الجـــمـــهـــوريـــــــــــــة
الجـــــــــــــــــــــــــــــــــزائـــريـــة الديمــــــــــــــقـــراطـيـــة
الـــشــــــــــــــعـــبـيـــة

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التـــعـــلـيـــــم
العـــــــــــــــــالي والبـــــــــــــــــحث العـــــــــــلـــــمــــــي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

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

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

MÉMOIRE DE STARTUP

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Civil

Spécialité : Matériau de Génie Civil

Par : **Fouad BEN ALI**

Sujet

Béton innovant de Mousse

Soutenu publiquement, le / / 2026, devant le jury composé de :

M.		Univ-BBA	Président
M.		Univ-BBA	Examinateur
M.		Univ-BBA	représentante de l'incubateur
M. GUELMINE Layachi	MCA	Univ-BBA	Encadrant

Année Universitaire 2024/2025

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

À mon encadreur, **Dr GUELMINE Layachi**, pour son encadrement, ses conseils précieux et son soutien tout au long de ce travail.

À ma grande et à ma petite famille, pour leur amour, leurs encouragements et leur patience.

À tous mes enseignants, qui ont contribué à ma formation et à mon enrichissement scientifique.

À tous mes amis, sans exception, pour leur soutien moral et leur présence.

À toute la promotion du **Master Génie Civil 2024–2025**.

À toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

ملخص:

يأتي هذا البحث في إطار مذكرة ماستر ضمن مشروع إنشاء مؤسسة ناشئة متخصصة في تصنيع كتل مبتكرة من الخرسانة الرغوية. ونظراً لقصر المدة الزمنية المخصصة لهذا العمل ونقص التجهيزات التجريبية الخاصة، اقتصرت التجارب المنجزة أساساً على تحديد تركيبة الخرسانة الرغوية، وتحضير العينات، وتقييم بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية، ولا سيما الكثافة الحجمية الظاهرية، وامتصاص الماء، ومقاومة الضغط. ولم يكن من الممكن تقييم الخصائص الحرارية والصوتية تجريبياً، لذلك تم تحليل هذه الخصائص والتحقق منها اعتماداً على معطيات مستخلصة من الدراسات العلمية الحديثة.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أداءً مرضياً لكتل الخرسانة الرغوية، مما يؤكد قابليتها للاستخدام في البناء الموفّر للطاقة. كما مكّنت الدراسة الاقتصادية والبيئية من تقييم جدوى مشروع المؤسسة الناشئة، من خلال مقارنة تكاليف الإنتاج والآثار البيئية للخرسانة الرغوية مع مواد البناء التقليدية. ويبرهن هذا العمل على أن الخرسانة الرغوية تُعد مادة مبتكرة ومستدامة، وتوفر آفاقاً واعدة لتطوير نشاط صناعي يحترم البيئة.

الكليمات المفتاحية: الخرسانة الرغوية ; البناء المستدام; العزل الحراري; المواد المبتكرة; الكفاءة الطاقوية; شركة ناشئة

Résumé

Ce mémoire de Master s'inscrit dans le cadre d'un projet de création de startup spécialisée dans la fabrication de blocs innovants en béton de mousse. En raison du temps limité alloué à ce travail et du manque d'équipements expérimentaux spécifiques, les essais réalisés ont principalement porté sur la formulation du béton de mousse, la préparation des échantillons et l'évaluation de certaines propriétés physiques et mécaniques, notamment la masse volumique apparente, l'absorption d'eau et la résistance à la compression. L'évaluation des propriétés thermiques et acoustiques n'a pas pu être réalisées expérimentalement ; ces performances ont donc été analysées et validées à partir de données issues de la littérature scientifique récente.

Les résultats obtenus mettent en évidence des performances satisfaisantes des blocs de béton de mousse, confirmant leur potentiel d'utilisation dans la construction éco-énergétique. Par ailleurs, une étude économique et environnementale a permis d'évaluer la viabilité du projet de startup, en comparant les coûts de production et les impacts environnementaux du béton de mousse à ceux des matériaux de construction conventionnels. Ce travail démontre ainsi que le béton de mousse constitue un matériau

innovant et durable, offrant des perspectives prometteuses pour le développement d'une activité industrielle respectueuse de l'environnement.

Mots clés : Béton de mousse ; Construction durable ; Isolation thermique ; Matériaux innovants ; Efficacité énergétique ; Startup ; Impact environnemental.

Abstract:

This Master's thesis is conducted within the framework of a startup creation project specializing in the production of innovative foamed concrete blocks. Due to the limited time allocated to this work and the lack of specific experimental equipment, the experimental investigations mainly focused on the formulation of foamed concrete, sample preparation, and the evaluation of certain physical and mechanical properties, namely apparent density, water absorption, and compressive strength. The assessment of thermal and acoustic properties could not be carried out experimentally; therefore, these performances were analyzed and validated based on data from recent scientific literature.

The obtained results highlight satisfactory performances of the foamed concrete blocks, confirming their potential for use in energy-efficient construction. Furthermore, an economic and environmental study was conducted to assess the feasibility of the startup project by comparing production costs and environmental impacts of foamed concrete with those of conventional construction materials. This work demonstrates that foamed concrete is an innovative and sustainable material, offering promising prospects for the development of an environmentally responsible industrial activity.

Keywords : Foamed concrete ; Sustainable construction ; Thermal insulation; Innovative materials; Energy efficiency; Startup;

Tableau de Matières

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur la technologie du béton de mousse

Introduction générale ……1

1.1 Introduction : ……3

1.2 Généralités sur le béton de mousse ……4

1.3 Historique du béton de mousse ……6

1.4 Composition du béton de mousse ……7

1.4.1 Le ciment ……8

1.4.2 Le sable ……9

1.4.3 L'eau ……9

1.4.4 L'agent moussant ……9

1.4.5 Les additifs (gypse, chaux, etc.) ……10

1.5 Propriétés du béton de mousse : ……11

1.5.1 Propriétés mécaniques ……12

1.5.2 Propriétés physiques ……13

1.5.3 Propriétés thermiques ……13

1.5.4 Propriétés acoustiques ……14

1.6 Domaines d'application du béton de mousse ……15

1.6.1 Fabrication de blocs de construction ……16

1.6.2 Cloisons et éléments non porteurs ……16

1.6.3 Applications d'isolation thermique ……17

1.6.4 Isolation acoustique ……17

1.6.5 Remblai allégé et couches de remplissage ……17

1.6.6 Préfabrication ……18

1.6.7 Applications dans la construction durable ……..18

1.6.8 Autres applications ……..21

1.7 Conclusion ……..24

Chapitre II : Techniques et Méthodes expérimentales

II.1. Introduction ……..25

II.2. Caractérisation des matières premières ……25

II.2.1. Eau de gâchage ……26

II.2.2. Ciment ……27

II.2.3. Sable ……27

II.2.5. Gypse ……27

II.2.6. Agent moussant ……28

II.3. Procédé de production du béton de mousse ……..28

II.3.1. Préparation du mortier de base ……..29

II.3.2. Préparation de la mousse ……..29

II.3.3. Incorporation de la mousse ……..30

II.3.4. Coulage et cure ……..30

II.4. Fabrication des blocs de béton de mousse ……31

II.5. Propriétés des blocs de béton de mousse ……32

II.5.1. Propriétés mécaniques……32

II.5.2. Propriétés physiques ……32

II.5.3. Propriétés thermiques ……32

II.5.4. Propriétés acoustiques ……32

II.5.5. Synthèse des propriétés ……..32

II.6. Conclusion : ……..33

Conclusion Générale ……34

Références bibliographiques……36

الملحق

المحورالاول : تقديم المشروع 39
فكرة المشروع (الحل المقترح).....39
المحور الثاني: الجوانب االبتكارية 42
المحور الثالث:التحليل الستراتيجي للسوق 43
المحور الرابع: خطة الإنتاج و التنظيم 47
المحور الخامس: الخطة المالية 49

Introduction générale

Le secteur de la construction est aujourd'hui confronté à des défis majeurs liés à l'augmentation de la demande en logements, à la consommation excessive des ressources naturelles et à l'impact environnemental des matériaux de construction traditionnels. Dans ce contexte, la recherche de solutions innovantes, durables et économiquement viables constitue une priorité stratégique pour accompagner la transition vers une construction éco-responsable. L'intégration de nouveaux matériaux à haute performance environnementale apparaît ainsi comme un levier essentiel pour réduire l'empreinte carbone du bâtiment tout en améliorant le confort et l'efficacité énergétique des ouvrages [1-3].

Parmi ces matériaux innovants, le béton de mousse se distingue par ses propriétés spécifiques et son fort potentiel d'application dans la construction durable [4-8]. Également connu sous le nom de béton léger ou béton isolant, le béton de mousse est un matériau à structure alvéolaire, obtenu par l'introduction contrôlée de bulles d'air dans une matrice cimentaire. Cette structure confère au matériau une faible masse volumique, de bonnes performances thermiques et acoustiques, ainsi qu'une mise en œuvre simplifiée [6-10]. Grâce à ces caractéristiques, le béton de mousse constitue une alternative pertinente aux matériaux conventionnels, notamment pour la réalisation de blocs de maçonnerie destinés aux bâtiments éco-énergétiques.

Ce mémoire de fin d'études de Master en Matériaux de Génie Civil s'inscrit dans le cadre du décret ministériel n°1275, visant la création d'une entreprise spécialisée dans la fabrication de blocs innovants en béton de mousse. L'objectif principal est d'évaluer la faisabilité technique, économique et environnementale de ce matériau, tout en mettant en évidence son potentiel de valorisation industrielle. À travers une approche scientifique et expérimentale, ce travail ambitionne de démontrer que le béton de mousse peut répondre aux exigences économiques et techniques du bâtiment tout en contribuant à la réduction de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre.

Le mémoire est structuré en deux chapitres complémentaires. Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur la technologie du béton de mousse, ses principes, sa composition, ses propriétés et ses domaines d'utilisation. Le deuxième chapitre est consacré aux matériaux et méthodes expérimentales, incluant le processus de fabrication

des blocs et quelques résultats expérimentaux des blocs de béton de mousse. Enfin, l'annexe traite de l'étude économique, visant à évaluer la viabilité du projet de startup et l'impact durable de l'utilisation de ce matériau innovant dans le secteur de la construction.

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur la technologie du béton de mousse

1.1 Introduction :

Le béton de mousse représente aujourd'hui l'un des matériaux innovants les plus prometteurs dans le secteur du bâtiment, en raison de ses caractéristiques techniques uniques et de sa contribution à la construction durable. À une époque où la réduction de l'impact environnemental des matériaux de construction est devenue une priorité mondiale, ce matériau léger, isolant et économique s'impose comme une alternative crédible au béton traditionnel [1-5].

L'intérêt croissant pour le béton de mousse découle principalement de sa structure alvéolaire, obtenue par l'incorporation d'une mousse stable dans une matrice cimentaire. Cette particularité lui confère une densité nettement inférieure à celle du béton conventionnel, tout en améliorant ses propriétés thermiques et acoustiques. Grâce à cette structure poreuse, le béton de mousse est capable de réduire considérablement les transferts thermiques, offrant ainsi une meilleure performance énergétique des bâtiments [5-14].

L'évolution des techniques de fabrication et l'amélioration des agents moussants ont permis au béton de mousse d'élargir son champ d'application, passant de simples travaux de remplissage léger à la réalisation de blocs de maçonnerie, de panneaux préfabriqués et d'éléments d'isolation. Il est également apprécié pour sa facilité de mise en œuvre, sa capacité à être moulé dans différentes formes et sa compatibilité avec une architecture moderne et durable [1-6].

Dans un contexte marqué par la flambée des coûts des matériaux, la nécessité d'optimiser la consommation d'énergie et la volonté de préserver les ressources naturelles, le béton de mousse se positionne comme une solution stratégique. Son utilisation contribue à diminuer l'empreinte carbone du secteur de la construction grâce à sa faible consommation de

matières premières lourdes, tout en améliorant le confort thermique et acoustique des occupants.

Cette introduction vise donc à situer le béton de mousse dans son contexte technologique et durable, à souligner son importance dans le domaine de la construction moderne, et à mettre en avant les raisons pour lesquelles il mérite une analyse approfondie dans le cadre de ce mémoire consacré au développement d'un projet de startup spécialisée dans sa production

1.2 Généralités sur le béton de mousse

Le béton de mousse, également appelé béton cellulaire ou béton léger, est un matériau cimentaire innovant caractérisé par une structure poreuse remplie de bulles d'air uniformément réparties. Cette particularité résulte de l'incorporation d'une mousse préformée dans un mélange de ciment, d'eau et, parfois, de sable fin. Le béton de mousse se distingue ainsi du béton classique par sa faible densité, sa légèreté et ses performances isolantes remarquables.



Contrairement aux autres bétons légers obtenus par ajout d'agrégats légers (tels que la perlite ou la vermiculite), le béton de mousse doit ses propriétés à la présence de

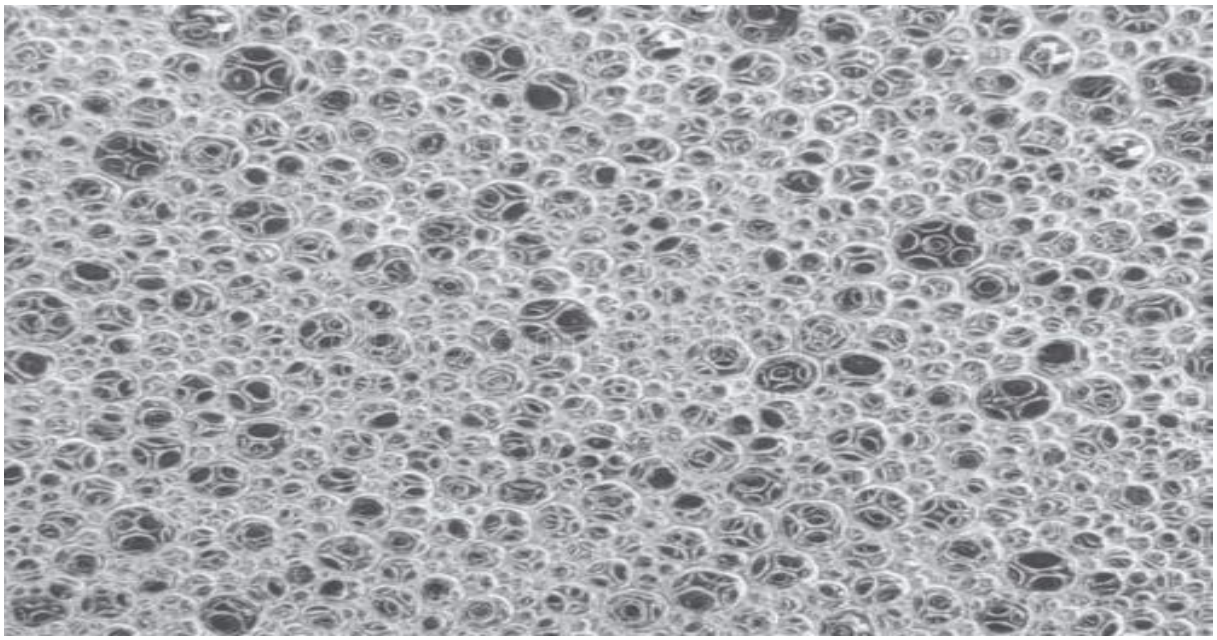
microcellules d'air, formées grâce à des agents moussants synthétiques ou naturels. Ces cellules fermées créent une structure homogène, conférant au matériau une faible conductivité thermique et une excellente absorption acoustique, tout en réduisant considérablement son poids volumique.

D'un point de vue physico-chimique, le béton de mousse présente une matrice cimentaire relativement simple, mais capable d'intégrer un volume d'air allant de 40 % à 80 %, selon la formulation désirée. Plus la proportion de mousse est élevée, plus le béton est léger et isolant, mais moins il est résistant mécaniquement. Cette possibilité de contrôler les propriétés en ajustant la densité fait du béton de mousse un matériau extrêmement polyvalent.

L'un des principaux avantages du béton de mousse réside dans sa facilité de fabrication. Il peut être produit directement sur chantier ou dans des unités industrielles de préfabrication. Sa mise en œuvre ne nécessite pas d'équipements lourds, ce qui le rend accessible aussi bien pour les petites entreprises que pour les projets industriels à grande échelle. De plus, il peut être coulé dans différents moules, ce qui permet de fabriquer des blocs, des panneaux, des dalles isolantes ou encore des éléments décoratifs.

Sur le plan environnemental, le béton de mousse est considéré comme un matériau durable. Sa faible consommation de matières premières minérales, combinée à la réduction du poids des structures et donc de la quantité d'acier ou de béton nécessaire aux fondations, contribue à limiter l'empreinte carbone des projets de construction. En outre, ses excellentes propriétés thermiques participent à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, réduisant les besoins en chauffage et climatisation.

Ainsi, les généralités relatives au béton de mousse montrent clairement qu'il s'agit d'un matériau moderne, adaptable et prometteur, répondant aux exigences économiques, écologiques et techniques du secteur de la construction contemporaine.



1.3 Historique du béton de mousse

L'histoire du béton de mousse remonte à plus d'un siècle, même si son développement moderne et son adoption à grande échelle sont relativement récents. Les premières tentatives d'incorporation d'air dans des mélanges cimentaires datent du début du XX^{e} siècle en Europe, période marquée par une recherche active de matériaux légers pouvant répondre aux besoins croissants de la construction après la Première Guerre mondiale. Les ingénieurs cherchaient alors à réduire les coûts, accélérer les chantiers et développer des solutions économiques pour la reconstruction.

Les premières formulations expérimentales de bétons cellulaires apparaissent dans les années 1920, notamment dans les pays scandinaves et en Allemagne. Toutefois, ces premières versions souffraient d'un manque de stabilité de la mousse et d'une faible résistance mécanique, limitant leur utilisation. Ce n'est qu'à partir des années 1950 que les progrès techniques, notamment dans les agents moussants, ont permis d'obtenir un matériau plus homogène et plus fiable.

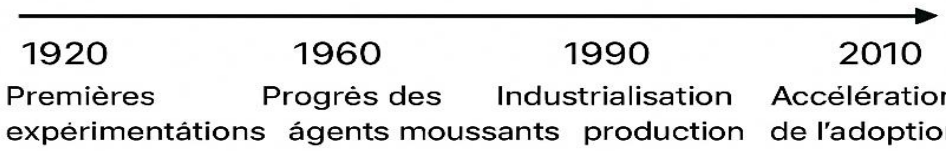
Les années 1960 et 1970 marquent une étape importante dans l'évolution du béton de mousse. À cette époque, l'industrialisation de la construction préfabriquée contribue à populariser les bétons légers, et de nombreuses recherches scientifiques s'intéressent à l'amélioration de leurs performances. Le béton de mousse commence alors à être utilisé

pour l'isolation thermique, le remplissage léger des sols, les couches d'égalisation, ainsi que dans certains éléments préfabriqués non porteurs.

Cependant, ce n'est qu'à partir des années 1990 que le béton de mousse connaît une véritable renaissance technologique, grâce à l'apparition de générateurs de mousse modernes capables de produire des bulles d'air fines, régulières et stables. La qualité des agents moussants commerciaux s'améliore également considérablement, qu'ils soient à base de tensioactifs synthétiques ou d'extraits naturels (protéines, résines végétales, etc.). Ces avancées permettent la fabrication d'un béton de mousse plus performant, avec une meilleure résistance mécanique et une meilleure durabilité.

Au début du XXIe siècle, le contexte mondial marqué par l'urgence environnementale, la hausse des coûts des matériaux traditionnels et les besoins en construction durable donne un élan nouveau au béton de mousse. De nombreux pays commencent à l'intégrer dans leurs normes de construction écologique. Les chercheurs s'intéressent désormais à l'optimisation des formulations, à l'usage de résidus industriels (comme les cendres volantes) et à la production de blocs innovants entièrement adaptés aux bâtiments éco-énergétiques.

Aujourd'hui, le béton de mousse s'impose progressivement comme un matériau de choix dans divers secteurs de la construction moderne. Il est utilisé non seulement dans les projets économiques et sociaux, mais aussi dans les constructions à haute performance énergétique. Son histoire témoigne d'une évolution continue, riche en innovations, qui place ce matériau au cœur des solutions de construction du futur.



1.4 Composition du béton de mousse

Le béton de mousse est un matériau composite dont la performance dépend directement de la qualité et de la proportion de ses composants. Bien que sa formulation puisse varier selon l'application souhaitée, il repose essentiellement sur quatre éléments principaux : le ciment, le sable (optionnel selon la densité visée), l'eau et l'agent moussant. Des additifs tels que le gypse ou la chaux peuvent également être incorporés pour améliorer certaines propriétés. Chaque composant joue un rôle déterminant dans la structure finale du matériau [3-9].



1.4.1 Le ciment

Le ciment Portland est le liant principal utilisé dans la production du béton de mousse. Son rôle essentiel est d'assurer la cohésion entre les particules minérales et de permettre la formation d'une matrice solide après hydratation. La qualité du ciment influence directement la résistance mécanique finale du béton.

Dans les formulations à faible densité (300–800 kg/m³), le ciment constitue la majeure partie de la fraction solide, car le sable y est généralement absent. Pour les densités plus élevées, l'ajout de sable réduit la quantité de ciment nécessaire. Les propriétés du ciment, telles que la finesse, la composition minéralogique et le temps de prise, jouent un rôle important dans la stabilité de la mousse [3-8].

1.4.2 Le sable

Le sable utilisé dans le béton de mousse est généralement un sable siliceux fin, propre et bien calibré.

Le sable contribue à :

Améliorer la résistance mécanique,

Réduire les coûts de production,

Limiter le retrait de séchage,

Augmenter la stabilité dimensionnelle du matériau.

Dans les formulations légères destinées à l'isolation, le sable est parfois omis afin d'obtenir une densité minimale. En revanche, pour produire des blocs de maçonnerie ou des éléments nécessitant une certaine résistance, une fraction de sable est indispensable.

1.4.3 L'eau

L'eau joue un double rôle : elle assure l'hydratation du ciment et contribue à la fluidité du mélange. La quantité d'eau doit être soigneusement contrôlée afin de garantir une consistance permettant une bonne répartition de la mousse sans provoquer sa destruction.

Un rapport eau/ciment trop élevé entraîne une perte de résistance mécanique et une instabilité de la mousse, tandis qu'un rapport trop faible rend le mélange difficile à malaxer.

1.4.4 L'agent moussant

L'agent moussant est l'élément clé qui distingue le béton de mousse des autres bétons légers. Il s'agit d'un produit tensioactif capable de créer une mousse stable, composée de fines bulles d'air fermées.

Les agents moussants peuvent être :

Synthétiques : à base de tensioactifs chimiques, produisant une mousse très stable.

Protéiques : à base de matières organiques (caséine, hydrolysats de protéines), offrant une mousse plus résistante.

Naturels : à base de résines végétales ou d'extraits biodégradables.

La qualité de l'agent moussant influence :

La taille des bulles d'air,

La stabilité de la mousse,

La densité finale du béton,

Les performances thermiques et acoustiques.

L'air incorporé sous forme de microcellules constitue souvent jusqu'à 80 % du volume du béton, ce qui explique sa grande légèreté.

1.4.5 Les additifs (gypse, chaux, etc.)

Des additifs peuvent être ajoutés pour améliorer certaines caractéristiques du béton de mousse :

a) Le gypse

Le gypse permet :

De réguler le temps de prise,

D'améliorer la stabilité du mélange,

D'augmenter la fluidité.

Il est particulièrement utile dans les formulations destinées aux blocs préfabriqués.

b) La chaux

La chaux contribue à :

Réduire la perméabilité,

Améliorer la durabilité,

Améliorer la plasticité du mortier frais.

Elle joue également un rôle dans la stabilité chimique du matériau.

c) Autres additifs

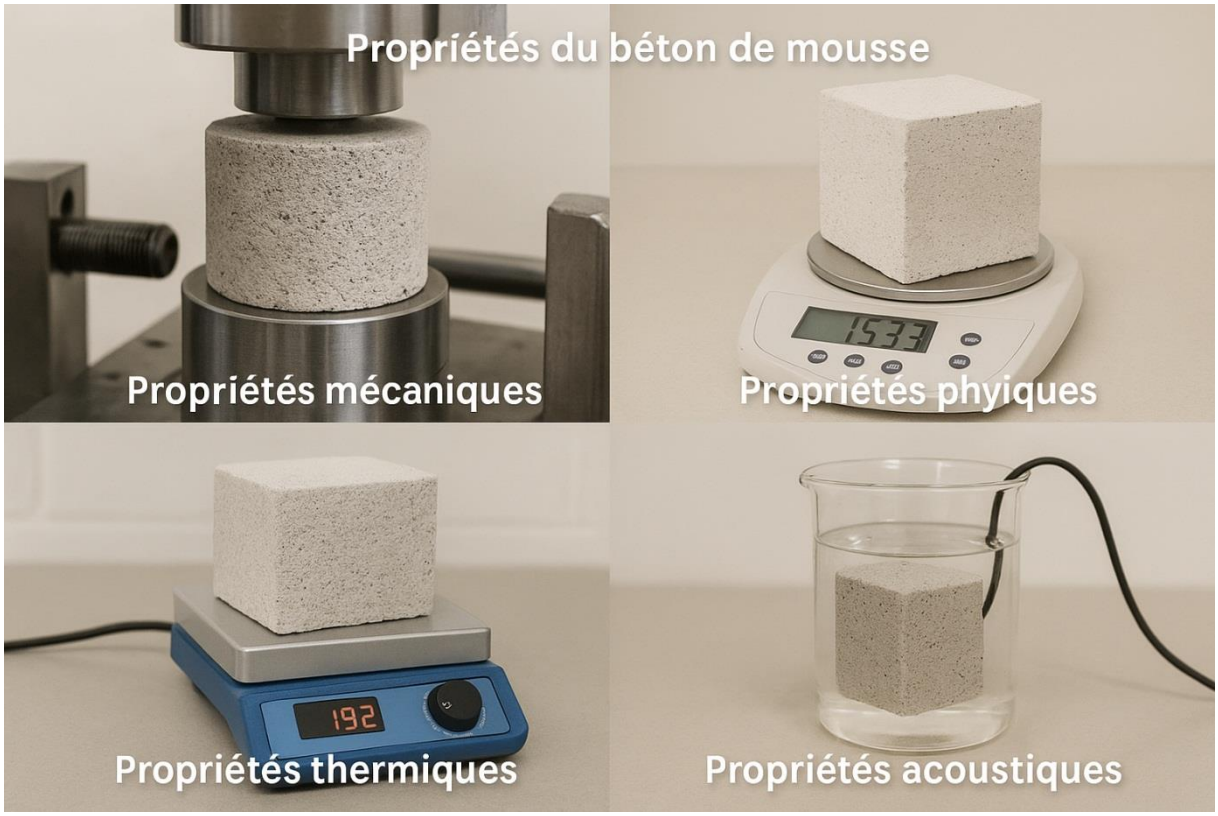
Selon les besoins, on peut utiliser :

Super-plastifiants pour améliorer la fluidité,

Fibres pour augmenter la résistance,

Cendres volantes pour réduire les coûts et l'impact environnemental.

1.5 Propriétés du béton de mousse :



Le béton de mousse est caractérisé par un ensemble de propriétés uniques qui résultent directement de sa structure cellulaire riche en microbulles d'air. Ces propriétés le distinguent fortement du béton traditionnel et en font un matériau idéal pour des applications spécifiques, notamment dans la construction légère et l'isolation. Elles peuvent être classées en quatre grandes catégories : mécaniques, physiques, thermiques et acoustiques.

1.5.1 Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques du béton de mousse sont principalement influencées par sa densité et la stabilité de la mousse incorporée.

a) Résistance à la compression

La résistance à la compression varie généralement entre 0,5 MPa et 10 MPa, selon la densité du matériau (300 à 1600 kg/m³) [4-7].

Les bétons très légers (≤ 600 kg/m³) présentent une résistance faible, adaptée aux remplissages et isolations.

Les formulations plus denses (> 1000 kg/m³) peuvent être utilisées pour fabriquer des blocs structurels non porteurs.

Cette résistance est suffisante pour la plupart des applications en élévation légère, mais reste inférieure à celle du béton ordinaire.

b) Résistance à la traction et à la flexion

En raison de sa structure poreuse, le béton de mousse possède une résistance limitée à la traction et à la flexion. Cette fragilité peut être compensée par l'ajout de fibres (polypropylène, fibres naturelles, acier fin).

c) Module d'élasticité

Le béton de mousse possède un module d'élasticité faible, ce qui lui confère un comportement "souple" comparé au béton traditionnel. Cela permet une meilleure absorption des vibrations, mais limite son usage dans les structures porteuses.

1.5.2 Propriétés physiques

a) Masse volumique

La masse volumique du béton de mousse varie largement selon la quantité d'air incorporée.

Elle se situe généralement entre 300 et 1600 kg/m³, bien inférieure à celle du béton classique (2400 kg/m³).

Cette faible densité :

Réduit la charge sur les fondations

Facilite le transport et la mise en place

Diminue la consommation de matériaux

b) Porosité

La porosité élevée (40 à 80 %) est due aux microcellules d'air fermées.

Elle contribue à :

La légèreté,

L'isolation thermique,

L'absorption acoustique.

c) Absorption d'eau

Bien que poreux, le béton de mousse peut être formulé de manière à limiter l'absorption d'eau grâce à l'utilisation d'agents hydrophobes ou de chaux.

1.5.3 Propriétés thermiques

Les propriétés thermiques représentent l'un des avantages majeurs du béton de mousse.

a) Conductivité thermique

La conductivité thermique du béton de mousse se situe entre 0,10 et 0,40 W/m·K, ce qui en fait un excellent isolant thermique.

Plus la densité est faible, meilleure est l'isolation.

b) Régulation thermique

Grâce à sa structure cellulaire, le béton de mousse permet :

De réduire les pertes de chaleur en hiver,

De diminuer les gains thermiques en été,

D'améliorer le confort intérieur,

De réduire la consommation énergétique des bâtiments.

Ces performances en font un matériau de choix dans la construction de bâtiments éco-énergétiques.

c) Résistance au feu

Le béton de mousse est un matériau incombustible.

Sa structure minérale et poreuse lui confère :

Une excellente résistance au feu,

Une faible propagation de chaleur,

Une absence d'émission de fumées toxiques.

1.5.4 Propriétés acoustiques

La structure alvéolaire du béton de mousse lui donne des propriétés acoustiques très intéressantes [3-6].

a) Absorption acoustique

Le béton de mousse est reconnu pour son fort pouvoir d'absorption sonore, surtout dans les fréquences moyennes à élevées.

Il est donc recommandé pour :

Les cloisons intérieures,

Les murs séparatifs,

Les bâtiments scolaires, hospitaliers ou résidentiels.

b) Isolation phonique

Bien que plus performant en absorption qu'en isolation, le béton de mousse réduit efficacement :

Les bruits d'impact,

Les vibrations,

Certains bruits aériens.

Son efficacité dépend principalement de sa densité et de l'épaisseur des blocs utilisés.

1.6 Domaines d'application du béton de mousse

Grâce à sa légèreté, sa structure cellulaire et ses excellentes performances thermiques et acoustiques, le béton de mousse a su s'imposer dans une large variété d'applications dans le domaine de la construction moderne. Son utilisation ne cesse de s'étendre, notamment grâce à son faible coût de production, sa facilité de mise en œuvre et sa capacité à répondre aux exigences de la construction durable [3-14]. Les principales applications du béton de mousse peuvent être regroupées dans les catégories suivantes :



1.6.1 Fabrication de blocs de construction

L'une des utilisations les plus répandues du béton de mousse est la fabrication de blocs de maçonnerie destinés aux murs non porteurs.

Ces blocs présentent plusieurs avantages :

Légèreté facilitant la manipulation et réduisant les efforts sur les fondations,

Excellentes performances thermiques permettant de diminuer les besoins en isolation supplémentaire,

Bonne absorption acoustique,

Coût réduit comparé aux matériaux traditionnels.

Ils sont utilisés dans la construction de maisons individuelles, d'immeubles de faible hauteur et de bâtiments publics.

1.6.2 Cloisons et éléments non porteurs

Le béton de mousse est largement utilisé pour la fabrication de cloisons intérieures, panneaux décoratifs, éléments modulaires ou faux plafonds.

Ses avantages :

Faible poids permettant une installation rapide,

Propriétés acoustiques adaptées aux espaces intérieurs,

Bonne résistance au feu,

Flexibilité architecturale grâce à sa facilité de moulage

1.6.3 Applications d'isolation thermique

Grâce à sa conductivité thermique très faible, le béton de mousse est utilisé comme :

Matériau d'isolation des toitures (terrasses, toits inclinés),

Isolation des planchers,

Couches isolantes dans les murs composites (sandwich panels).

Il constitue une alternative durable et économique aux isolants conventionnels, tout en offrant une excellente stabilité thermique.

1.6.4 Isolation acoustique

La structure alvéolaire du béton de mousse en fait un matériau de choix pour les applications acoustiques telles que :

Les murs séparatifs entre appartements,

Les salles de réunion ou d'enseignement,

Les couloirs d'immeubles,

Les planchers flottants.

Il permet de réduire efficacement les bruits d'impact et les bruits aériens.

1.6.5 Remblai allégé et couches de remplissage

Le béton de mousse est couramment utilisé comme remblai allégé dans :

Les routes,

Les ponts,

Les tranchées,

Les tunnels,

Les zones instables ou difficiles d'accès.

Ses avantages incluent :

Une faible pression sur le sol,

Une bonne fluidité facilitant le pompage,

Une mise en œuvre rapide,

Une absence de tassement à long terme.

1.6.6 Préfabrication

Le béton de mousse peut être moulé aisément pour produire divers éléments préfabriqués tels que :

Panneaux isolants,

Dalles légères,

Blocs modulaires,

Éléments de coffrage perdu.

Ces éléments sont utilisés dans les chantiers nécessitant une rapidité d'exécution et une répétabilité élevée.

1.6.7 Applications dans la construction durable

Le béton de mousse est particulièrement apprécié pour les projets écologiques, car il permet :

➢ **Une réduction de la consommation énergétique des bâtiments :**

Grâce à ses propriétés isolantes, le béton de mousse permet de réduire les besoins en chauffage et en climatisation dans les constructions.

- **Maison construite avec béton de mousse léger** : réduction de la déperdition thermique et gains d'efficacité énergétique.

- **Bloc de béton de mousse dans un contexte résidentiel** : matériau léger avec des bulles d'air qui améliorent l'isolation thermique.



➢ **Une diminution des matériaux lourds :**

Le béton de mousse, très léger par rapport au béton traditionnel, réduit les charges sur les fondations et la structure, facilitant les constructions durables.





- **Application du béton de mousse coulé sur une surface** : mise en place facile sur chantier sans équipement lourd.

- **Résidence avec constructions légères** : utilisation intelligente de matériaux pour réduire le poids et les besoins en ressources.

➢ **Une empreinte carbone plus faible :**

Le béton de mousse peut être formulé avec moins de ciment et intégrer des matériaux recyclés (comme cendres volantes, laitiers, fibres naturelles), diminuant ainsi les émissions de CO_2 associées à sa production.





- **Zoom sur structure alvéolée du béton de mousse** : moins de matières premières nécessaires.

- **Chantier avec blocs légers en mousse (représentatif)** : utilisation de matériaux légers et durables.

➢ **Une intégration dans les chantiers "verts" :**

Le béton de mousse s'adapte bien aux matériaux recyclés, ce qui renforce son caractère durable : incorporation de cendres volantes, fibres naturelles, agrégats recyclés, etc. Il est également compatible avec des matériaux recyclés (cendres volantes, fibres naturelles), renforçant son caractère durable.

- **Blocs de construction modernes (ICF, formes isolantes)** : souvent combinés à des matériaux recyclés ou à hautes performances.
- **Matériaux de construction durables empilés sur un chantier** : typiques de la construction écologique.

1.6.8 Autres applications

Selon la formulation et la densité, le béton de mousse peut également être utilisé pour :

➢ **Les toitures inclinées dans la rénovation :**

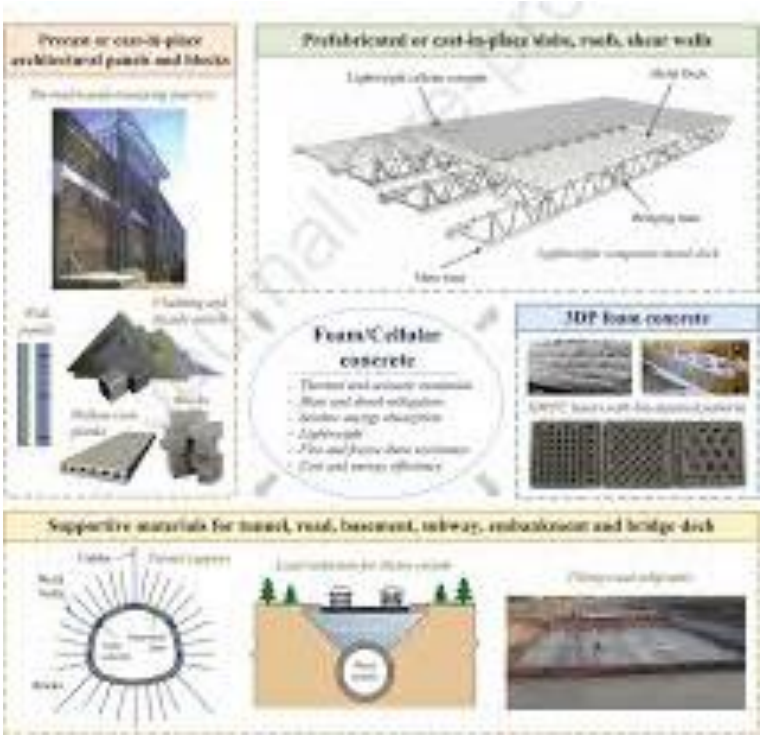
Le béton de mousse est coulé sur des toits plats ou légèrement inclinés pour former une surface lisse, légère et isolante, facilitant la rénovation sans surcharge importante de la structure existante.

Ce matériau permet également la création de pentes pour évacuer les eaux pluviales et l'ajout ultérieur d'une étanchéité ou d'un revêtement de finition.



- **La stabilisation des sols :**

Grâce à sa densité ajustable (souvent 300–600 kg/m³ dans ces usages), le béton de mousse sert à stabiliser des sols faibles ou compressibles, remplacer des terres excavées ou supporter des couches de voirie sans créer de surcharges excessives. Il est aussi utilisé pour réaliser des remblais légers sur des zones sensibles. En voirie ou sur des infrastructures proches des zones urbaines, le béton de mousse peut être utilisé comme matière isolante acoustique ou comme remplissage derrière des écrans antibruit, grâce à ses propriétés d'isolation acoustique et à sa légèreté. (Illustré ici par des schémas généraux de coffrage et de structures en béton poré.)



- **La réalisation de pentes et de chapes légères :**

Exemple concret de chape légère en béton de mousse, posée par projection ou pompage pour créer un ravoirage léger, nivelé et isolant sur planchers, toitures ou zones techniques. Cette chape est facile à régler en pente et réduit la charge sur la structure tout en permettant une isolation intégrée.



1.7 Conclusion

Ce premier chapitre a permis de présenter une synthèse approfondie sur la technologie du béton de mousse, un matériau innovant qui occupe aujourd'hui une place croissante dans le domaine de la construction durable. Grâce à sa structure cellulaire unique, le béton de mousse se distingue clairement du béton traditionnel, notamment par sa légèreté, sa grande porosité, et ses performances thermiques et acoustiques remarquables.

L'étude de son historique a montré que, bien qu'il soit utilisé depuis le début du XX^{e} siècle, ce n'est qu'avec les avancées technologiques récentes qu'il a réellement gagné en stabilité et en performance. Sa composition, fondée sur des éléments simples tels que le ciment, l'eau, le sable et l'agent moussant, démontre qu'il s'agit d'un matériau accessible, modulable et compatible avec une production à grande échelle.

L'analyse détaillée de ses propriétés mécaniques, physiques, thermiques et acoustiques a mis en évidence sa polyvalence. Bien que ses résistances mécaniques soient relativement faibles et ne permettent pas son utilisation dans les structures porteuses, ses excellentes capacités d'isolation en font un matériau de choix dans la construction éco-énergétique. De plus, sa masse volumique réduite facilite le transport, le levage et la mise en œuvre sur chantier.

Les différents domaines d'application abordés montrent que le béton de mousse est utilisé aussi bien dans la fabrication de blocs et d'éléments non porteurs que dans l'isolation thermique, acoustique, le remblai allégé, et même dans la préfabrication. Sa capacité à réduire les charges structurelles, à diminuer la consommation d'énergie et à limiter l'impact environnemental confirme son importance dans les projets de construction modernes.

En somme, le béton de mousse apparaît comme une solution durable et économique répondant aux besoins actuels de la construction : performance énergétique, réduction des coûts, rapidité d'exécution et respect de l'environnement. Ce chapitre constitue ainsi une base théorique solide qui guidera les travaux expérimentaux et les analyses présentées dans les chapitres suivants, consacrés à la production, la caractérisation et l'évaluation des blocs de béton de mousse dans le cadre d'un projet de startup spécialisée.

Chapitre II : Techniques et Méthodes expérimentales

II.1. Introduction

Ce chapitre présente de manière détaillée les matériaux constitutifs et les méthodes expérimentales mises en œuvre pour la fabrication et la caractérisation du béton de mousse. La maîtrise de ces paramètres est déterminante, car les performances finales du matériau dépendent directement de la qualité des constituants, de leur interaction physico-chimique et du contrôle rigoureux du procédé de fabrication.

Le béton de mousse est obtenu par l'incorporation contrôlée de bulles d'air stables au sein d'une matrice cimentaire. Cette approche permet de produire un matériau à structure cellulaire homogène, caractérisé par une faible masse volumique et des propriétés thermiques, acoustiques et mécaniques spécifiques. La stabilité et la répartition uniforme des pores conditionnent directement la durabilité et la performance globale du matériau.

Dans ce contexte, une attention particulière est portée à la caractérisation des matières premières (ciment, sable, eau, chaux, gypse et agent moussant), à la méthodologie de production, aux conditions de cure, ainsi qu'aux essais normalisés permettant d'évaluer les propriétés des blocs obtenus.

Ce chapitre constitue ainsi la base méthodologique de l'étude, garantissant la reproductibilité des résultats expérimentaux et la pertinence des analyses présentées dans les chapitres suivants.

II.2. Caractérisation des matières premières

La performance du béton de mousse est étroitement liée aux caractéristiques intrinsèques de ses constituants. Chaque matériau intervient à un niveau précis, influençant la formation de la matrice cimentaire, la stabilité de la mousse, la résistance mécanique et les performances thermiques et acoustiques du produit final.



II.2.1. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée doit être propre, potable, et exempte de substances susceptibles de perturber l'hydratation du ciment (matières organiques, huiles, acides ou sels agressifs), conformément aux recommandations normatives [1-3].

Elle remplit deux fonctions essentielles :

- assurer l'hydratation du ciment, permettant la formation des hydrates responsables de la résistance (C-S-H, CH) [1-2] ;
- garantir une ouvrabilité suffisante du mortier afin de faciliter l'incorporation homogène de la mousse.

Le rapport eau/ciment (E/C) doit être optimisé :

- un excès d'eau entraîne une diminution de la résistance mécanique ;
- un déficit d'eau compromet la fluidité du mélange et la stabilité de la mousse.

II.2.2. Ciment

Le ciment constitue le liant hydraulique principal du béton de mousse. Les ciments Portland de type CEM I ou CEM II sont généralement privilégiés en raison de leur compatibilité avec les agents moussants et de leur cinétique d'hydratation régulière [1-3].

Les propriétés recherchées sont :

- une finesse élevée, favorisant la rétention des bulles d'air ;
- un temps de prise modéré, permettant la mise en forme sans effondrement de la structure cellulaire ;
- une stabilité volumique satisfaisante, limitant les risques de fissuration précoce.

II.2.3. Sable

Le sable joue le rôle de squelette granulaire du mélange. Dans le béton de mousse, on utilise préférentiellement un sable fin (0/2 mm), propre et à granulométrie contrôlée [1-3].

Ses fonctions principales sont :

- la stabilisation de la matrice cimentaire ;
- l'amélioration modérée de la résistance mécanique ;
- la réduction des phénomènes de ségrégation.

Un sable trop grossier peut perturber la structure cellulaire et provoquer l'éclatement des bulles d'air.

En présence de fines minérales, la chaux favorise également les réactions pouzzolaniques, améliorant la durabilité du matériau.

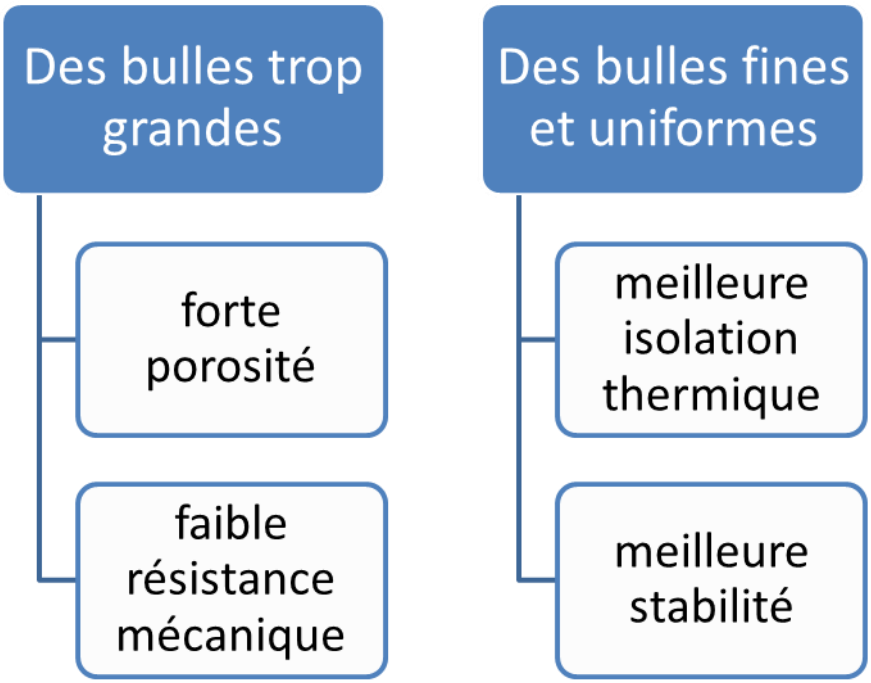
II.2.5. Gypse

Le gypse (sulfate de calcium) intervient comme régulateur du temps de prise du ciment. Il permet :

- d'éviter une prise trop rapide ;
- d'assurer un équilibre chimique du système cimentaire ;
- de garantir un temps suffisant pour l'incorporation complète de la mousse [1-3].

II.2.6. Agent moussant

L'agent moussant est l'élément clé de la fabrication du béton de mousse. Il peut être d'origine :



Offrant une mousse plus stable et résistante ; synthétique, permettant une production plus rapide et des densités plus faibles [3-10].

Les critères essentiels sont :

- la stabilité temporelle de la mousse ;
- l'uniformité de la taille des bulles ;
- la compatibilité chimique avec le ciment ;
- la résistance à l'effondrement lors du malaxage et du coulage.

La qualité de l'agent moussant conditionne directement la porosité, la densité et les performances globales du béton de mousse.

II.3. Procédé de production du béton de mousse

Cette étude porte sur la formulation et la caractérisation du béton de mousse à partir de différents constituants et méthodes de production. Le liant utilisé est un ciment Portland ordinaire (OPC), associé à un sable fin conforme à la norme, de l'eau potable et un agent moussant commercial. Trois types de formulations ont été étudiés : le mortier Témoin, les mélanges à base

d'agents moussants commerciaux et ceux utilisant des détergents locaux. Les formulations ont été différenciées par des variations des proportions de ciment, de sable et du pourcentage de détergent, donnant lieu à plusieurs séries d'éprouvettes.

Le béton de mousse a été produit par incorporation contrôlée d'une mousse à base d'eau dans une pâte cimentaire, permettant l'obtention d'un matériau à faible masse volumique, destiné principalement à des applications nécessitant une isolation thermique et acoustique. La mousse a été générée séparément, puis incorporée au mélange ciment–sable sous agitation contrôlée. Le rapport eau/ciment a été fixé à 0,63 pour l'ensemble des formulations. Le rapport ciment/sable est égal 2/1.

Les travaux expérimentaux comprennent des essais sur l'eau de gâchage ainsi que des essais physiques et mécanique visant à évaluer les performances mécaniques des différents mélanges. Les procédures de préparation des mélanges et des éprouvettes sont illustrées par des figures correspondantes.

II.3.1. Préparation du mortier de base

Les constituants secs (ciment, sable, et gypse) sont d'abord mélangés afin d'assurer une homogénéité optimale. L'eau de gâchage est ensuite ajoutée progressivement jusqu'à obtention d'une pâte fluide et homogène. Le temps de malaxage, généralement compris entre 3 et 5 minutes, est ajusté pour garantir une bonne aptitude à l'incorporation de la mousse.

II.3.2. Préparation de la mousse

La mousse est produite séparément à l'aide d'une génératrice de mousse. L'agent moussant est dilué selon un rapport prédéfini (agent de mousse/ eau = 1/10).

Une mousse de qualité doit présenter :

- une taille de bulles uniforme ;
- une bonne stabilité volumique ;
- un aspect dense et homogène.



Figure.II.1. Préparation de la mousse

II.3.3. Incorporation de la mousse

La mousse est incorporée progressivement au mortier maintenu en rotation lente. Cette opération est réalisée avec précaution afin de préserver l'intégrité des bulles d'air. La densité du mélange est contrôlée en continu pour atteindre la valeur cible, généralement comprise entre 600 et 900 kg/m³.



Figure.II.2. Inclusion de la mousse dans le béton.

II.3.4. Coulage et cure

Le mélange est versé dans des moules préalablement préparés, sans vibration mécanique. La cure est réalisée dans des conditions de laboratoire.

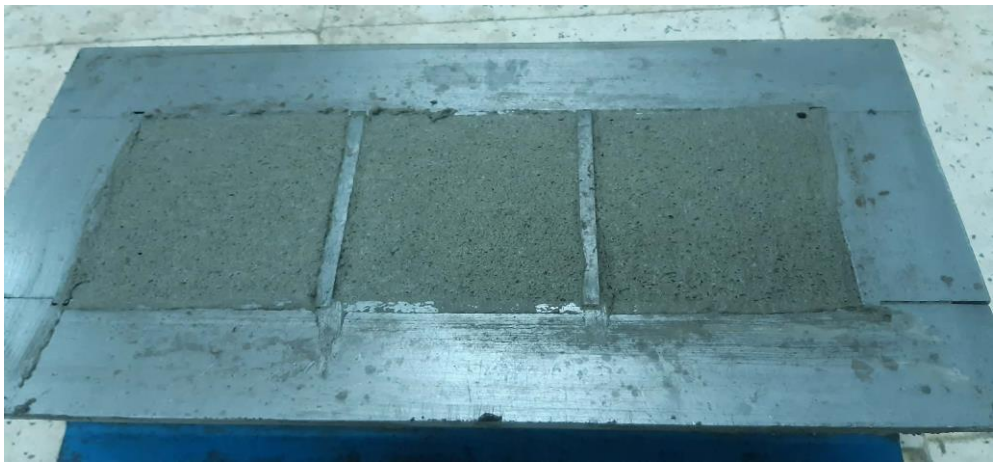


Figure.II.3. Coulage des échantillons 10x10x10 cm^3.

II.4. Fabrication des blocs de béton de mousse

Les blocs sont fabriqués selon des dimensions adaptées à l'application visée. Dans le cadre de cette étude, des blocs cubiques de 10 × 10 × 10 cm ont été retenus pour faciliter la caractérisation expérimentale.

Les étapes comprennent :

- préparation et lubrification des moules ;
- remplissage sans vibration ;
- prise initiale (6 à 12 h) ;
- démoulage délicat ;
- cure finale et stockage contrôlé.



Figure.II.4. Echantillon de béton de mousse léger 10x10x10 cm^3

II.5. Propriétés des blocs de béton de mousse

Les propriétés des blocs résultent directement de la structure cellulaire du matériau [6,7].

II.5.1. Propriétés mécaniques

La résistance à la compression varie principalement avec la densité. Pour des densités comprises entre 600 et 1200 kg/m³, les résistances typiques se situent entre 2 et 7 MPa, suffisantes pour des applications non porteuses [9,10].



Figure.II.5 Exemple de spécimen de béton de mousse préparé 10x10x10 cm^3

II.5.2. Propriétés physiques

La masse volumique apparente varie de 700 à 850 kg/m³ selon la formulation. La porosité contrôlée contribue à la légèreté, à l'isolation thermique et aux performances acoustiques du matériau.

II.5.3. Propriétés thermiques

Le béton de mousse présente une faible conductivité thermique, généralement comprise entre 0,10 et 0,20 W/m·K, nettement inférieure à celle du béton traditionnel (~1,6 W/m·K) [6].

II.5.4. Propriétés acoustiques

Grâce à sa structure poreuse, le béton de mousse assure une atténuation acoustique comprise entre 35 et 45 dB, selon la densité et l'épaisseur des blocs [6,9].

II.5.5. Synthèse des propriétés

Propriété	Description	Niveau de performance
Mécaniques	Résistance à la compression	2–7 MPa
Physiques	Masse volumique faible	400–1200 kg/m³
Thermiques	Très bonne isolation	0,10–0,20 W/m·K
Acoustiques	Atténuation sonore	35–45 dB

II.6. Conclusion :

Ce chapitre a présenté de manière structurée les matériaux, les méthodes expérimentales et le procédé de fabrication des blocs de béton de mousse. Les résultats attendus confirment que ce matériau offre un équilibre optimal entre légèreté, isolation et performance mécanique, répondant aux exigences des constructions modernes et des projets à faible impact environnemental.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, il apparaît clairement que le béton de mousse constitue une solution innovante et pertinente pour répondre aux défis actuels du secteur de la construction. L'étude bibliographique a permis de mettre en évidence les caractéristiques distinctives de ce matériau, notamment sa légèreté, ses propriétés isolantes et sa polyvalence d'utilisation dans les bâtiments éco-énergétiques. Ces atouts en font une alternative crédible aux matériaux de construction traditionnels, souvent énergivores et fortement impactant sur l'environnement.

L'étude expérimentale menée dans ce mémoire a permis de caractériser les blocs de béton de mousse. Les résultats obtenus ont montré que ces blocs présentent des propriétés physiques, mécaniques et thermiques satisfaisantes, compatibles avec les exigences du domaine du bâtiment. En particulier, la faible masse volumique et le potentiel du béton de mousse pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des constructions et du confort des occupants.

Par ailleurs, l'analyse économique a démontré que la production et l'utilisation des blocs de béton de mousse peuvent générer des bénéfices significatifs, tant en termes de réduction des coûts énergétiques que de diminution des émissions de gaz à effet de serre. Ces résultats renforcent l'intérêt de la création d'une startup spécialisée dans ce domaine, en mettant en évidence la faisabilité et la pertinence d'un modèle économique basé sur des matériaux de construction durables.

Perspectives

À la lumière des résultats obtenus, plusieurs perspectives de recherche et de développement peuvent être envisagées afin d'améliorer davantage les performances du béton de mousse et de renforcer la viabilité du projet de startup :

- Optimisation de la formulation du béton de mousse par l'intégration de matériaux alternatifs ou de déchets industriels afin de renforcer la durabilité et réduire les coûts de production.

- Étude à long terme du comportement du béton de mousse face aux conditions climatiques sévères, notamment la durabilité, la résistance au feu et au vieillissement.
- Développement de blocs de béton de mousse à performances spécifiques adaptées aux différents usages du bâtiment (cloisons, murs porteurs légers, isolation thermique).
- Industrialisation du procédé de fabrication et automatisation de la production afin d'augmenter la capacité de production et d'améliorer la compétitivité économique.
- Réalisation de projets pilotes et de prototypes de bâtiments utilisant le béton de mousse pour valider ses performances en conditions réelles.
- Approfondissement de l'analyse du cycle de vie (ACV) afin de quantifier précisément l'impact environnemental global du produit, de la production à la fin de vie.

Ces perspectives ouvrent la voie à une valorisation industrielle élargie du béton de mousse et confirment son rôle clé dans la transition vers une construction durable et innovante.

Références bibliographiques

[1] Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete*. Pearson Education Limited.

[2] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Education.

[3] Jones, M. R., & Zheng, L. (2000). *Foamed concrete: A review of the material properties*. CIRIA.

[4] Amran, Y. H. M., Farzadnia, N., & Ali, A. A. A. (2015). Properties and applications of foamed concrete: A review. *Construction and Building Materials, 101*, 990–1005.

[5] Ramamurthy, K., Kunhanandan Nambiar, E. K., & Indu Siva Ranjani, G. (2009). A classification of studies on properties of foam concrete. *Cement and Concrete Composites, 31*(6), 388–396.

[6] Kearsley, E. P. (1996). The use of foamed concrete for geotechnical applications. *Materials and Structures, 29*, 300–305.

[7] ASTM C869. (2014). *Standard specification for foaming agents used in making preformed foam for cellular concrete*. ASTM International.

[8] European Committee for Standardization. (2016). *EN 13055: Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout*. CEN.

[9] American Concrete Institute. (2010). *ACI 523.1R: Guide for cast-in-place low-density cellular concrete*. ACI.

[10] Belhadj, B. (2018). *Étude expérimentale des propriétés mécaniques et thermiques du béton cellulaire* (Mémoire de Master). Université de Technologie de Compiègne.

[11] Othman, A. (2020). *Optimisation de la densité du béton mousse pour les applications thermiques* (Thèse de doctorat). Université de Lyon.

[12] RILEM Technical Committee. (2018). *Foam concrete: Advances in materials and applications*. RILEM Publications.

[13] Concrete Society. (2023). *Foamed concrete: Material overview*. https://www.concrete.org

[14] CIRIA. (2022). *Low-density cellular concrete applications*. https://www.ciria.org

الملحق

عنوان المشروع

Béton innovant de mousse

مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في اطار القرار الوزاري 1275

المحورالاول : تقديم المشروع

فكرة المشروع (الحل المقترح)

01. نبذة عن المشروع:

في سياق يتسم بالنمو المستمر لقطاع البناء، والطلب المتزايد على السكن، واشتداد المتطلبات البيئية في إطار رؤية التنمية المستدامة، أصبح من الضروري تطوير مواد بناء مبتكرة، مقتصدة في استهلاك الموارد وذات أثر بيئي منخفض. ويُعد قطاع البناء، باعتباره من أكبر المستهلكين للمواد الأولية والطاقة، من أكثر القطاعات المعنية بالتحول نحو حلول أكثر استدامة وصديقة للبيئة.

وفي هذا الإطار، تبرز الخرسانة الرغوية كبديل مبتكر لمواد البناء التقليدية. وتُعرف أيضاً بالخرسانة الخفيفة أو الخرسانة العازلة، وتتميز ببنية خلوية ناتجة عن إدخال فقاعات هواء بشكل مُتحكم فيه داخل عجينة إسمنتية. وتمنح هذه البنية المادة كثافة حجمية منخفضة، وخصائص حرارية وصوتية جيدة، إضافة إلى سهولة في التنفيذ. وتُعد هذه الخصائص عوامل تجعل الخرسانة الرغوية مادة مناسبة جداً لتصنيع كتل البناء الموجهة للمباني الموفّرة للطاقة، مما يساهم في تقليل الاستهلاك الطاقوي وتحسين راحة المستخدمين.

يهدف هذا المشروع إلى إنشاء مؤسسة ناشئة متخصصة في تصنيع كتل مبتكرة من الخرسانة الرغوية، وذلك وفقاً لإطار المرسوم الوزاري رقم 1275. وقد انطلقت فكرة المشروع من الحاجة إلى تقديم حلول بنائية قادرة على تقليص البصمة الكربونية للمباني، والحد من الاستغلال المفرط للموارد الطبيعية، وخفض تكاليف البناء، مع الحفاظ في الوقت ذاته على أداء ميكانيكي مقبول. ومن هذا المنطلق، يأتي تطوير كتل الخرسانة الرغوية استجابة للإشكاليات الراهنة المرتبطة بالكفاءة الطاقوية للمباني واستدامة مواد البناء.

وقد ركزت الأعمال المنجزة في إطار هذا المشروع أساساً على تحديد تركيبة الخرسانة الرغوية، وتحضير العينات، وتقييم بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية، لا سيما الكثافة الحجمية الظاهرية، وامتصاص الماء، ومقاومة الضغط. ونظراً للقيود المتعلقة بالوقت وتوفر التجهيزات، تم تحليل الخصائص الحرارية والصوتية اعتماداً على معطيات مستخلصة من الأدبيات العلمية الحديثة. وأظهرت النتائج المتحصل عليها أداءً مرضياً، مما يؤكد الإمكانات الواعدة للخرسانة الرغوية في مجال البناء الموفّر للطاقة.

ويكمن الطابع الابتكاري للمشروع في تطوير وتثمين مادة بناء خفيفة، مستدامة وقابلة للمنافسة الصناعية، من خلال اعتماد مقاربة تقنية–اقتصادية وبيئية متكاملة. فقد أظهرت الدراسة الاقتصادية والبيئية أن إنتاج كتل الخرسانة الرغوية يمكن أن يشكل حلاً قابلاً للتطبيق ومنافساً للمواد التقليدية، مع المساهمة في تقليل الآثار البيئية لقطاع البناء.

وعليه، يندرج هذا المشروع الخاص بالخرسانة الرغوية ضمن مسار الابتكار والتنمية المستدامة وروح المقاولاتية، ويوفر آفاقاً واعدة لإنشاء نشاط صناعي يحترم البيئة ويلبي الاحتياجات الحالية والمستقبلية لقطاع البناء.

2.القيم المقترحة

:سنقدم منتجا مبتكرا لم يكن موجودا في السوق المحلي من قبل، مما يوفر حلا جديدا ومتفردا لمشاكل البناء .

2-1. الاداء :

تتميز خرسانة الرغوة بخفتها وعزلها الحراري و الصوتي الجيد.

2- 2. التكييف

يمكن تعديل و تخصيص طاقة و إنتاج خرسانة الرغوة وتطويرها وفقا الحتياجات المشاريع المختلفة مما يوفر مرونة عالية للعمل.

2-3. إنجاز المهام :

تساعد خرسانة الرغوة العملء في إنجاز المشاريع ذات الصلة بشكل أكثر كفائة و أقل تكلفة وصيانة، من خلل الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية للمنتج.

2-4 التصميم:

إنتاج خرسانة الرغوة يتناسب مع الرغبات واالحتياجات المختلفة للعملء، مع إمكانية الصيانة و إعادة التأهيل.

2 -5. السعر :

نسعى لتقديم خرسانة رغوة بسعر منافس يلبي احتياجات مختلف مختلف المشاريع الانشائية كمادة ثانوية للبناء والارضيات، مع تحسين الجودة .

2-6. مساعدة العملاء على تقليل التكاليف :

تساهم خرسانة الرغوة في تقليل التكاليف الانشائية مع سهولة التنفيذ 22-27:

2-7. تقليل المخاطر :

نقدم ضمانات على منتجاتنا لتقليل مخاطر العملء، مما يزيد من الثقة واالطمئنان عند الشراء.

2-8. سهولة الوصول:

سنضمن توفر منتجاتنا في مختلف أنحاء الوطن، مع إمكانية أنشاء فروع جهوية حسب حجم الطلبات.

2سهولة االستخدام :

يتم استخدام الخرسانة المزفتة المعدلة بنفس طريقة الخرسانة المزفتة التقليدية لذا ال يوجد أي إشكال في عملية االستخدام .

3.أهداف المشروع:

1-3. دخول السوق:

- الهدف على المدى القصير 1- 5 سنوات: تحقيق تواجد قوي في السوق المحلي الجزائري.
- الحصة السوقية المستهدفة 15-25% :من سوق البناء والاشغال العمومية.

2-3. الستدامة والابتكار:

- الهدف على المدى الطويل 5-10 سنوات: إقامة فروع جديدة قائمة على نفس التكنولوجيا وتوسيع استخدامات خرسانة الرغوة
- الحصة السوقية المستهدفة 30-50% :من ميدان البناء و الاشغال العمومية.

الجدول زمني لتحقيق المشروع (بالاشهر):

ترتيب	المراحل	1	2	3	4	مستمرة
1	اختيار مقر الوحدة الانتاجية	x				
2	طلب التجهيزات	x	x	x		
3	تركيب المعدات			x		
4	شراء المواد الخام			x		
5	بداية الانتاج				x	x

المحور الثاني: الجوانب االبتكارية

تعتبر خرسانة الرغوة منتوج جديد في السوق البناء و الاشغال العمومية الجزائري دو خصائص جيدةوسعر اقل مقارنة بالخرسانة التقليدية. يمكن استخدام خرسانة الرغوة في الاشغال الثانوية كبناء الجدران، الارضيات ، السقوف، المساحات ا **مجاالت االبتكارات :**

1- **العمليات الجديدة :**

زيادة الربحية وزيادة كفاءة العمليات من خلل اعتماد إعادة التدوير وتحسين عمليات التصنيع، نتمكن من تقليل تكاليف اإلنتاج وزيادة الكفاءة، مما يعزز الربحية .

2- **تجارب جديدة :**

يمكننا توسيع نطاق استخدام الخرسانة الرغوية ليشمل تطبيقات متنوعة في البناء و أألشغال العمومية مثل الاحياء العمرانية، الطرق المحاذية للسكان، مساحات اللعب مما يزيد من مبيعاتنا لقطاعات العملاء الحالية.

3- **ميزات جديدة :**

سنستمر في تحسين خصائص الخرسانة الرغوية مثل التلوث الصوتي ، المرونة، الديمومة بالاضافة إلى تقديم منتجات جديدة تعزز بمواد أخرى لتحسين الاداء.

4- **العملاء الجدد:**

من خلل تسويق خرسانة الرغوة في أسواق الجزائرية في الشمال، الغرب، والجنوب نستهدف شرائح عملاء جدد تتطلب مواد بناء مستدامة وفعالة خصوصا مع طبيعة الظروف المناخية الصعبة.

5- **إنشاء عروض جديدة:**

تطوير خرسانة الرغوة بأشكال وتصميمات جديدة، بالإضافة إلى إطلاق خطوط منتجات جديدة مصممة للمساحات العامة ومختلف الاستخدامات.

6- **نماذج جديدة :**

بدالا من الاعتماد فقط على بيع المنتجات، سنعتمد نموذج العمل الذي يشمل خدمات متكاملة مثل الانجاز والصيانة. هذا النموذج سيولد قيمة مضافة للعملاء ويزيد من وفائهم.

المحور الثالث:التحليل الستراتيجي للسوق

1- عرض القطاع السوقي:

1.1. السوق المحتمل :

السوق المحتملة هي مجموعة ألفراد أو المؤسسات أو الهيئات العمومية التي تطلب أو من المحتمل أن تطلب خرسانة الرغوة لتلبية احتياجاتهم ورغباتهم في مجال البناء و الاشغال العمومية المتطور والمستدام.

من يشتري منتجاتنا ؟ ؟

شركات البناء و ألشغال العمومية، الشركات المختصة في انجازالارضيات العامة و الهيئات الحكومية.

ما الذي يحفزهم لذلك؟؟؟

- التأقلم مع الظروف الجوية القاسية
- تكلفة فعالة
- ألداء العالي
- الاستدامة البيئية

أين يتواجدون؟

في الجزائر خاصة في المناطق الصحراوية ،في المناطق التي تسعى لتحسين معايير الكفائة الطاقوية ورفاهية المباني

عددهم

شركات البناء والمقاولات في الجزائر: تقديرات تشير إلى وجود أكثر من 5,000 شركة بناء ومقاولات البناء والاشغال العمومية.

المرقون العقاريون: حوالي 200 مرقي في السوق الجزائري العمومية و التحسين الحضري

الهيئات الحكومية: تشمل العديد من البلديات والمؤسسات الحكومية المعنية بالبناء و الاشغال العمومية.

2.1 السوق المستهدف:

يمثل السوق المستهدف مجموعة الافراد أو المؤسسات أو الهيئات التي نعرض عليها منتجاتنا بشكل أكثر تحديدا.

أ- تحديد السوق المستهدف:

- شركات البناء و الاشغال العمومية والمقاولات الكبيرة والمتوسطة
- الشركات المختصة في البناء والمساحات.
- المطورون العقاريون
- الادارات العمومية و الهيئات الحكومية

ب/ - مبرر اختيار هذا السوق المستهدف:

- حجم الطلب المحتمل: هذه الشريحة لديها طلب كبير ومستمر على المواد المبتكرة
- القدرة الشرائية: الشركات الكبيرة والمتوسطة والهيئات الحكومية لديها القدرة على االستثمار في مواد بناء مستدامة التوجه نحو االستدامة : هذه الشريحة تتماشى مع االتجاهات العالمية نحو التنمية المستدامة و الحفاظ علي البيئة

ج-/ إمكانية إبرام عقود الشراء مع بعض العملاء المهمين- :

شركات بناء كبرى: يمكن التفاوض معها إلبرام عقود طويلة المدى لتزويد مشاريعها بخرسانة الرغوة

–المرقون العقاريون الرائدون: مثل شركات التطوير العقاري الكبيرة في الجزائر

–المؤسسات الحكومية: مثل البلديات والوزارات المعنية بالبناء و أألشغال العمومية والتطوير الحضري.المؤسسات 2- **قياس شدة المنافسة:**

2-1. المنافسون المباشرون وغير المباشرون:

-**المنافسون المباشرون** :شركات إنتاج الخرسانة التقليدية

- **المنافسون غير المباشرون:** الشركات التي تنتج الخرسانة الخفيفة المحتوية على المطاط، الفلين والبولستران.

2-2. تحديد أعدادهم وحصصهم في السوق :شركات إنتاج الخرسانة التقليدية في الجزائر : تقديرات تشير إلى وجود حوالي 240 مصنعا مصانع .

2-3. نقاط القوة والضعف لديهم :إنتاج الخرسانة التقليدية

نقاط القوة: خبرة طويلة في السوق، شبكة توزيع واسعة،

نقاط الضعف: عدم القدرة على استعمال التقنية، قلة التوعية في السوق المحلي

3-الستراتيجية التسويقية

الهدف :وضع استراتيجية تسويقية فعالة لجذب العملء المحتملين وتعزيز االنتاج، مع أألخذ بعين االعتبار القدرات المالية للمؤسسة وتوازن المزيج التسويقي.

تحليلSOWT :

نقاط القوة:

- تلبية احتياجات السوق المتزايدة للمواد المستدامة والفعالة
- خفض استهلاك الطاقة
-

نقاط الضعف :

- قلة الوعي بالمنتج الجديد في السوق.
- تكاليف أولية مرتفعة للتسويق والترويج.
- الحاجة لتثقيف المتدخلين بشأن فوائد خرسانة الرغوة .

الفرص :

- نمو الطلب على المواد المستدامة .
- توجه الحكومة لاستعمال هذا النوع من المنتوجات في المشاريع العمومية
- دعم حكومي محتمل للمشاريع البيئية

التهديدات :

- المنافسة من الشركات التقليدية والمبتكرة الاخرى.
- التحديات االقتصادية والتقلبات في ألسعار
- مقاومة التغيير من قبل العملاء التقليديين.

المزيج التسويقي:

المنتج (Product) :

وصف المنتج: خرسانة رغوة تتميز بالمرونة، العزل الضجيج الصوتي، واالستدامة البيئية

السعر (Price) :

استراتيجية التسعير: تحديد سعر تنافسي يعكس الجودة والقيمة المضافة مقارنة بالخرسانة العادية.

التسعير الترويجي: تقديم خصومات وعروض خاصة للعملاء الجدد والمشاريع الكبيرة.

المرونة في الأسعار: تقديم خيارات تسعير مرنة للعملاء الذين يشترون بكميات معتبرة أو على فترات زمنية محددة.

المكان (Place) :

قنوات التوزيع: توزيع المنتج مباشرة نحو الزبون مع ضمان التنفيذ استخدام الخرسانة الرغوية في مشاريعهم

الشراكات: إقامة شراكات مع شركات البناء و الأشغال العمومية والمقاولات الكبيرة في مختلف مناطق الجزائر.

الموقع الجغرافي: التركيز على المشاريع الرئيسية في منطقة برج بوعريريج، مع خطط للتوسع إلى الشمال والشرق.

الترويج (Promotion):

الإعلانات: استخدام الإعلنات الرقمية ووسائل التواصل الإجتماعي للوصول إلى الجمهور لتعريف بالمنتوج وزيادة الوعي بأهميته.

المعارض والمؤتمرات: المشاركة في معارض ومؤتمرات البناء و الأشغال العمومية لعرض المنتوج المستهدف.

التسويق المباشر: إرسال مواد ترويجية وعروض خاصة إلى الشركات والهيئات الحكومية المطاط المعاد تدوريه في وسائل الإعلام المحلية والدولية

العلقات العامة: نشر مقالات وإجراء مقابلات حول ايجابيات الخرسانة الرغوية.

التثقيف والتوعية: تقديم ورشات عمل وندوات تثقيفية لشرح فوائد المنتج واستخداماته

خطة العمل:

المرحلة الأولى (0- 3أشهر):

أ- إطلاق الموقع الإليكتروني.
ب- الإعلانات الأولية.
ت- الشركات الاستراتجية.

المرحلة الثانية (3 – 6 أسهر):

- المعارض و المؤتمرات.
- التوسع في التوزيع.
- الترويج المتكامل.

المرحلة الثالثة (6 – 18 أشهر):

- **التوسع الإقليمي.**
- **تقييم الأداء.**

4- الميزانية:

- التسويق المباشر والعلاقات العامة: تخصيص 30 في المئة من الميزانية.
- التسويق الرقمي والإعلانات: تخصيص 20 في المئة من الميزانية.
- البحث و التطوير: تخصيص 20 في المئة لتحسين المنتج وتطويره.
- المعارض والمؤتمرات: تخصيص 15 في المئة.
- التثقيف والتوعية: تخصيص 15 في المئة.

المحور الرابع: خطة الإنتاج و التنظيم

1. **عملية الإنتاج:**

تمر عملية إنتاج الخرسانة الرغوية بعدة مراحل. سنشرح العملية بالتفصيل لتمكين القارئ من فهم طريقة الانتاج.

- **شراء المواد الأولية:**

المواد المستخدمة لإنتاج هي: الرمل، الإسمنت المركب 42.5، الجبس، عامل الرغوة، و الماء.

- **الموردين:**

اختيار موردين موثوقين لضمان الجودة والوفرة.

- **الفحص و الجودة:**

إجراء فحوصات فزيائية و كيمائية للمواد الاولية لتأكد من جودتها.

- **التحضير وخلط وتشكيل:**
- تحضير الرغوة، و المواد الأخرى بالكميات المطلوبة.
- خلط المواد ومزجها بالكميات المذكورة في المحور الثاني للحصول على الخصائص المطلوبة.
- تشكيل العينات المطلوبة وفقا للطريقة المذكورة في المحور الثاني.

2. **التموين:**

- **سياسة الشراء:**
- **المواد الأولية:**

تحديد المواد الأولية وشرائها وفق رزنامة تموين زمنية محددة لضمان توفرها واستمرار الإنتاج.

تخزين المواد الأولية في أماكن مناسبة للحفاظ على جودتها.

- **التجهيزات:**

تحديد التجهيزات الازمة للإنتاج وشرائها من موردين موثوقين مع ضمان خدمة ما بعد البيع و الصيانة .

- **أهم الموردين:**

مواد صناعة الرغوة: توريدها من موردين موثوقين مختصين في توريد المواد الكيمائية.

الحصى: أمضاء عقود تمويلية طويلة الأمد مع موردين موثوقين لضمان تسليم عند الطلب.

الإسمنت والجبس: امضاء عقود تمويل طويلة الامد مع مصانع الاسمنت القريبة من المشروع.

- **التجهيزات:** التعاقد مع موردين محليين أو وطنيين لتوريد تجهيزات المصنع.

3.اليد العاملة:

عدد العمال التي يمكن للمصنع توفيرها:

- ✓ الإدارة: مناصب 3 (المدير العام، مدير الإنتاج، والمدير المالية و الموضفين).
- ✓ الانتاج: 8 مناصب (فنيين، مشغلي الآلات).
- ✓ التسويق و المبيعاتز 1 منصب.
- ✓ الدعم الفني و الصيانة: 2 منصبان.

طبيعة ونوع العمالة المطلوبة و موقعها:

- **الإدارة:**

موقع العمل: المكتب الرئيسي.

الطبيعة: موظفون دوو خبرة إدارية في التصنيع.

- الإنتاج:

الطبيعة: فنيون دوو خبرة في تشغيل تجهيزات الإنتاج.

- التسويق و المبيعات:

الطبيعة: موظفون دوو خبرة في التسويق و المبيعات والعلاقات العامة.

- الدعم والصيانة:

الطبيعة: فنيون دوو خبرة في صيانة و صلاح المعدات.

4.الشراكات الرئيسية:

الشركات التي يمكنها المساعدة في استكمال المشروع وتقديم الإضافة.

- ➢ الموردون: التعاون الوثيق مع الموردين لضمان استمرار التوريد وجودة المواد الأولية.
- ➢ الهيئات الحكومية: الاستفادة من البرامج الحكومية التي تدعم المشاريع البيئية المستدامة.
- ➢ مخابر البحث: التعاون مع مخابر البحث لتطوير المنتج وتحسين ادائه.
- ➢ البنوك: الحصول على التموين الازم من خلال القروض الميسرة و البرامج الخاصة.
- ➢ المنضمات البيئية: التعاون مع المنضمات البيئية لتسويق منتج صديق للبيئة.

المحور الخامس: الخطة المالية

التكاليف

تكاليف الأصول الثابتة

المستلزمات	تكلفة الوحدة (دج)	العدد	التكلفة الاجمالية (دج)
مولد الرغوة(Foam Generator)	300000	1	30000
خلاط خرسانة رغوية (Foam Concrete Mixe	2000000	1	2000000
مضخة الخرسانة الرغوية (Foam Concrete Pum	140000		140000
صومعة إسمنتة وجبس(Silo)	180000	2	3600000
أنظمة وزن وخلط أوتوماتيكية	1400000	1	1400000
نظام نقل داخلي	1600000	1	1600000
قوالب إنتاج(Moulds)	12000	20	240000
تهيئة أرضية المصنع، التسييج وتركيب خط الانتاج			2000000
مختبر صغير لفحص الجودة	750000	1	750000
المجموع			11760000

تكاليف الأصول المتداولة (المواد الأولية لمدة سنة):

التعيين	تكلفة الوحدة (دج)/طن	العدد	التكلفة الاجمالية (دج)
الرمل	3000	3000	9000000
الإسمنت	8000	5000	40000000
الجبس	5000	250	750000
مادة صنع الرغوة	240000	80	19200000
الماء	50	4000	200000
المجموع			69150000

المصاريف الإدارية:

التعيين	تكلفة الوحدة	التكلفة الاجمالية
تكاليف التأسيس	/	250000

أعباء المستخدمين:

الوظيفة	العدد	الراتب الشهري	إجمالي الرواتب الشهرية	إجمالي الرواتب السنوية
إداريين	3	80000	960000	2880000
العمال	10	60000	720000	7200000
الإجمالي				10080000

الإجارات (موقع المشروع):

طبيعة الإيجارات	إيجارات شهرية	إيجارات سنوية
ايجال موقع المشروع	60000	720000

تكاليف مختلفة:

التكاليف	التكاليف الشهرية	التكاليف السنوية
أجور الوسطاء واألتعاب		200000
إشهار		150000
المجموع		350000

تكاليف الطاقة:

تكاليف الطاقة	التكاليف الشهرية	التكاليف السنوية
الكهرباء و الغاز	10000	120000
الأنترانت	5000	60000
المجموع		180000

تكاليف المشروع:

التعيين	التكلفة
تكاليف الاصول الثابتة	11760000
تكاليف الاصول المتداولة	69150000
تكاليف الانشاء	250000
تكاليف التشغيل	11330000
المجموع	92490000

رقم الأعمال:

Produit A destiné Client	N
Prix HT produit A	50
Ventes produit A	4000000
CHIFFRE D'AFFAIRES GLOBAL	200000000
	200000000

حسابات النتائج لخمس سنوات:

N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Chiffre d'affaires	Chiffre d'affaires	Chiffre d'affaires	Chiffre d'affaires	Chiffre d'affaires	Chiffre d'affaires
200000000	220000000	240000000	260000000	280000000	300000000
Bénéfice	Bénéfice	bénéfice	bénéfice	bénéfice	bénéfice
80000000	88000000	96000000	104000000	112000000	120000000