cendres de balle de riz (%)	Densité (g/cm ³)	Résistance à la compression (MPa)	Absorption d'eau (%)	Conductivité thermique (W/m·K)
0 %	1,80	18,5	14,2	0,78
10 %	1,68	16,3	16,8	0,62
20 %	1,55	13,4	19,5	0,49
30 %	1,42	10,1	23,1	0,37

Les résultats montrent que l'augmentation du taux de cendres de balle de riz entraîne une diminution progressive de la densité et de la résistance mécanique des briques, en raison de l'augmentation de la porosité interne. En revanche, les propriétés d'isolation thermique s'améliorent considérablement grâce à la structure plus légère du matériau. Cette étude confirme que les cendres de balle de riz constituent un ajout écologique intéressant pour la fabrication de briques légères à faible conductivité thermique.

Résumé : Cette étude a démontré que les déchets agricoles peuvent être utilisés dans la fabrication de briques écologiques légères et isolantes tout en réduisant les impacts environnementaux liés aux déchets organiques. [20]

I.10.5 Travail de Lingling et al. (2005) [21]

Lingling Xu et ses collaborateurs ont étudié l'utilisation des cendres volantes (fly ash) comme substitut partiel de l'argile dans la fabrication de briques cuites.

Les chercheurs ont observé que l'incorporation des cendres volantes permet de réduire la consommation d'argile naturelle et de valoriser les déchets industriels issus des centrales thermiques. Les résultats expérimentaux ont également montré une amélioration de certaines propriétés physiques et une réduction de la masse volumique des briques.

Tableau 4: Effet du taux de cendres volantes sur les propriétés des briques cuites

Taux de cendres volantes (%)	Densité apparente (g/cm ³)	Résistance à la compression (MPa)	Absorption d'eau (%)	Retrait à la cuisson (%)
0 %	1,74	27,6	14,2	1,10
30 %	1,63	24,1	15,8	0,95
50 %	1,51	20,4	17,6	0,82
70 %	1,38	15,2	20,3	0,70

Les résultats montrent que l'augmentation du taux de cendres volantes réduit progressivement la densité et la résistance mécanique des briques, tout en augmentant leur absorption d'eau.

Cette diminution est due à la formation d'une structure plus poreuse lorsque la quantité d'argile diminue. Toutefois, les briques contenant un fort volume de cendres volantes restent adaptées pour certaines applications de construction légère, tout en permettant la valorisation des déchets industriels et la réduction de la consommation d'argile naturelle.

Résumé : Les auteurs ont conclu que les cendres volantes constituent un matériau alternatif efficace pour la fabrication de briques écologiques plus durables et plus respectueuses de l'environnement. [21]

I.10.6 Travail de Sutcu et al. (2009) [22]

M. Sutcu et ses collaborateurs ont étudié l'utilisation des résidus issus de l'industrie du papier dans la fabrication de briques poreuses à faible conductivité thermique.

Les résultats obtenus ont montré que l'ajout des résidus papetiers augmente la porosité interne des briques et améliore leur isolation thermique. Les chercheurs ont également constaté une réduction importante de la conductivité thermique des matériaux produits.

Tableau 5: Propriétés des briques poreuses en fonction de la teneur en résidus de papier

Teneur en résidus de papier (%)	Densité apparente (g/cm ³)	Porosité (%)	Résistance à la compression (MPa)	Conductivité thermique (W/m·K)
0 %	1,82	29	24,5	0,72
5 %	1,65	36	18,7	0,54
10 %	1,48	43	12,9	0,39
15 %	1,31	51	7,8	0,27

Le diagramme montre une diminution progressive de la résistance à la compression lorsque le pourcentage de résidus de papier augmente. Cette baisse est liée à l'augmentation de la porosité causée par la combustion des matières organiques pendant la cuisson. Malgré cette réduction mécanique, les briques deviennent plus légères et présentent une meilleure isolation thermique, ce qui favorise leur utilisation dans les constructions écologiques.

Résumé : Cette recherche a confirmé l'intérêt de l'utilisation des déchets industriels recyclés pour produire des briques écologiques présentant de bonnes performances thermiques et énergétiques. [22]

I.10.7 Travail de Demir et al. (2005) [23]

I. Demir et ses collaborateurs ont étudié la possibilité d'incorporer différents déchets industriels et organiques dans la fabrication de briques légères écologiques.

Les chercheurs ont démontré que certains déchets permettent de réduire considérablement la densité des briques tout en améliorant leurs propriétés d'isolation thermique et acoustique. Cependant, les résistances mécaniques diminuent lorsque le taux de déchets incorporés devient élevé.

Tableau 6: Propriétés des briques légères en fonction de la teneur en déchets de thé

Teneur en déchet de thé (%)	Résistance à la compression (MPa)	Densité (g/cm ³)	Absorption d'eau (%)	Retrait (%)
0 % (témoin)	15.5	1.67	17.95	3.6
2.5 %	19.5	1.55	22.5	4.5
5 %	22.7	1.50	27.3	5.2

Le tableau montre que l'augmentation du pourcentage de déchets de thé améliore progressivement la résistance à la compression des briques tout en réduisant leur densité, ce qui permet d'obtenir des briques plus légères. En revanche, l'absorption d'eau et le retrait augmentent avec l'ajout du déchet organique en raison de l'augmentation de la porosité après cuisson. Ces résultats indiquent que les déchets de thé peuvent être utilisés comme additif écologique dans la fabrication de briques légères présentant de bonnes performances mécaniques.

Résumé : Les travaux de Demir ont montré que les déchets industriels et organiques peuvent être valorisés efficacement dans les matériaux de construction écologiques afin de réduire les impacts environnementaux et d'améliorer les performances thermiques des bâtiments. [23]

I.10.8 Travail de Zhang (2013) [24]

L. Zhang a réalisé une revue scientifique approfondie sur la production de briques à partir de matériaux recyclés et de déchets industriels.

Cette étude a analysé plusieurs types de déchets utilisés dans les briques écologiques, notamment :

- Les cendres volantes ;
- Les scories industrielles ;
- Les déchets de démolition ;
- Les sciures de bois ;

- Les déchets de papier ;
- Les résidus agricoles.

Les résultats ont montré que ces matériaux peuvent être utilisés dans différentes méthodes de fabrication telles que la cuisson, la cimentation et la géopolymérisation.

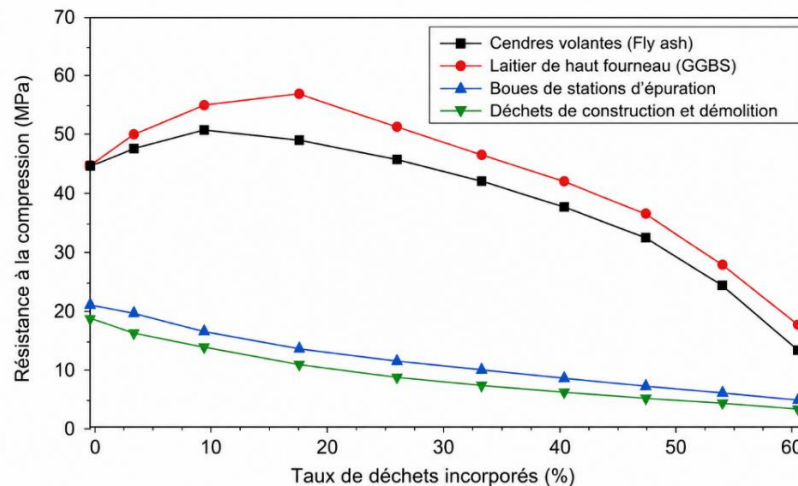


Figure adaptée de Zhang (2013). Effet du taux de déchets incorporés sur la résistance à la compression des briques. *Construction and Building Materials*, 47, 643–655.

Figure 13: Résistance à la compression en fonction de taux de déchets

La figure montre que l'incorporation de déchets influence différemment la résistance à la compression des briques selon leur nature. Les cendres volantes et le laitier de haut fourneau améliorent la résistance mécanique à faibles taux d'incorporation grâce à leurs propriétés pouzzolaniques, avec un optimum observé autour de 10 à 20 %. En revanche, les boues de stations d'épuration et les déchets de construction et démolition provoquent une diminution progressive de la résistance à mesure que leur teneur augmente, en raison de l'augmentation de la porosité et de la faible cohésion du matériau. Ainsi, les déchets industriels minéraux sont les plus adaptés pour améliorer les performances mécaniques des briques écologiques.

Résumé : Cette revue a démontré que la fabrication de briques écologiques à partir de déchets représente une solution prometteuse pour réduire l'impact environnemental du secteur du bâtiment tout en favorisant le recyclage et l'économie circulaire. [24]

I.10.9 Travail de Salih, Osofero et Imbabi (2020) [25]

Mahgoub M. Salih, Adelaja I. Osofero et Mohammed S. Imbabi ont réalisé une revue critique sur les briques d'adobe renforcées par des fibres naturelles.

Les chercheurs ont étudié l'effet des fibres végétales sur les propriétés physiques et mécaniques des briques écologiques. Les résultats ont montré que les fibres naturelles améliorent la

résistance à la traction, limitent la propagation des fissures et améliorent certaines propriétés thermiques des briques.

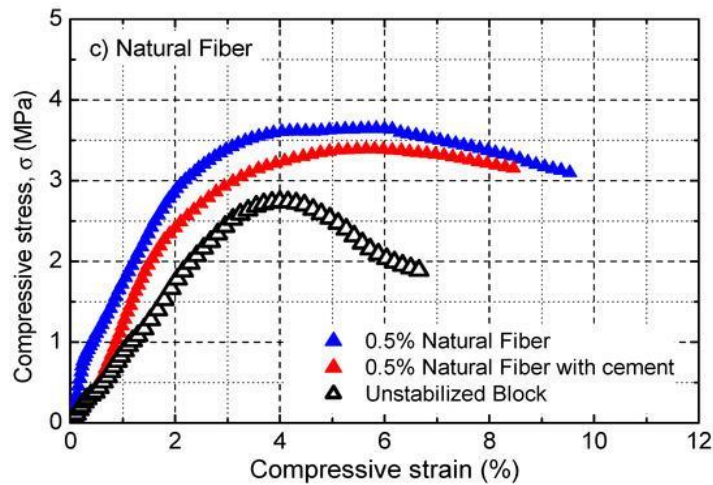


Figure 14: Résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres

Le diagramme montre que l'incorporation de fibres naturelles dans les briques d'adobe améliore la résistance mécanique jusqu'à un seuil optimal. Au-delà de ce seuil, la résistance diminue en raison de l'augmentation de la porosité et de la mauvaise compacité du matériau.

Résumé

Cette étude a confirmé que les fibres naturelles constituent un matériau de renforcement écologique efficace permettant d'améliorer les performances des briques tout en utilisant des ressources renouvelables et biodégradables. [25]

Conclusion

Ce chapitre a présenté un cadre général des matériaux de construction et des briques, en distinguant les briques traditionnelles des briques légères. Les principaux constituants (ciment, granulats, sable et eau) ainsi que leur rôle dans les performances des matériaux ont été analysés. Les propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques des briques légères ont été mises en évidence, montrant leur intérêt pour la réduction des charges, l'amélioration de l'isolation et le confort des bâtiments, malgré une diminution des performances mécaniques nécessitant une optimisation des formulations. Enfin, l'intégration de matériaux recyclés confirme l'intérêt des briques légères dans une démarche de développement durable et d'économie circulaire.

CHAPITRE II :

Effet de l'EPS sur les briques

Introduction

Ce chapitre a présenté une étude approfondie du polystyrène expansé (EPS) et de son utilisation dans les matériaux de construction, en particulier dans les briques et les bétons légers. Après un rappel général sur les formes du polystyrène (EPS et XPS) et leur évolution historique, les principales propriétés physiques, mécaniques, thermiques et environnementales de l'EPS ont été analysées.

L'accent a été mis sur l'intérêt de l'EPS en tant que matériau allégeant permettant de réduire la masse volumique des composites cimentaires tout en améliorant leurs performances d'isolation thermique et acoustique. Les différentes méthodes d'incorporation dans les briques et les bétons ont également été détaillées, ainsi que les effets de ce matériau sur les propriétés mécaniques et la durabilité des composites. Enfin, une comparaison avec les matériaux conventionnels a permis de situer les avantages et les limites des matériaux contenant de l'EPS dans une perspective de construction durable

II.1 Présentation de l'EPS

Le polystyrène est un matériau largement utilisé dans les secteurs de l'emballage, de l'isolation et de la construction en raison de sa légèreté, de son faible coût et de ses bonnes performances thermiques. Dans le domaine du bâtiment, les deux principales formes utilisées sont le polystyrène expansé (EPS) et le polystyrène extrudé (XPS). L'EPS est constitué de billes expansées formant une structure alvéolaire composée majoritairement d'air, ce qui lui confère une faible densité ainsi que de bonnes propriétés d'isolation thermique et acoustique. Le XPS, obtenu par extrusion, possède une structure homogène à cellules fermées offrant une meilleure résistance mécanique et une faible absorption d'eau. Bien que le XPS présente des performances mécaniques supérieures, l'EPS demeure largement employée dans les matériaux de construction grâce à sa légèreté, son coût économique et son efficacité en matière d'isolation.



Figure 15: EPS (Polystyrène expansé)

Dans le domaine des matériaux de construction, l'incorporation de l'EPS dans les briques et les bétons légers suscite un intérêt croissant. En effet, ce matériau permet de réduire la masse volumique des éléments de construction tout en améliorant leurs performances thermiques et acoustiques. Toutefois, l'ajout d'EPS peut également influencer certaines propriétés mécaniques, notamment la résistance à la compression.

Ainsi, le polystyrène expansé représente une solution innovante pour le développement de matériaux de construction légers et performants, répondant aux exigences actuelles d'efficacité énergétique et de durabilité dans le secteur du bâtiment.[26]

II.1.1 Historique du polystyrène

Le polystyrène est un matériau thermoplastique issu de la polymérisation du styrène, largement utilisé dans l'industrie grâce à sa légèreté, son faible coût et ses bonnes propriétés isolantes. Découvert au XIX^e siècle, son développement industriel a véritablement commencé dans les années 1930 avec l'essor de l'industrie pétrochimique. Les travaux de Hermann Staudinger sur les macromolécules ont contribué à la compréhension de sa structure et à son exploitation industrielle.

L'apparition du polystyrène expansé (EPS) a permis d'obtenir un matériau très léger, composé majoritairement d'air, offrant d'excellentes performances en isolation thermique. Par la suite, le polystyrène extrudé (XPS) a été développé afin d'améliorer la résistance mécanique et la résistance à l'humidité grâce à sa structure homogène à cellules fermées.

Aujourd'hui, le polystyrène est largement employé dans les domaines de l'emballage, de l'électroménager et surtout de la construction, où il est utilisé dans les panneaux isolants, les bétons légers et les briques allégées. Les recherches actuelles s'orientent vers l'amélioration de

ses performances et la réduction de son impact environnemental à travers le recyclage et l'utilisation de matériaux recyclés. [27]

II.2 Les propriétés de l'EPS (physiques, mécaniques, thermiques)

Le polystyrène expansé (EPS – Expanded Polystyrene) est un matériau polymère alvéolaire largement utilisé dans le domaine de la construction grâce à ses propriétés physiques, mécaniques et thermiques. Sa structure composée majoritairement d'air emprisonné dans des cellules fermées lui confère une faible densité ainsi qu'une excellente capacité d'isolation thermique. L'EPS est particulièrement employé dans les briques légères, les bétons allégés et les systèmes d'isolation des bâtiments afin d'améliorer les performances énergétiques et de réduire les charges structurelles. [28]

II.2.1 Propriétés physiques de l'EPS

II.2.1.1 Masse volumique

L'EPS se caractérise par une très faible masse volumique, généralement comprise entre : $\rho = 10 \text{ à } 40 \text{ kg/m}^3$ Cette faible densité est due à sa structure cellulaire contenant environ 98 % d'air et seulement 2 % de matière solide. La réduction de la masse volumique permet : d'alléger les éléments de construction ; de diminuer les charges permanentes des structures ; de faciliter le transport et la mise en œuvre ; de réduire les coûts de manutention.

Dans les briques et les bétons légers, l'incorporation de l'EPS entraîne une diminution importante du poids du matériau composite.

II.2.1.2 Structure cellulaire fermée

L'EPS possède une structure alvéolaire constituée de cellules fermées remplies d'air immobile. Cette structure assure :

- Une bonne stabilité dimensionnelle ;
- Une faible perméabilité à l'eau ;
- Une résistance à l'humidité ;
- Une amélioration des performances thermiques.

II.2.1.3 Absorption d'eau

Grâce à sa structure fermée, l'EPS absorbe très peu d'eau par rapport aux matériaux poreux traditionnels. Cette propriété permet de conserver ses performances isolantes même dans des environnements humides.

L'absorption d'eau de l'EPS reste généralement faible, ce qui améliore sa durabilité dans les applications de construction.

II.2.2 Propriétés mécaniques de l'EPS

II.2.2.1 Résistance à la compression

La résistance mécanique de l'EPS dépend principalement de sa densité et de sa structure interne. Malgré sa légèreté, il présente une résistance suffisante pour plusieurs applications dans le bâtiment.

Lorsque la densité de l'EPS augmente :

- La résistance à la compression augmente ;
- La rigidité du matériau s'améliore ;
- Les déformations sous charge diminuent. [29]

Cependant, dans les matériaux composites tels que les bétons ou les briques contenant des billes d'EPS, une augmentation excessive du taux d'EPS peut provoquer :

- Une diminution de la résistance mécanique ;
- Une réduction de la cohésion interne ;
- Une baisse de la résistance à la compression.

II.2.2.2 Élasticité et déformation

Le polystyrène expansé (EPS) présente un comportement mécanique particulier caractérisé par une faible rigidité et une importante capacité de déformation sous l'effet des charges mécaniques. Cette propriété est principalement liée à sa structure alvéolaire composée de cellules fermées contenant de l'air. Grâce à cette structure, l'EPS possède une certaine élasticité lui permettant d'absorber les chocs et les déformations sans rupture immédiate.

L'élasticité de l'EPS correspond à sa capacité à retrouver partiellement sa forme initiale après suppression de la charge appliquée. Lorsque le matériau est soumis à une compression modérée, les cellules internes se déforment progressivement en emprisonnant et redistribuant l'air contenu dans la structure. Cette caractéristique confère au matériau une bonne capacité d'amortissement des vibrations et des impacts.

II.2.2.3 Résistance aux chocs

Le polystyrène expansé (EPS) se caractérise par une excellente capacité d'absorption des chocs grâce à sa structure alvéolaire à cellules fermées remplies d'air. Lors d'un impact, les cellules

se compressent progressivement, ce qui permet de dissiper l'énergie mécanique et de réduire les contraintes transmises. Cette structure confère à l'EPS de bonnes propriétés d'amortissement des vibrations et de protection contre les charges dynamiques. Grâce à ces caractéristiques, l'EPS est largement utilisée dans l'emballage de produits fragiles, le transport et certains matériaux de construction légers nécessitant une résistance aux chocs et une bonne capacité d'absorption de l'énergie. [30]

II.2.3 Propriétés thermiques de l'EPS

Le polystyrène expansé (EPS – Expanded Polystyrene) est l'un des matériaux isolants les plus utilisés dans le domaine de la construction grâce à ses excellentes propriétés thermiques. Sa structure alvéolaire composée d'environ 98 % d'air emprisonné dans des cellules fermées lui confère une très faible conductivité thermique, ce qui limite considérablement les transferts de chaleur.

L'utilisation de l'EPS dans les bétons légers, les briques et les systèmes d'isolation thermique permet d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, de réduire les pertes thermiques et d'augmenter le confort intérieur. Les performances thermiques de l'EPS dépendent principalement de sa densité, de sa structure cellulaire, de son taux d'humidité et des conditions environnementales.

II.2.3.1 Conductivité thermique

La conductivité thermique représente la capacité d'un matériau à transmettre la chaleur. Plus cette valeur est faible, plus le matériau est isolant.

L'EPS possède une conductivité thermique très faible généralement comprise entre :

$$\lambda = 0,030 \text{ à } 0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Cette faible conductivité est principalement due à l'air immobile emprisonné dans les cellules fermées de l'EPS. L'air étant un mauvais conducteur thermique, il limite fortement les transferts de chaleur par conduction.

II.2.3.2 Résistance thermique

La résistance thermique constitue l'une des propriétés les plus importantes du polystyrène expansé (EPS – Expanded Polystyrene). Grâce à sa structure alvéolaire composée majoritairement d'air emprisonné dans des cellules fermées, l'EPS présente une très grande capacité à limiter les transferts de chaleur. Cette propriété explique son utilisation extensive dans le domaine de l'isolation thermique des bâtiments, notamment dans les murs, les toitures, les planchers, les bétons légers et les briques isolantes.

CHAPITRE II : Effet de l'EPS sur les briques

La résistance thermique caractérise la capacité d'un matériau à s'opposer au passage de la chaleur. Elle est donnée par la relation :

La résistance thermique est donnée par la relation :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Où :

- R est la résistance thermique ($m^2 \cdot K/W$) ;
- e représente l'épaisseur du matériau (m) ;
- λ représente la conductivité thermique ($W/m \cdot K$).

Cette relation montre que : la résistance thermique augmente avec l'épaisseur ; la résistance thermique augmente lorsque la conductivité thermique diminue. [31]

II.2.3.3 Comportement au feu

Le polystyrène expansé (EPS) est un matériau thermoplastique largement utilisé pour ses excellentes propriétés d'isolation thermique et sa légèreté. Cependant, son principal inconvénient réside dans son caractère combustible. Sous l'effet de températures élevées, l'EPS se ramollit, se rétracte, fond puis se décompose en libérant des gaz combustibles susceptibles de favoriser la propagation des flammes. Son comportement au feu dépend notamment de sa densité, de la température d'exposition, de la disponibilité en oxygène et de la présence d'additifs ignifuges. Pour améliorer sa résistance au feu, l'EPS est généralement associée à des retardateurs de flamme et protégé par des revêtements résistants au feu. Bien qu'il contribue à l'amélioration de l'isolation thermique des bétons et briques légères, son utilisation nécessite le respect des exigences de sécurité incendie afin de garantir la protection des structures et des occupants.

II.3 Méthodes d'incorporation de l'EPS dans les briques et bétons.

L'incorporation du polystyrène expansé (EPS) dans les briques et les bétons permet de produire des matériaux de construction légers offrant de bonnes performances thermiques et acoustiques. Grâce à sa faible masse volumique et à sa structure alvéolaire riche en air, l'EPS réduit le poids des matériaux, améliore l'isolation thermique et contribue à l'efficacité énergétique des bâtiments. Son utilisation permet également de diminuer les charges permanentes des structures et de favoriser la valorisation des déchets plastiques recyclables. Toutefois, l'ajout d'EPS peut modifier les propriétés mécaniques des matériaux, ce qui nécessite l'adoption de méthodes

d'incorporation adaptées afin d'assurer une bonne homogénéité du mélange et d'optimiser les performances des briques et bétons légers. [32]

II.3.1. Incorporation directe des billes d'EPS

II.3.1.1 Principe

La méthode la plus simple consiste à incorporer directement les billes d'EPS dans le mélange de béton ou de pâte argileuse destiné à la fabrication des briques.

Dans les bétons, les billes remplacent partiellement :

- Le sable ;
- Les granulats fins ;
- Les granulats grossiers.

Dans les briques, elles sont mélangées avec :

- L'argile ;
- Le ciment ;
- Les additifs éventuels.

II.3.2 Substitution partielle des granulats

La substitution partielle des granulats naturels par des billes de polystyrène expansé (EPS – Expanded Polystyrene) constitue l'une des méthodes les plus utilisées pour la fabrication des bétons et briques légères. Cette technique consiste à remplacer une partie des granulats fins ou grossiers par des particules d'EPS afin de réduire la masse volumique du matériau tout en améliorant ses propriétés thermiques et acoustiques.

II.3.2.1 Principe

La substitution partielle consiste à remplacer une fraction du volume des granulats naturels par des billes d'EPS dans le mélange.

Les granulats remplacés peuvent être :

- Le sable ;
- Les granulats fins ;
- Les gravillons ;
- Certains granulats légers.

Le pourcentage de substitution varie selon les performances recherchées et peut aller de faibles proportions jusqu'au remplacement presque total des granulats.

II.3.3 Pré-enrobage des billes de polystyrène expansé (EPS)

Le pré-enrobage des billes d'EPS consiste à les recouvrir d'une fine couche de liant cimentaire avant leur incorporation dans le mélange. Cette opération améliore l'adhérence entre les billes et la matrice, favorise une meilleure répartition de l'EPS et limite les phénomènes de ségrégation. Ainsi, elle contribue à l'amélioration de l'homogénéité et des performances mécaniques du matériau obtenu.

II.3.3.1 Principe

Le pré-enrobage consiste à recouvrir les billes d'EPS d'une fine couche de matériau liant ou adhésif avant leur introduction dans le mélange.

Cette couche intermédiaire permet :

- D'améliorer l'adhérence avec la matrice ;
- D'augmenter la rugosité de surface ;
- De limiter la flottabilité des billes ;
- De réduire la ségrégation durant le malaxage.

Le procédé favorise ainsi une meilleure homogénéité du matériau composite.

II.3.4 Incorporation de déchets recyclés d'EPS

II.3.4.1 Principe

Les déchets de polystyrène expansé peuvent être broyés puis incorporés dans les briques et les bétons sous forme de granulats recyclés.

Cette méthode s'inscrit dans une approche de développement durable visant à :

- Réduire les déchets plastiques ;
- Limiter l'impact environnemental ;
- Valoriser les matériaux recyclés.

Cette méthode s'inscrit dans une approche de développement durable visant à :

- Réduire les déchets plastiques ;
- Limiter l'impact environnemental ;
- Valoriser les matériaux recyclés.

II.4 L'influence de l'EPS sur la masse volumique des briques et bétons.

L'incorporation du polystyrène expansé (EPS) dans les briques et les bétons permet de fabriquer des matériaux de construction légers aux bonnes performances thermiques et acoustiques.

CHAPITRE II : Effet de l'EPS sur les briques

Grâce à sa très faible densité et à sa structure alvéolaire remplie d'air, l'EPS réduit significativement la masse volumique des composites cimentaires. Celle-ci peut ainsi passer d'environ 2200–2500 kg/m³ pour un béton ordinaire à 300–1800 kg/m³ selon le taux d'incorporation, ce qui montre que l'augmentation de la proportion d'EPS entraîne un allègement progressif du matériau. Cette réduction de densité constitue un avantage majeur pour le secteur du bâtiment, notamment en termes de diminution des charges structurales et d'amélioration des performances globales des matériaux.

II.4.1.1 Remplacement des granulats lourds

Les granulats naturels possèdent une densité élevée. Lorsqu'ils sont remplacés par des billes d'EPS, le poids total du béton diminue considérablement.

Exemple :

Tableau 7: Masse volumique approximative (Remplacement des granulats lourds)

Matériau	Masse volumique approximative
Granulats naturels	2600 kg/m ³
EPS	10 à 35 kg/m ³

La différence est extrêmement importante, ce qui explique la forte diminution de densité observée dans les bétons légers à base d'EPS. [33]

II.4.1.2 Augmentation du volume de vides

Les billes d'EPS introduisent davantage de pores et de vides dans le béton.

Ces espaces remplis d'air réduisent la masse totale du matériau tout en augmentant sa légèreté. L'air étant un matériau très léger, l'augmentation de la porosité contribue directement à la diminution de la masse volumique.

II.4.1.3 Structure cellulaire fermée de l'EPS

L'EPS possède une structure alvéolaire composée de cellules fermées contenant de l'air.

Cette structure : limite l'absorption d'eau ; réduit la densité globale du matériau ; améliore les propriétés isolantes. La présence d'air emprisonné dans les billes d'EPS joue donc un rôle essentiel dans l'allègement du béton.

II.4.1.4 Influence du taux d'incorporation de l'EPS sur la masse volumique du béton

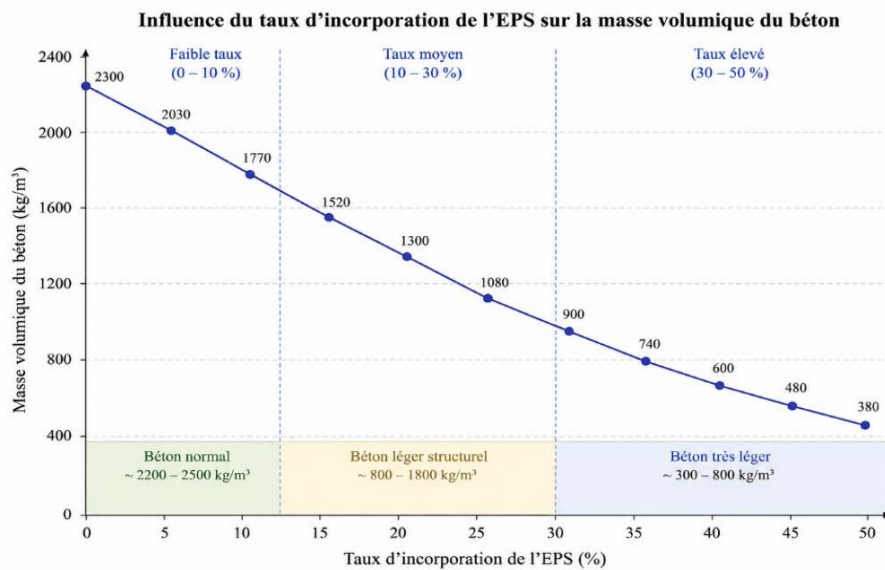


Figure 16: Influence du taux d'incorporation de l'EPS sur la masse volumique du béton

Le diagramme montre que l'augmentation du taux d'incorporation du polystyrène expansé (EPS) entraîne une diminution progressive de la masse volumique du béton. À faible taux d'EPS, le béton conserve une masse volumique proche de celle du béton conventionnel. Cependant, lorsque la proportion d'EPS augmente, la masse volumique diminue fortement en raison de la faible densité de l'EPS et de l'augmentation de la porosité du matériau.

Les résultats indiquent qu'à des taux élevés d'EPS, le béton devient un béton très léger présentant de bonnes propriétés d'isolation thermique et une réduction importante des charges structurales. Toutefois, cette diminution de la masse volumique peut également provoquer une baisse des performances mécaniques, notamment de la résistance à la compression.

Ainsi, l'incorporation de l'EPS constitue une solution efficace pour produire des bétons légers et isolants, à condition d'optimiser le taux d'incorporation afin d'obtenir un bon compromis entre légèreté, isolation thermique et résistance mécanique. [34]

II.4.2 Avantages de la réduction de masse volumique

II.4.2.1 Réduction des charges permanentes

Un béton plus léger ;

- Diminue le poids propre des structures ;
- Réduit les charges appliquées aux fondations ;
- Facilite la conception parasismique.

II.4.2.2 Facilité de transport et de mise en œuvre

Les éléments en béton léger :

- Sont plus faciles à manipuler ;
- Nécessitent moins d'énergie de transport ;
- Réduisent les coûts logistiques.

II.5 Effet de l'EPS sur les propriétés mécaniques des briques

L'incorporation du polystyrène expansé (EPS) dans les briques constitue une technique de plus en plus utilisée pour produire des matériaux légers et thermiquement performants. Grâce à sa très faible densité et à sa structure cellulaire fermée, l'EPS permet de réduire considérablement la masse volumique des briques et d'améliorer leur isolation thermique.

Cependant, l'introduction de billes d'EPS modifie également les propriétés mécaniques des briques. En raison de la faible rigidité de l'EPS et de sa faible adhérence avec la matrice argileuse ou cimentaire, les résistances mécaniques diminuent généralement lorsque le taux d'EPS augmente.

L'étude de l'effet de l'EPS sur les propriétés mécaniques est donc essentielle afin de déterminer le dosage optimal permettant d'obtenir un compromis entre légèreté, isolation et résistance mécanique.

II.5.1 Influence de l'EPS sur la résistance à la compression

La résistance à la compression représente la capacité d'une brique à supporter des charges sans rupture.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Avec :

σ : résistance à la compression (MPa) ;

F : charge appliquée (N) ;

A : surface comprimée (mm² ou m²).

Cette propriété constitue le critère mécanique principal pour les briques de construction.

L'ajout d'EPS entraîne généralement une diminution de la résistance à la compression.

Cette diminution s'explique par : la faible rigidité des billes d'EPS ; l'augmentation de la porosité ; la présence de vides dans la matrice ; la faible adhérence entre l'EPS et le matériau liant.

CHAPITRE II : Effet de l'EPS sur les briques

Lorsque les granulats ou une partie de l'argile sont remplacés par l'EPS :

- La structure devient plus légère ;
- La compacité diminue ;
- Les zones de faiblesse augmentent.

Par conséquent, la capacité portante des briques diminue progressivement avec l'augmentation du taux d'EPS.

II.5.1.1 Évolution de la résistance à la compression selon le taux d'EPS

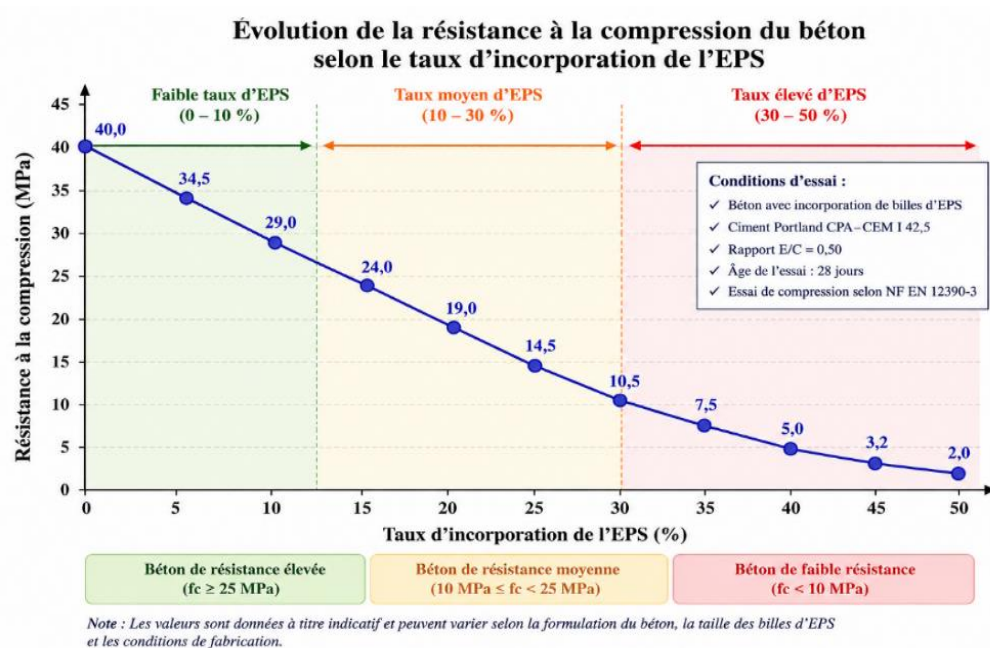


Figure 17: Évolution de la résistance à la compression selon le taux d'EPS

L'augmentation du taux d'incorporation du polystyrène expansé (EPS) dans le béton entraîne une diminution de la résistance à la compression. À faible dosage, le béton conserve des performances mécaniques proches du béton conventionnel, tandis qu'à des taux élevés, la résistance diminue fortement en raison de la faible rigidité de l'EPS, de l'augmentation de la porosité et de la baisse de compacité. Ainsi, l'EPS améliore la légèreté et l'isolation thermique du béton, mais réduit ses propriétés mécaniques, ce qui impose d'optimiser son taux d'incorporation selon l'usage visé.

II.5.2 Influence sur la résistance à la flexion

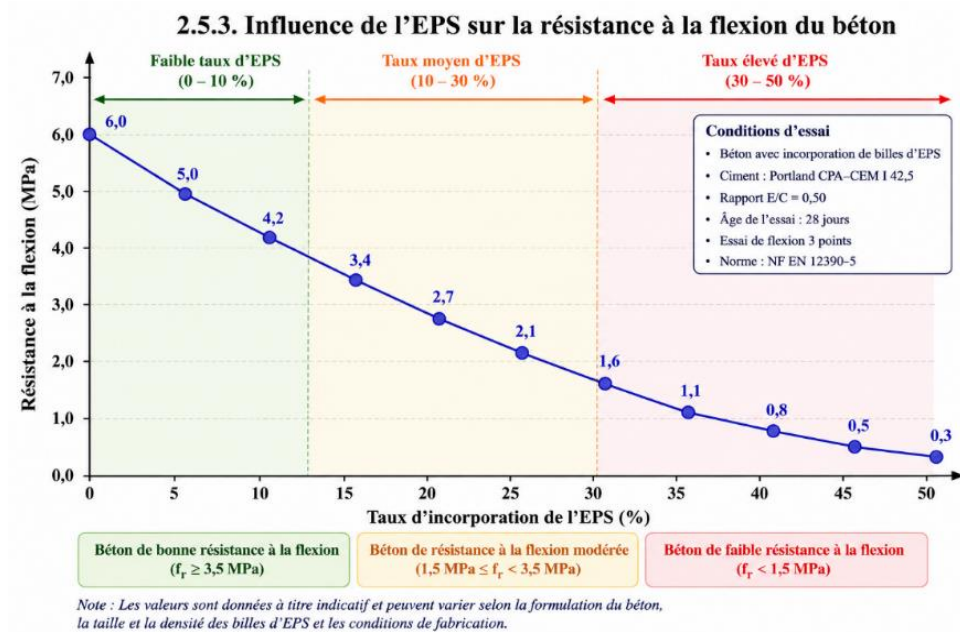


Figure 18: Influence de l'EPS sur la résistance à la flexion

L'augmentation du taux d'incorporation du polystyrène expansé (EPS) entraîne une diminution progressive de la résistance à la flexion du béton. Cette baisse est liée à la faible rigidité de l'EPS, à l'augmentation de la porosité et à la réduction de l'adhérence entre les constituants du matériau. Ainsi, l'EPS améliore la légèreté et l'isolation thermique du béton, mais réduit ses performances mécaniques en flexion, ce qui nécessite d'optimiser son taux d'incorporation selon les applications visées.

II.5.3 Influence sur la résistance à la traction

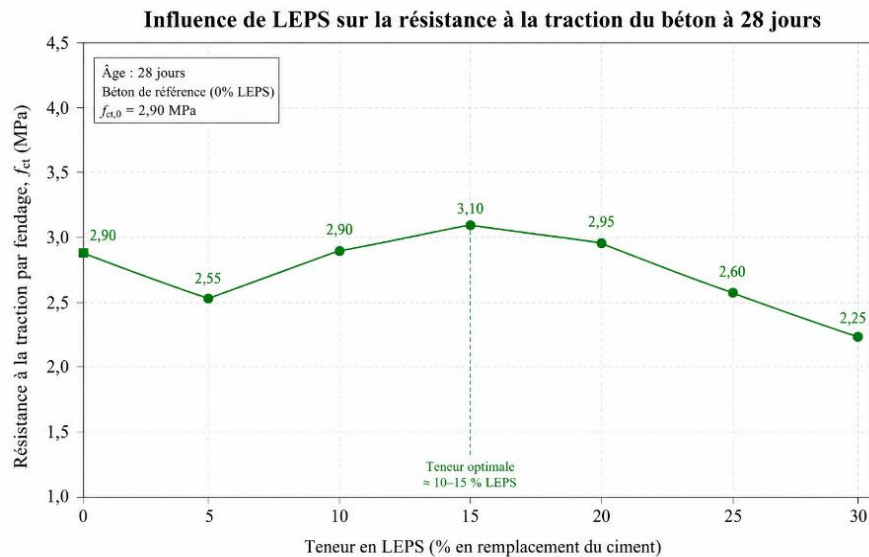


Figure 19: Influence de l'EPS sur la résistance à la traction du béton

L'incorporation du LEPS influence la résistance à la traction par fendage du béton à 28 jours. Une amélioration est observée jusqu'à une teneur optimale d'environ 15 %, atteignant une légère augmentation par rapport au béton de référence grâce à un effet de remplissage des vides et une meilleure compacité de la matrice cimentaire. Au-delà de ce seuil, la résistance diminue en raison de l'augmentation de la porosité et de la réduction de la cohésion interne. Ainsi, une faible teneur en LEPS peut améliorer les performances mécaniques, tandis qu'un excès entraîne leur dégradation, avec un optimum situé entre 10 et 15 %.

II.5.4 Influence sur le module d'élasticité

Le module d'élasticité caractérise la rigidité du matériau.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Avec :

- E : module d'élasticité ;
- σ : contrainte ;
- ε : déformation.

L'incorporation de l'EPS réduit généralement le module d'élasticité.

Les briques deviennent : moins rigides ; plus déformables ; plus capables d'absorber certaines déformations.

Cette diminution de rigidité peut être avantageuse dans certaines applications nécessitant une meilleure absorption des vibrations.

II.5.6 Influence sur la dureté

La présence d'EPS réduit la dureté superficielle des briques.

Les causes principales sont :

- La faible résistance des billes ;
- L'augmentation de la porosité ;
- La diminution de compacité.

Les briques contenant beaucoup d'EPS sont généralement plus sensibles :

- Aux rayures ;
- Aux impacts ;
- A l'usure superficielle.

II.5.5 Influence sur la résistance aux chocs

Malgré la diminution des résistances mécaniques classiques, l'EPS peut améliorer la capacité d'absorption des chocs.

Grâce à sa structure déformable :

- L'énergie d'impact est partiellement absorbée ;
- Certaines fissurations brutales sont réduites.

Les briques deviennent alors :

- Plus légères ;
- Moins cassantes dans certains cas

II.6 Effet de l'EPS sur les performances thermiques et isolantes

L'incorporation de l'EPS dans les matériaux cimentaires améliore significativement les performances thermiques et acoustiques du béton. Grâce à sa structure poreuse remplie d'air et sa faible densité, l'EPS réduit la conductivité thermique, limitant ainsi les transferts de chaleur et améliorant l'efficacité énergétique des bâtiments. Il contribue également à une meilleure isolation phonique en favorisant l'absorption et la dissipation des ondes sonores. Cependant, ces améliorations s'accompagnent d'une diminution des propriétés mécaniques lorsque le taux d'EPS augmente, ce qui impose d'optimiser le dosage pour équilibrer isolation, légèreté et résistance.

II.7 Durabilité et comportement environnemental des briques à base d'EPS

La durabilité et le comportement environnemental des matériaux de construction constituent aujourd'hui des critères essentiels dans le développement des bâtiments modernes. L'utilisation

du polystyrène expansé (EPS) dans les briques légères représente une solution innovante permettant à la fois de réduire la masse volumique des matériaux et d'améliorer leurs performances thermiques. Toutefois, l'incorporation de l'EPS influence également la durabilité des briques ainsi que leur impact environnemental à long terme.

Les briques à base d'EPS présentent plusieurs avantages liés à leur légèreté, leur isolation thermique et leur valorisation potentielle des déchets plastiques. Cependant, certaines limites peuvent apparaître, notamment concernant la résistance mécanique, la stabilité au feu, l'absorption d'eau et le vieillissement du matériau. Ainsi, l'étude de leur durabilité et de leur comportement environnemental est indispensable afin d'évaluer leur aptitude à une utilisation durable dans le domaine du bâtiment. [35]

II.7.1 Durabilité des briques a base d'EPS

La durabilité d'un matériau de construction correspond à sa capacité à conserver ses propriétés physiques, mécaniques et thermiques pendant une longue période malgré les agressions extérieures telles que :

- Les variations climatiques ;
- L'humidité ;
- Les cycles de gel-dégel ;
- Les attaques chimiques ;
- Les charges mécaniques ;
- Le vieillissement naturel.

Dans les briques contenant de l'EPS, la durabilité dépend principalement : du pourcentage d'EPS incorporé ; de la qualité de la matrice cimentaire ou argileuse ; de l'adhérence entre l'EPS et la matrice ; de la porosité du matériau.

II.7.1.1 Résistance aux cycles de gel-dégel

Les cycles de gel-dégel représentent un facteur important de dégradation des matériaux poreux.

Dans les briques à base d'EPS :

- La légèreté du matériau réduit certaines contraintes internes ;
- Les pores créés par l'EPS peuvent jouer le rôle de chambres de décompression ;
- Les dommages dus à l'expansion de la glace peuvent être limités.

Cependant, une porosité excessive peut fragiliser la structure et provoquer :

- Des microfissures ;
- Une perte de résistance mécanique ;
- Une dégradation progressive de la matrice.

II.7.1.2 Résistance chimique

Les briques contenant de l'EPS présentent généralement une bonne résistance :

- Aux sels ;
- A certains agents chimiques ;
- Aux environnements modérément agressifs.

Toutefois, la durabilité chimique dépend principalement de la matrice utilisée. Une matrice cimentaire dense améliore considérablement la résistance aux agressions chimiques.

L'EPS lui-même est chimiquement stable dans des conditions normales d'utilisation.

II.7.1.3 Vieillessement et stabilité à long terme

Les briques à base d'EPS présentent généralement une bonne stabilité dimensionnelle.

Cependant, plusieurs phénomènes peuvent apparaître avec le temps :

- Retrait ;
- Microfissuration ;
- Diminution progressive des résistances mécaniques ;
- Dégradation de l'interface EPS-matrice.

Le vieillissement dépend fortement :

- Des conditions climatiques ;
- De l'exposition aux uv ;
- De l'humidité ;
- Des cycles thermiques.

II.7.2 Comportement environnemental des briques à base d'EPS

Le secteur du bâtiment est l'un des principaux consommateurs de ressources naturelles et d'énergie, tout en contribuant fortement aux émissions de gaz à effet de serre. Dans ce contexte, l'utilisation du polystyrène expansé (EPS) dans les briques légères constitue une solution innovante permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et de valoriser certains déchets plastiques grâce à ses bonnes propriétés d'isolation thermique et sa faible densité. Cependant, son origine pétrochimique et sa faible biodégradabilité soulèvent des préoccupations environnementales. Ainsi, l'étude du comportement environnemental des briques à base d'EPS est essentielle pour évaluer leur intérêt dans une démarche de développement durable.

II.7.2.1 Réduction de la consommation énergétique des bâtiments

Les briques contenant de l'EPS présentent une très faible conductivité thermique grâce à la structure alvéolaire du polystyrène expansé, composée majoritairement d'air emprisonné.

Cette caractéristique améliore considérablement l'isolation thermique des bâtiments.

Les principaux avantages énergétiques sont :

- Réduction des pertes thermiques ;
- Diminution des besoins en chauffage ;
- Réduction de la consommation de climatisation ;
- Amélioration du confort thermique intérieur ;
- Diminution de la consommation globale d'énergie.

Les bâtiments réalisés avec des briques à base d'EPS deviennent ainsi plus économes en énergie, ce qui réduit leur impact environnemental durant toute leur durée de vie.

II.7.2.2 Réduction des émissions de CO₂

Les briques légères à base d'EPS permettent une réduction indirecte des émissions de dioxyde de carbone (CO₂).

Cette réduction est liée à plusieurs facteurs :

- **Réduction du poids des structures**

La faible masse volumique des briques diminue : les charges permanentes des bâtiments ; les besoins en matériaux de construction ; la consommation d'énergie lors du transport.

- **Amélioration de l'efficacité énergétique**

Grâce à leur forte capacité d'isolation thermique, les briques à base d'EPS réduisent les besoins énergétiques des bâtiments, ce qui entraîne :

- Une diminution de la consommation de combustibles ;
- Une réduction des émissions de gaz à effet de serre ;
- Une amélioration du bilan carbone global.

Ainsi, l'utilisation des briques à base d'EPS participe à la lutte contre le changement climatique.

II.7.2.3 Conservation des ressources naturelles

L'incorporation de l'EPS dans les briques permet de réduire la quantité de granulats naturels ou d'argile utilisée dans la fabrication.

Cette substitution contribue à :

- Préserver les ressources naturelles ;
- Réduire l'exploitation des carrières ;

CHAPITRE II : Effet de l'EPS sur les briques

- Limiter la dégradation des sols ;
- Diminuer l'impact environnemental de l'extraction des matériaux.

L'utilisation de matériaux recyclés constitue donc une approche durable dans l'industrie de la construction.

II.7.2.4 *Gestion des déchets de construction.*

Les briques à base d'EPS peuvent contribuer à une meilleure gestion des déchets du bâtiment.

Les avantages sont :

- Réduction des déchets plastiques ;
- Réutilisation de matériaux recyclés ;
- Diminution du volume des déchets solides ;
- Possibilité de réemploi partiel des matériaux.

Cependant, le recyclage des briques contenant de l'EPS reste parfois complexe à cause de la difficulté de séparation entre l'EPS et la matrice cimentaire ou argileuse.

II.7.2.5 *Analyse du cycle de vie des briques à base d'EPS*

L'analyse du cycle de vie (ACV) permet d'évaluer l'impact environnemental global des briques depuis leur fabrication jusqu'à leur fin de vie.

Étapes principales de l'ACV :

Production des matières premières extraction des ressources ; fabrication de l'EPS ; préparation des liants.

- Fabrication des briques consommation énergétique ;
- Emissions industrielles ;
- Transport des matériaux.

Phase d'utilisation économies d'énergie ;

- Amélioration de l'isolation thermique ;
- Réduction des émissions de CO₂.
- Fin de vie recyclage ;
- Réutilisation ;
- Élimination des déchets.

Les études montrent généralement que les gains énergétiques obtenus pendant l'utilisation des bâtiments compensent partiellement l'impact environnemental initial de la production de l'EPS.

II.8 Comparaison avec les briques conventionnelles

Les briques conventionnelles sont largement utilisées dans le domaine de la construction en raison de leurs bonnes propriétés mécaniques et de leur durabilité. Cependant, leur masse volumique élevée et leur conductivité thermique relativement importante peuvent entraîner des pertes énergétiques importantes dans les bâtiments.

L'incorporation du polystyrène expansé (EPS) dans les briques constitue une solution innovante permettant de produire des matériaux plus légers et plus isolants. Les briques à base d'EPS présentent des caractéristiques thermiques intéressantes, mais leurs performances mécaniques diffèrent de celles des briques traditionnelles.

Une comparaison détaillée entre ces deux types de briques permet de mieux comprendre leurs avantages, leurs limites et leurs domaines d'application.

Tableau comparatif entre les briques conventionnelles et les briques contenant de l'EPS.

Tableau 8: Comparaison des propriétés générales entre les briques conventionnelles et les briques contenant de l'EPS

Critères de comparaison	Briques conventionnelles	Briques contenant de l'EPS
Composition	Argile, ciment, sable et granulats naturels	Matrice cimentaire ou argileuse avec incorporation de billes d'EPS
Masse volumique	Élevée	Faible à très faible
Poids propre	Important	Réduit
Conductivité thermique	Relativement élevée	Très faible
Isolation thermique	Moyenne	Excellente
Résistance thermique	Faible à moyenne	Élevée
Isolation acoustique	Moyenne	Améliorée grâce à la porosité
Porosité	Faible	Plus importante
Résistance à la compression	Élevée	Plus faible
Résistance à la flexion	Bonne	Réduite
Rigidité	Élevée	Plus faible
Module d'élasticité	Important	Réduit
Comportement au feu	Bonne résistance au feu	Dépend du taux d'EPS et des traitements utilisés
Absorption des chocs	Faible	Meilleure capacité d'absorption

Conclusion

L'analyse réalisée dans ce chapitre montre que l'incorporation de l'EPS dans les matériaux de construction constitue une solution efficace pour le développement de briques et bétons légers à haute performance thermique. Grâce à sa très faible densité et à sa structure cellulaire fermée, l'EPS permet une réduction significative de la masse volumique et une amélioration notable de l'isolation thermique et acoustique des matériaux.

Cependant, cette amélioration des performances fonctionnelles s'accompagne d'une diminution progressive des propriétés mécaniques, notamment la résistance à la compression, la flexion et la rigidité, en fonction du taux d'incorporation. Il en résulte la nécessité d'optimiser le dosage de l'EPS afin d'obtenir un compromis entre légèreté, performance mécanique et isolation.

Sur le plan environnemental, l'utilisation de l'EPS recyclé s'inscrit dans une logique d'économie circulaire et contribue à la réduction de l'impact énergétique des bâtiments. Toutefois, des limites persistent en matière de durabilité, de comportement au feu et de recyclabilité des matériaux composites

CHAPITRE III :

Matériaux et méthodes expérimentales

Introduction

Cette partie vise à présenter la méthodologie générale ainsi que la démarche expérimentale adoptées pour atteindre les objectifs définis dans le cadre de cette étude doctorale. Elle expose les différentes méthodes d'essais mises en œuvre, leurs protocoles opératoires ainsi que les normes de référence appliquées. Ce chapitre décrit également les matériaux utilisés et leurs principales propriétés physico-chimiques et mécaniques. En outre, les procédures d'identification, de formulation et de préparation des échantillons étudiés sont détaillées. Enfin, une présentation synthétique des essais expérimentaux réalisés ainsi que des analyses effectuées au cours de ce travail est également proposée.

III.1 Caractérisation des matériaux utilisés

Cette partie est consacrée à la présentation et à l'analyse des principales propriétés des matériaux employés dans le cadre de cette étude

III.1.1 Ciment

Dans le cadre de cette recherche, un ciment Portland composé de type CEM II a été utilisé comme liant principal. Ce ciment se caractérise par la substitution partielle du clinker par des ajouts minéraux, offrant un excellent compromis entre l'activité hydraulique et l'optimisation des propriétés thermophysiques de la matrice cimentaire. La composition chimique du ciment, exprimée en pourcentage des principaux oxydes, influence directement les mécanismes d'hydratation ainsi que les propriétés physico-mécaniques des matériaux étudiés. Les résultats de l'analyse chimique du ciment employé sont présentés dans le Tableau

Tableau 9: composition chimique élémentaire de ciment CEM II

Oxyde	Symbole	OPC (Référence %)
Silice	<i>SiO₂</i>	15 – 19%
Alumine	<i>Al₂O₃</i>	3.5 – 5.5%
Oxyde de Calcium (Chaux)	<i>CaO</i>	55 – 62%
Oxyde de fer	<i>Fe₂O₃</i>	1.5 – 3.5%
Oxyde de magnésium	<i>MgO</i>	1 – 2.5%
Trioxyde de soufre	<i>SO₃</i>	2 – 3.5%

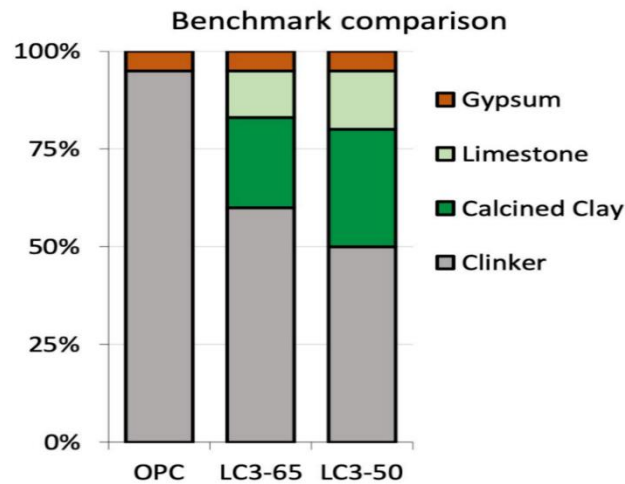


Figure 20: Composition chimique de ciment LC3 et OPC



Figure 21: Ciment utilisé

III.1.2 Sable

Le sable utilisé dans le cadre de cette étude est un sable de dunes prélevé dans la région d'Oued Souf. Afin de caractériser ce matériau, plusieurs essais ont été réalisés, notamment l'analyse granulométrique par tamisage, la détermination de la masse volumique, le calcul du module de finesse ainsi que l'essai d'équivalent de sable. Les principales caractéristiques physiques du sable étudié sont regroupées dans le Tableau 10.

Tableau 10: Caractéristiques du sable utilisé

Equivalent de sable [NA EN 933-8]	Module de finesse	Masse volumique absolue (g/cm ³) [NA EN 1097-6]	Masse volumique apparente(g/cm ³) [NA EN 1097-6]
86,39 %	2,072	2,620	1,551

L'équivalent de sable constitue un indicateur permettant d'évaluer le degré de propreté d'un

sable. Cet essai renseigne sur la teneur en éléments fins, principalement d'origine argileuse, végétale ou organique, présents à la surface des grains. Les résultats obtenus de l'essai d'équivalent de sable, réalisé conformément à la norme NF EN 933-8+A1 (2015), sont présentés dans le Tableau. L'analyse des résultats montre que le sable utilisé dans cette étude se caractérise par une grande propreté ainsi qu'une granulométrie fine.

Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933-1] :

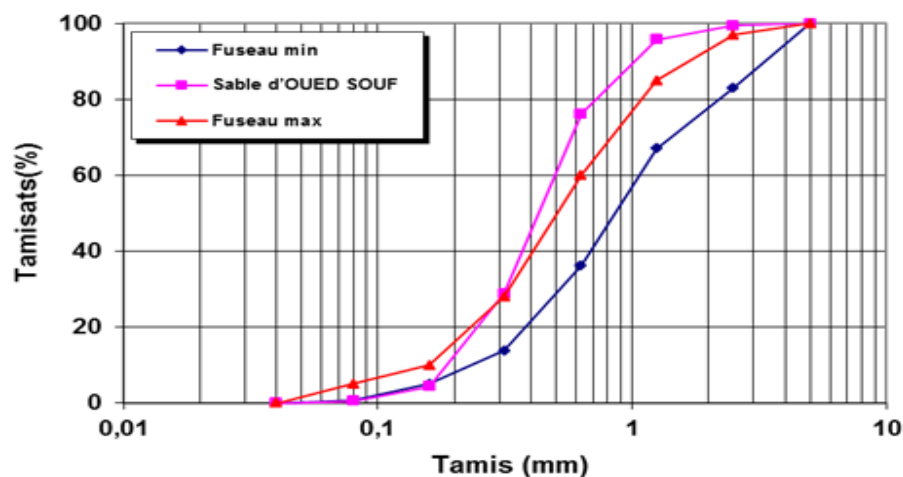


Figure 22: Analyse granulométrique du sable de dune (OUED SOUF)

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que le sable étudié se situe à l'intérieur du fuseau granulométrique recommandé. Par conséquent, ce sable présente des caractéristiques adéquates pour son utilisation dans la confection des mortiers et bétons.

III.1.3 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la préparation des mélanges est une eau potable provenant directement du réseau d'alimentation du laboratoire de génie civil de l'Université de Bordj Bou Arreridj. Son utilisation est conforme aux exigences généralement recommandées pour la confection des mortiers et des bétons.

III.1.4 Polystyrène expansé (EPS)

Le polystyrène expansé (EPS) utilisé dans le cadre de cette étude est un matériau alvéolaire léger constitué principalement d'air emprisonné dans une structure à cellules fermées. Il a été incorporé dans les mélanges en remplacement partiel des granulats afin de réduire la masse volumique des briques et d'améliorer leurs performances thermiques. Grâce à sa faible densité,

sa faible absorption d'eau et ses propriétés isolantes, l'EPS constitue une alternative intéressante pour la production de matériaux de construction légers. Les principales caractéristiques physiques de l'EPS utilisé sont présentées dans le Tableau 11.

Tableau 11: Caractéristiques du polystyrène expansé

Propriété	Valeur
Nature	Polystyrène expansé (EPS)
Structure	Cellules fermées
Couleur	Blanche
Masse volumique apparente	13 kg/m ³
Absorption d'eau	Très faible
Conductivité thermique	0,030 à 0,040 W/m·K
Diamètre des billes	3 à 5 mm

III.2 Composition des différents mélanges

L'étude expérimentale a été menée sur la base des formulations de mélange présentées dans le Tableau II.3, comprenant neuf compositions contenant différents pourcentages de polystyrène expansé (EPS). Afin d'évaluer les propriétés mécaniques et physiques des mortiers élaborés, les éprouvettes ont été conservées dans les conditions ambiantes du laboratoire après leur mise en moule. Le démoulage des échantillons a été effectué après 24 heures de cure.

Tableau 12: Compositions des différents mélanges de bétons

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mélanges	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Ciment(g)	614	614	614	614	614	614	614	614	614
Sable(g)	491	491	491	369	614	614	369	369	614
Eau(g)	246	246	246	246	246	246	246	246	246
EPS(g)	0	6.1	12.2	0	6.1	0	12.2	6.1	12.2
EPS%	0	50.66	101.32	0	46.13	0	112.7	56.35	92.26

III.3 Préparation des échantillons

CHAPITRE III : Matériaux et méthodes expérimentales

Les principales procédures adoptées pour la confection des différents mélanges sont présentées dans cette section afin de décrire les étapes expérimentales suivies lors de la préparation des mortiers étudiés.

Étape 1 : Malaxage à sec du sable et du ciment

Dans un premier temps, le sable et le ciment ont été introduits dans un récipient puis mélangés manuellement à sec, afin d'assurer une répartition homogène des constituants avant l'ajout de l'eau et des autres composants éventuels.



Figure 23: Malaxage à sec du sable et du ciment

Étape 2 : Ajout de l'eau

Après homogénéisation du mélange à sec, l'eau de gâchage a été ajoutée progressivement tout en poursuivant le malaxage afin d'obtenir un mélange homogène et une bonne dispersion des constituants.



Figure 24: Ajout de l'eau

Étape 3 : Incorporation du polystyrène expansé (EPS)

Après l'ajout de l'eau, le polystyrène expansé (EPS) a été incorporé progressivement au mélange tout en maintenant le malaxage afin d'assurer une répartition uniforme des granulés dans la matrice cimentaire et d'éviter leur ségrégation.



Figure 25: Incorporation du polystyrène expansé (EPS)

Étape 4 : Mise en moule des éprouvettes

Le mélange obtenu a ensuite été introduit dans des moules prismatiques de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ afin de préparer les éprouvettes destinées aux différents essais expérimentaux.



Figure 26: Mise en moule des éprouvettes

Étape 5 : Vibration et compactage des éprouvettes

Après la mise en moule, les éprouvettes ont été soumises à une vibration à l'aide d'une table vibrante afin d'assurer un compactage adéquat du mélange, d'éliminer les bulles d'air emprisonnées et d'améliorer l'homogénéité des échantillons.



Figure 27: Vibration et compactage des éprouvettes

Étape 6 : conservation et cure des eprevette

Les éprouvettes sont conservées en laboratoire de génie civil à l'air libre, à température ambiante, afin de permettre la poursuite de l'hydratation du ciment et le développement progressif des résistances mécaniques.



Figure 28: Conservation et cure des eprevette

III.4 Essais de caractérisations

III.4.1 Essais à l'état durcis

III.4.1.1 Résistances mécaniques

III.4.1.1.1 Résistance à la compression et à la flexion

L'évaluation de la résistance à la compression et de la résistance à la flexion a été effectuée à 7, 28 et 90 jours, selon la norme EN 196-1 (196-1, 2018) sur des éprouvettes de dimensions (40 × 40 × 160 mm³).

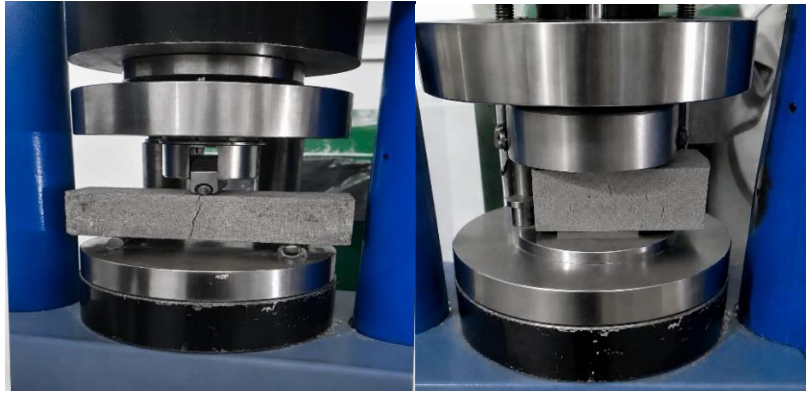


Figure 29: Essai de flexion et de compression sur éprouvettes prismatiques $4 \times 4 \times 16$ cm.

III.4.1.2 Absorbtion

L'essai d'absorption d'eau a été réalisé à l'âge de 28 jours conformément à la norme européenne NF EN 772-21, relative à la détermination de l'absorption d'eau des éléments de maçonnerie par immersion dans l'eau froide.

III.4.1.3. Conductivité thermique

Pour un mortier léger contenant des inclusions d'EPS (polystyrène expansé) de dimensions $4 \times 4 \times 8$ cm, le protocole d'essai de la conductivité thermique est généralement réalisé selon la norme française NF EN 12664, applicable aux matériaux de construction de faible et moyenne résistance thermique, comme les mortiers allégés. La mesure peut être effectuée par la méthode de la plaque chaude gardée ou du fluxmètre thermique.



Figure 30 : Processus de la conductivité thermique .

Conclusion

Dans ce chapitre, une caractérisation expérimentale approfondie des matériaux de base entrant dans la composition des différents mélanges a été réalisée. Les constituants sélectionnés ont été choisis conformément aux normes et recommandations en vigueur, garantissant ainsi leur adéquation à la fabrication des briques étudiées. Cette démarche permet d'établir une formulation rigoureuse et cohérente des mélanges élaborés. Par ailleurs, la détermination des propriétés physiques et mécaniques intrinsèques des matériaux constitue une étape fondamentale pour la compréhension, l'analyse et l'interprétation du comportement des composites développés, notamment en ce qui concerne l'évolution de leurs performances sous l'effet des différentes sollicitations auxquelles ils peuvent être soumis.

Chapitre VI :

Résultats et discussion

Introduction

Dans le contexte actuel du développement durable et de l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, l'utilisation de matériaux de construction légers et performants constitue un axe de recherche majeur. Parmi les solutions envisagées, l'incorporation de déchets de polystyrène expansé (EPS) dans les matériaux cimentaires représente une approche innovante permettant à la fois de valoriser un résidu à fort impact environnemental et d'améliorer certaines propriétés fonctionnelles des matériaux de construction.

Le présent chapitre est consacré à la présentation et à l'analyse critique des résultats expérimentaux obtenus sur les différentes formulations élaborées à base de ciment, de sable et d'EPS. L'objectif est d'évaluer l'influence de la substitution partielle du sable par l'EPS sur les propriétés mécaniques, physiques, thermiques et acoustiques des matériaux développés. Cette évaluation repose sur l'étude de plusieurs paramètres fondamentaux, à savoir la résistance à la compression, la résistance à la flexion, la masse volumique à sec, l'absorption d'eau, la conductivité thermique ainsi que les performances d'isolation acoustique.

L'interprétation des résultats expérimentaux permettra d'identifier les mécanismes gouvernant le comportement des matériaux étudiés et de mettre en évidence les interactions entre la microstructure induite par l'EPS et les propriétés macroscopiques observées. Une attention particulière sera accordée à l'analyse des compromis existant entre les performances mécaniques et les propriétés d'isolation, afin de déterminer les formulations les plus adaptées aux exigences du secteur du bâtiment.

Enfin, les résultats obtenus seront discutés à la lumière des travaux scientifiques antérieurs afin de situer les performances des matériaux développés par rapport à celles rapportées dans la littérature. Cette démarche vise à apprécier le potentiel des briques et mortiers légers à base d'EPS comme matériaux de construction durables, capables de répondre simultanément aux exigences structurelles, énergétiques, acoustiques et environnementales des constructions modernes.

IV.1 Résistance à la compression

La résistance à la compression constitue l'un des paramètres fondamentaux permettant d'évaluer les performances mécaniques des matériaux cimentaires. Cet essai permet de déterminer la capacité du mortier à supporter des charges de compression sans rupture. Dans le cadre de cette étude, il a été réalisé afin d'analyser l'influence de l'incorporation du polystyrène expansé (EPS) sur le comportement mécanique des différents mélanges élaborés et d'évaluer leur aptitude à répondre aux exigences d'utilisation dans le domaine de la construction.

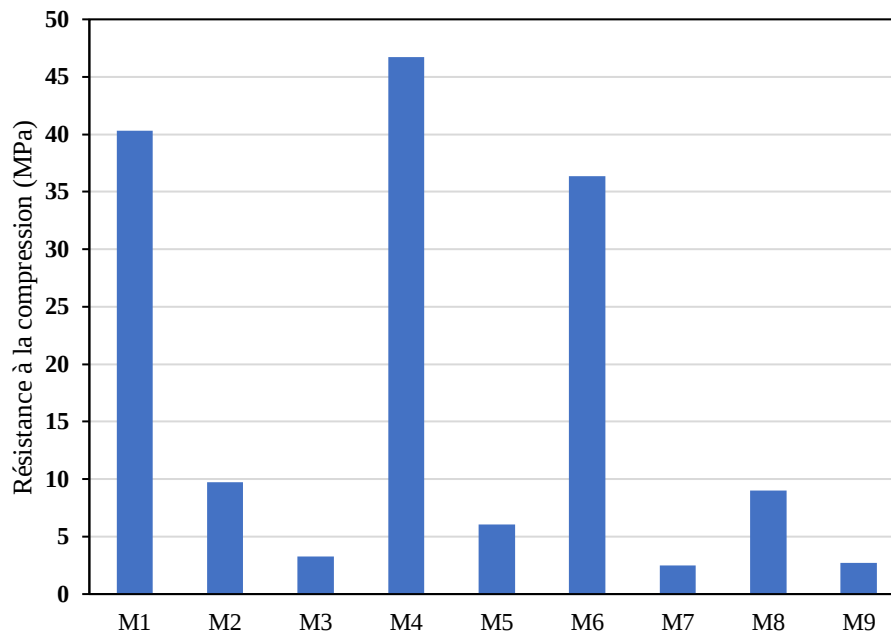


Figure 31: Résistance à la compression de différents mélanges

Les résultats de la résistance à la compression montrent une influence significative de l'incorporation de l'EPS sur le comportement mécanique des mortiers légers. Les mélanges sans EPS (M1, M4 et M6) présentent les résistances les plus élevées, avec des valeurs respectives de 40,311 MPa, 46,731 MPa et 36,36 MPa, ce qui confirme le rôle du squelette granulaire minéral dans l'amélioration de la compacité et de la résistance mécanique. En revanche, l'ajout d'EPS entraîne une diminution progressive de la résistance à la compression, comme observé pour M2 (9,728 MPa) et M5 (6,046 MPa) contenant environ 6,1 g d'EPS, puis plus fortement pour M3 (3,26 MPa), M7 (2,5 MPa) et M9 (2,73 MPa) avec 12,2 g d'EPS. Cette baisse s'explique par la faible rigidité mécanique des particules de polystyrène expansé et par l'augmentation de la porosité interne du mortier, ce qui réduit l'adhérence entre la pâte cimentaire et les granulats ainsi que la capacité du matériau à supporter les charges. Par ailleurs, la variation de la quantité de sable influence également les performances mécaniques : le mélange M4 (369 g de sable, sans EPS) atteint la résistance la plus élevée (46,731 MPa), suggérant qu'une optimisation du rapport ciment/sable améliore la densification de la matrice. Globalement, les résultats indiquent une relation inverse entre le taux d'EPS incorporé et la résistance à la compression, mettant en évidence un compromis entre allègement/isolation thermique et performance mécanique du mortier léger.

IV.2 Résistance à la flexion

La résistance à la flexion représente un indicateur important de la capacité du matériau à résister aux sollicitations de traction indirecte et à la propagation des fissures. Cet essai permet d'apprécier la cohésion interne de la matrice cimentaire ainsi que l'efficacité de l'adhérence entre ses constituants. L'objectif est d'évaluer l'effet de l'incorporation de l'EPS sur le comportement du mortier sous l'action des contraintes de flexion et sur sa résistance à la fissuration.

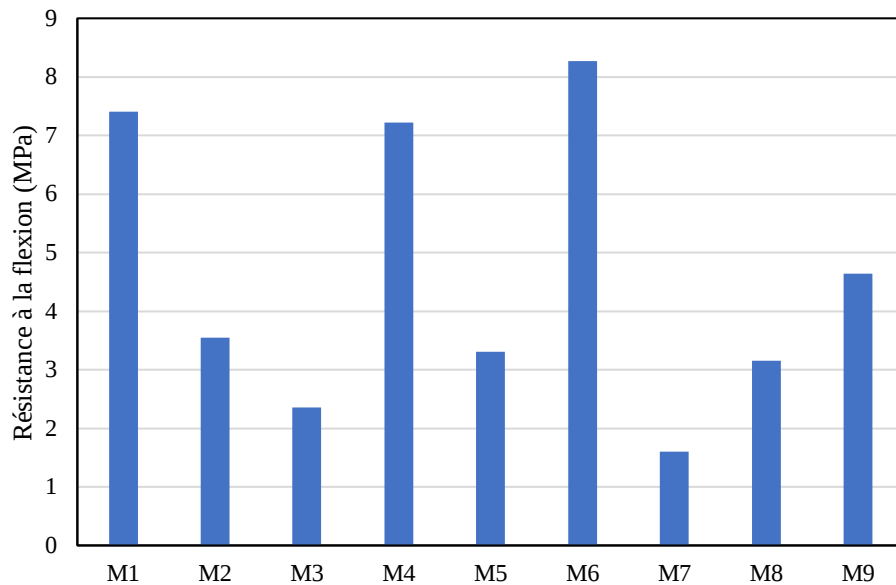


Figure 32: Résistance à la flexion

Les résultats de la résistance à la flexion montrent également une influence notable de l'incorporation de l'EPS sur les performances mécaniques des mortiers légers. Les mélanges sans EPS (M1, M4 et M6) présentent les meilleures résistances à la flexion, avec des valeurs respectives de 7,403 MPa, 7,216 MPa et 8,27 MPa, ce qui traduit une meilleure cohésion de la matrice cimentaire et une plus grande capacité à résister aux contraintes de traction indirecte. En revanche, l'ajout d'EPS entraîne une diminution progressive de cette résistance, comme observé pour les mélanges contenant 6,1 g d'EPS (M2 = 3,55 MPa, M5 = 3,311 MPa et M8 = 3,153 MPa), dont les valeurs sont réduites de près de moitié par rapport aux mortiers témoins. Cette diminution devient plus marquée pour les mélanges contenant 12,2 g d'EPS, notamment M3 (2,351 MPa) et M7 (1,6 MPa), en raison de la faible rigidité du polystyrène expansé et de l'augmentation de la porosité, qui fragilisent les liaisons internes du matériau et favorisent l'amorçage des fissures sous chargement en flexion. Toutefois, le mélange M9 (4,636 MPa) présente une résistance relativement supérieure malgré une teneur élevée en EPS, ce qui peut

être attribué à l'effet de la formulation, notamment la quantité de sable (614 g) favorisant une meilleure répartition des contraintes et une meilleure compacité locale. Globalement, les résultats mettent en évidence une relation inverse entre la teneur en EPS et la résistance à la flexion, tout en confirmant que la composition granulaire du mortier joue un rôle déterminant dans le maintien des propriétés mécaniques.

IV.3 Masse Volumique à sec

La masse volumique à sec constitue une propriété physique essentielle pour la caractérisation des matériaux légers. Elle permet d'apprécier l'effet de l'incorporation de l'EPS sur la densité du mortier ainsi que son potentiel d'allègement. La détermination de ce paramètre est particulièrement importante dans le cadre du développement de matériaux de construction à faible poids propre, destinés à améliorer les performances énergétiques des bâtiments tout en réduisant les charges appliquées aux structures.

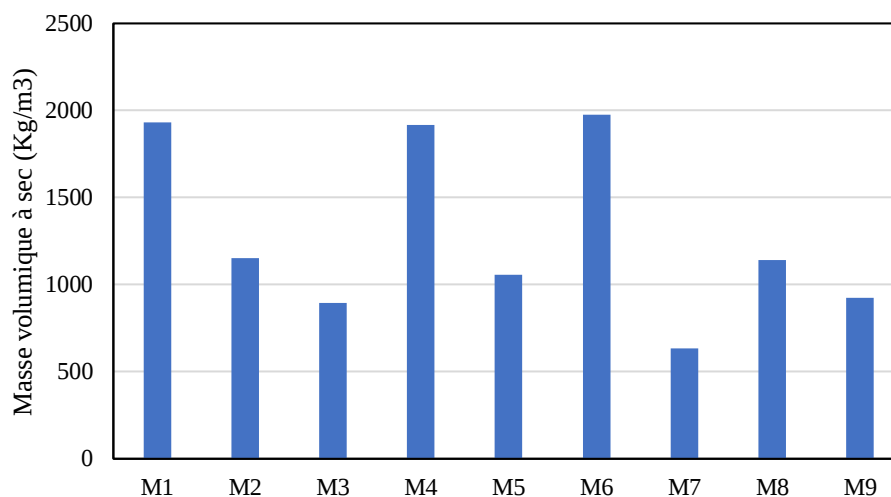


Figure 33: Masse volumique des différents mélanges

Les résultats de la masse volumique à sec montrent une diminution importante de la densité des mortiers avec l'incorporation de l'EPS, ce qui confirme l'effet allégeant du polystyrène expansé dans la matrice cimentaire. Les mortiers témoins sans EPS (M1, M4 et M6) présentent les masses volumiques les plus élevées, avec des valeurs respectives de 1930,86 kg/m³, 1918,71 kg/m³ et 1975,66 kg/m³, caractéristiques des mortiers conventionnels à base de sable. En revanche, l'ajout de 6,1 g d'EPS provoque une réduction notable de la masse volumique, observée pour M2 (1153,55 kg/m³), M5 (1055,82 kg/m³) et M8 (1140,12 kg/m³), traduisant un allègement significatif du matériau dû à la faible densité intrinsèque de l'EPS et à l'augmentation des vides internes. Cette diminution devient encore plus marquée avec une

teneur plus élevée en EPS (12,2 g), où les mélanges M3 (893,91 kg/m³), M7 (634,92 kg/m³) et M9 (925,63 kg/m³) atteignent des densités très faibles, notamment M7, qui présente la valeur minimale en raison de sa forte teneur relative en EPS (112,7 %) combinée à une faible quantité de sable (369 g). Ces résultats mettent en évidence une relation inverse entre la teneur en EPS et la masse volumique à sec : plus le taux d'EPS augmente, plus la densité du mortier diminue. Cette réduction de masse volumique favorise les propriétés d'isolation thermique et la légèreté du matériau, mais elle s'accompagne généralement d'une diminution des performances mécaniques, notamment en compression et en flexion.

IV.4 Absorption d'eau

L'absorption d'eau est un indicateur important du comportement hydrique et de la durabilité des matériaux cimentaires. Cet essai permet d'évaluer la capacité du mortier à absorber l'eau en fonction de sa structure poreuse. L'étude de ce paramètre est essentielle pour comprendre l'influence de l'EPS sur la porosité du matériau et sur son aptitude à résister aux phénomènes liés à l'humidité au cours de sa durée de service.

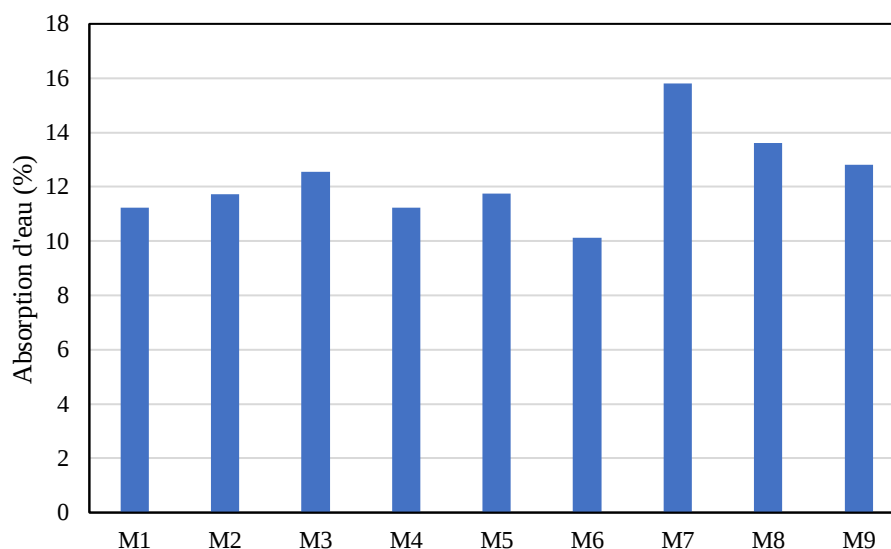


Figure34: Absorption d'eau de différents mélanges

Les résultats de l'absorption d'eau indiquent une augmentation globale de la capacité d'absorption des mortiers légers avec l'incorporation de l'EPS. Les mélanges témoins sans EPS (M1, M4 et M6) présentent les plus faibles taux d'absorption, respectivement de 11,24 %, 11,22 % et 10,11 %, ce qui traduit une structure relativement compacte et moins poreuse. En revanche, les mélanges contenant 6,1 g d'EPS (M2 = 11,73 %, M5 = 11,75 % et M8 = 13,6 %) montrent une légère à modérée augmentation de l'absorption d'eau, suggérant une porosité plus développée induite par l'incorporation du polystyrène expansé. Cette tendance devient plus

marquée avec une teneur plus élevée en EPS (12,2 g), comme observé pour M3 (12,55 %), M7 (15,8 %) et M9 (12,8 %), où les valeurs les plus élevées traduisent une augmentation des vides internes et une moindre compacité de la matrice cimentaire. Le mélange M7 présente la plus forte absorption d'eau (15,8 %), ce qui peut être expliqué par la combinaison d'une forte teneur relative en EPS (112,7 %) et d'une faible quantité de sable (369 g), favorisant une structure plus poreuse et donc plus perméable à l'eau. Bien que l'EPS soit un matériau hydrophobe, son incorporation génère des interfaces et des pores supplémentaires dans le mortier, facilitant la pénétration de l'eau. Ainsi, les résultats mettent en évidence une relation directe entre la teneur en EPS et l'absorption d'eau, ce qui peut influencer la durabilité du matériau et nécessite un compromis entre légèreté, isolation thermique et comportement hydrique.

IV.5 Conductivité thermique

La conductivité thermique est l'une des propriétés les plus importantes pour l'évaluation des performances énergétiques des matériaux de construction. Cet essai permet de mesurer la capacité du matériau à transmettre la chaleur et d'apprécier l'efficacité de l'EPS en tant qu'agent isolant. L'objectif est de déterminer l'influence du taux d'incorporation de l'EPS sur les propriétés thermiques des mortiers légers et d'évaluer leur potentiel pour les applications d'isolation dans le bâtiment

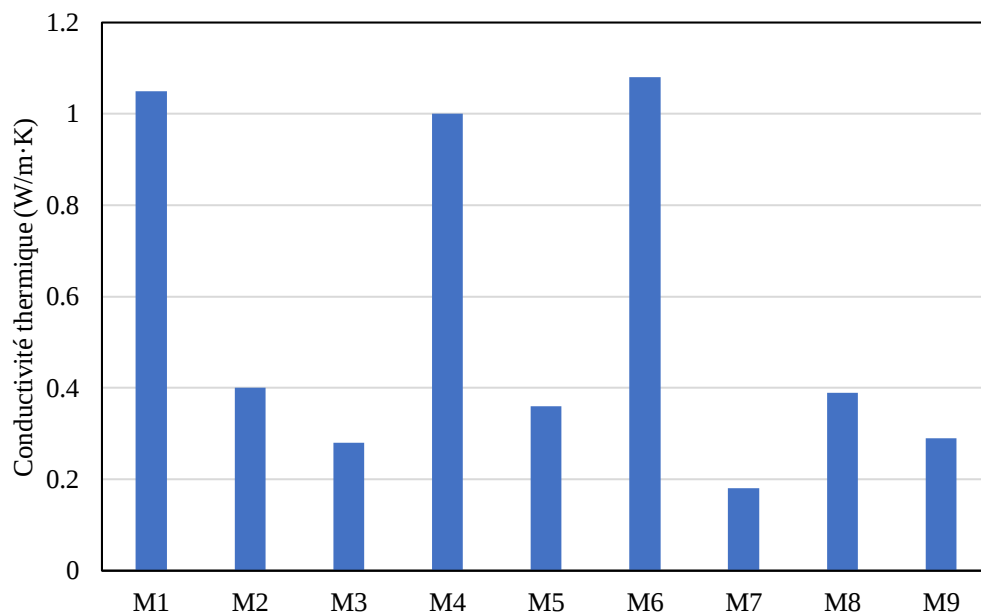


Figure35: Conductivité thermique de différents mélanges

Les résultats de la conductivité thermique montrent une diminution significative de la capacité de transfert de chaleur des mortiers avec l'incorporation de l'EPS, confirmant l'amélioration

des propriétés isolantes du matériau. Les mélanges témoins sans EPS (M1, M4 et M6) présentent les valeurs de conductivité thermique les plus élevées, respectivement de 1,05 W/m·K, 1,00 W/m·K et 1,08 W/m·K, ce qui est caractéristique des mortiers conventionnels à matrice cimentaire dense. En revanche, l'ajout d'EPS entraîne une réduction importante de la conductivité thermique, avec des valeurs comprises entre 0,36 et 0,40 W/m·K pour les mélanges contenant 6,1 g d'EPS (M2, M5 et M8), traduisant une amélioration notable de la résistance au transfert thermique. Cette réduction devient plus marquée pour les mélanges incorporant 12,2 g d'EPS, où les valeurs atteignent 0,28 W/m·K (M3), 0,18 W/m·K (M7) et 0,29 W/m·K (M9), indiquant une forte capacité isolante. Le mélange M7 présente la plus faible conductivité thermique (0,18 W/m·K), ce qui peut être attribué à sa faible masse volumique et à sa teneur élevée en EPS (112,7 %), favorisant une structure riche en vides d'air, connus pour leur faible conductivité thermique. Bien que l'EPS soit un matériau peu conducteur de chaleur, son incorporation augmente également la porosité globale du mortier, réduisant ainsi les chemins de propagation thermique dans la matrice cimentaire. Globalement, les résultats mettent en évidence une relation inverse entre la teneur en EPS et la conductivité thermique : plus la quantité d'EPS augmente, plus la conductivité thermique diminue, ce qui améliore les performances d'isolation thermique du mortier léger, mais peut s'accompagner d'une réduction des propriétés mécaniques, notamment la résistance à la compression et à la flexion.

IV.6 Isolation acoustique

IV.6.1 Brique traditionnel



Figure 36: Test d'isolation acoustique brique conventionnel

IV.6.2 Brique léger



Figure37: Test d’isolation acoustique brique léger

Les résultats de l’essai d’isolation acoustique mettent en évidence une amélioration significative des performances acoustiques de la brique légère incorporant du polystyrène expansé (EPS) par rapport à la brique traditionnelle.

Tableau 13: Comparaison des performances d’isolation acoustique entre la brique traditionnelle et la brique légère incorporant du polystyrène expansé (EPS)

Type de brique	Niveau sonore avant (dB)	Niveau sonore après (dB)	Atténuation (dB)
Brique traditionnelle	97,7	75,5	22,2
Brique légère avec EPS	96,2	47,5	48,7

L’analyse des résultats montre que la brique traditionnelle réduit le niveau sonore de 97,7 dB à 75,5 dB, soit une atténuation acoustique de 22,2 dB. Cette réduction est principalement liée à la masse de la brique et à sa capacité à limiter partiellement la transmission des ondes sonores à travers sa structure.

En revanche, la brique légère contenant de l’EPS présente une performance nettement supérieure, avec une diminution du niveau sonore de 96,2 dB à 47,5 dB, correspondant à une atténuation de 48,7 dB. Cette valeur représente plus du double de l’atténuation obtenue avec la brique traditionnelle. Cette amélioration importante peut être attribuée à la structure cellulaire fermée du polystyrène expansé ainsi qu’à l’augmentation de la porosité interne du matériau. En

CHAPITRE VI : Résultats et discussion

effet, les cellules d'air emprisonnées dans les particules d'EPS favorisent la dissipation de l'énergie acoustique par réflexions multiples et réduisent la propagation des vibrations sonores à travers la matrice.

Par ailleurs, la présence de l'EPS modifie l'impédance acoustique du matériau et augmente sa capacité à absorber une partie de l'énergie des ondes incidentes. La combinaison de la faible densité du polystyrène et de la présence de vides d'air contribue ainsi à réduire efficacement la transmission du bruit. Ce comportement est cohérent avec les résultats observés sur les matériaux légers poreux, largement reconnus pour leurs propriétés d'absorption acoustique dans le domaine du bâtiment.

Les résultats obtenus démontrent donc que l'incorporation de l'EPS permet non seulement de réduire la masse volumique du matériau et d'améliorer ses performances thermiques, mais également d'accroître considérablement son efficacité en matière d'isolation acoustique. Cette amélioration constitue un avantage important pour les applications de construction visant à renforcer le confort acoustique des occupants, notamment dans les bâtiments résidentiels, administratifs et éducatifs.

Conclusion

Les résultats expérimentaux obtenus ont permis de mettre en évidence l'influence significative de l'incorporation du polystyrène expansé (EPS) sur les propriétés des mortiers et briques légers étudiés. L'augmentation de la teneur en EPS entraîne une diminution progressive des résistances mécaniques, notamment en compression et en flexion, en raison de l'accroissement de la porosité et de la faible rigidité des particules d'EPS.

Parallèlement, l'incorporation de l'EPS contribue à une réduction importante de la masse volumique, confirmant son efficacité comme agent allégeant. Cette diminution de densité s'accompagne d'une légère augmentation de l'absorption d'eau, liée au développement de la porosité interne du matériau.

Les résultats thermiques et acoustiques révèlent toutefois des performances particulièrement intéressantes. La baisse significative de la conductivité thermique traduit une amélioration notable de la capacité d'isolation thermique, tandis que l'atténuation acoustique observée pour les briques contenant de l'EPS confirme leur potentiel en matière de confort sonore.

Dans l'ensemble, les résultats mettent en évidence un compromis entre les performances mécaniques et les propriétés d'isolation. L'utilisation de l'EPS apparaît ainsi comme une solution prometteuse pour la conception de matériaux de construction légers, offrant de bonnes performances thermiques et acoustiques tout en contribuant à la valorisation des déchets plastiques et à la promotion d'une construction plus durable.

Conclusion générale

Dans un contexte marqué par les enjeux du développement durable, de l'efficacité énergétique et de la réduction de l'impact environnemental du secteur du bâtiment, cette étude s'est intéressée au développement d'une brique écologique, légère et isolante à base de ciment, de sable et de polystyrène expansé (EPS). L'objectif principal consistait à évaluer l'influence de l'incorporation de l'EPS sur les propriétés physiques, mécaniques et thermiques du matériau afin d'identifier une formulation capable de concilier légèreté, performances thermiques et résistance mécanique.

L'étude bibliographique réalisée a mis en évidence l'intérêt croissant porté aux matériaux de construction légers intégrant des matériaux recyclés ou valorisés. Les travaux antérieurs ont montré que l'utilisation de l'EPS permet généralement de réduire la masse volumique et la conductivité thermique des matériaux cimentaires tout en affectant leurs performances mécaniques. Cette analyse a permis de situer le présent travail dans la continuité des recherches consacrées aux matériaux de construction durables.

La campagne expérimentale menée a permis de caractériser les matériaux utilisés et d'évaluer les performances des différents mélanges élaborés. Les résultats obtenus ont montré que l'augmentation du taux d'incorporation de l'EPS entraîne une diminution progressive de la masse volumique, traduisant un allègement significatif du matériau. Cette réduction de densité contribue à diminuer les charges permanentes appliquées aux structures et facilite les opérations de transport et de mise en œuvre.

Par ailleurs, les essais thermiques ont confirmé l'amélioration des propriétés isolantes des briques contenant de l'EPS. La présence des billes de polystyrène, caractérisées par leur très faible conductivité thermique et leur structure cellulaire fermée, permet de limiter les transferts de chaleur à travers le matériau et d'améliorer ainsi l'efficacité énergétique potentielle des bâtiments. Les résultats acoustiques ont également montré une amélioration du comportement du matériau vis-à-vis de l'atténuation des nuisances sonores.

Cependant, les résultats mécaniques ont révélé une diminution progressive des résistances à la compression et à la flexion avec l'augmentation de la teneur en EPS. Cette évolution est principalement liée à l'augmentation de la porosité et à la faible rigidité mécanique du polystyrène comparativement aux granulats conventionnels. Néanmoins, certaines formulations ont conservé des performances mécaniques compatibles avec des applications de maçonnerie non porteuse ou faiblement sollicitée.

Ainsi, cette recherche a démontré qu'il est possible de produire une brique légère, écologique

et isolante présentant un compromis satisfaisant entre performances mécaniques et propriétés thermiques. L'utilisation du polystyrène expansé constitue une solution pertinente pour le développement de matériaux innovants destinés à la construction durable et à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.

En perspective, des travaux complémentaires pourraient être consacrés à l'optimisation de l'interface entre l'EPS et la matrice cimentaire, à l'utilisation d'adjuvants ou de fibres de renforcement, ainsi qu'à l'étude du comportement à long terme des briques développées face aux différentes sollicitations environnementales. Des investigations portant sur la durabilité, la résistance au feu et l'analyse du cycle de vie permettraient également de renforcer les perspectives d'application industrielle de ce matériau.

En définitive, les résultats obtenus confirment le potentiel des briques à base de polystyrène expansé comme alternative prometteuse aux matériaux conventionnels, contribuant à la fois à la valorisation des ressources, à la réduction de la consommation énergétique et à la promotion d'une construction plus respectueuse de l'environnement.

Références

Références

- [1] Matériaux de construction, Courard, L. Matériaux de construction, 2012.
- [2] Matériaux de construction, SIRAT, A. Matériaux de construction, 2025.
- [3] Etude des caractéristiques mécaniques d'une brique en terre stabilisée à l'aide de la mélasse de canne à sucre, Narcisse MALANDA, KIMBEMBE, P. L., & Yannick Destin TAMBA-NSEMI. Etude des caractéristiques mécaniques d'une brique en terre stabilisée à l'aide de la mélasse de canne à sucre. Sciences Appliquées et de l'Ingénieur, 2(2), 1–9, 2017.
- [4] Wienke, U. (2010). La brique : matériau de construction durable (2e éd.). Paris, France : Éditions Le Moniteur.
- [5] EXACOMPARE, Quels sont les différents types de briques pour la construction ?, 8 août 2023.
- [6] Kerdoudi, M., & El Faleh, R. (2024). Étude comparative entre la brique traditionnelle et les nouveaux matériaux de construction à base de polymères expansés. Revue Algérienne des Matériaux et Construction, 12(2), 145-158.
- [7] Arliguie, G., & Grandet, J. (1990). Influence de la composition d'un ciment portland sur son hydratation en présence de zinc. Cement and Concrete Research, 20(4), 517-524.
- [8] Breilly, D. (2022). Synthèse d'adjuvant pour l'industrie du béton via la fonctionnalisation de lignines industrielles et la conception de nouveaux polymères biosourcés (Doctoral dissertation, AgroParisTech).
- [9] Propriétés des bétons, Neville, A. M. Propriétés des bétons. Librairie Eyrolles.
- [10] Zemmouri, H., Boukemaya, L., & Tebbouche, H. E. (2018). L'importance de l'utilisation des matériaux écologiques dans la conception des bâtiments à basse consommation énergétique (bbc) (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- [11] Chi et al., Études des propriétés thermiques et acoustiques des bétons légers, 2003 Taleb et al.,.
- [12] Calais, Étude sur les propriétés des bétons et briques légères, 2013.
- [13] Lingling, X., Wei, G., Tao, W., & Nanru, Y. (2005). Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio. Construction and Building Materials, 19(3), 243–247.
- [14] Egan, M. D. (2007). Architectural acoustics (J. Ross Publishing)
- [15] Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2011). Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020. *Construction and Building Materials*, 51, 151–162.
- [16] Études sur les performances des briques légères et additifs minéraux, 2018

Références

- [17] Travail de López Gómez et Cultrone (2023)
- [18] Ferrándiz-Mas, V., Bond, T., García-Alcocel, E., & Cheeseman, C. R. (2014). Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash. *Construction and Building Materials*, 61, 285–292.
- [19] Brooks, A. L., Shen, Z., & Zhou, H. (2020). Development of a high-temperature inorganic synthetic foam with recycled fly ash for thermal insulation applications. *Ceramics International*, 46(12), 18804–18812.
- [20] Rahman, M. A. (1987). Properties of clay-sand-rice husk ash mixed bricks. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 9(2), 105–108.
- [21] Lingling, X., Wei, G., Tao, W., & Nanru, Y. (2005). Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio. *Construction and Building Materials*, 19(3), 243–247.
- [22] Sutcu, M., Akkurt, S., Bayram, A., & Uluca, U. (2009). Production of porous fired clay bricks using paper processing residues. *Journal of the European Ceramic Society*, 29(10), 1945–1954.
- [23] Demir, I. (2005). An investigation on the production of construction brick with processed waste tea. *Building and Environment*, 41(9), 1274–1278.
- [24] Zhang, L. (2013). Production of bricks from waste materials – A review. *Construction and Building Materials*, 47, 643–655.
- [25] Salih, M. M., Osofero, A. I., & Imbabi, M. S. (2020). Critical review of recent development in fiber reinforced adobe bricks for sustainable construction. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14(4),
- [26] Miled, K. (2005). Effet de taille dans le béton léger de polystyrène expansé. THESE DE DOCTORAT DE L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES, SPECIALITE: MECANIQUE, STRUCTURE ET MATERIAUX.
- [27] Miled, K. (2005). Effet de taille dans le béton léger de polystyrène expansé. THESE DE DOCTORAT DE L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES, SPECIALITE: MECANIQUE, STRUCTURE ET MATERIAUX.
- [28] Walid, K., Hocine, H., Imene, Z. S., & Redjem, B. Caractérisation D'un Béton Ordinaire À Base Des Billes De Polystyrène Expansé. In 1st International Congress on Advances in Geotechnical Engineering and Construction Management (p. 784).
- [29] Serratrice, J. F. (1994, October). Comportement mécanique du polystyrène expansé. In Journées des Sciences de l'Ingénieur du réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées.

Références

- [30] Frias, M., García, R., Vigil de la Villa, R., & Martínez-Ramírez, S. (2014). Lightweight concrete and bricks incorporating expanded polystyrene waste: Mechanical and thermal properties. *Construction and Building Materials*, 61, 285–292.
- [31] Staudinger, H. (1920). *Über Polymerisation*. Berlin, Allemagne : Springer
- [32] Babu, D. S., Babu, K. G., & Wee, T. H. (2005). Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1218–1223.
- [33] Bauduin, G., Mouanda, J., Taha, M., Sergent, M., Mathieu, D., & Luu, R. P. T. (1987). Mise au point d'un nouveau béton léger de polystyrène expansé—I: étude des constituants principaux. *European Polymer Journal*, 23(6), 441–445.
- [34] Bouhezila, F., Amirouche, I., Guemraouie, Y., & Hallal, I. E. (2018). L'apport des matériaux de construction au projet d'architecture : Cas du béton léger (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- [35] RILEM. (2000). *Durability of lightweight aggregate concrete*. RILEM Publications.
- Tang, C., & Cui, H. (2018). Environmental impact and performance of lightweight concrete containing recycled materials. *Construction and Building Materials*, 170, 1–10.
- [36] Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Pearson Education Limited.
- [37] ACI Committee 213R-14. (2014). *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*. American Concrete Institute.