

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR**

**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMÉRI DE TIZI-OUZOU**

**Facultés Des Sciences Biologiques et des  
Sciences Agronomiques**

**Département d'Écologie et environnement**



## **Mémoire d fin d'études**

Mémoire de fin d'étude dans le cadre de l'arrêté 1275

**Spécialité : protection des écosystèmes**

### **Thème**

**Valorisation des déchets de verre dans la fabrication de la  
laine de verre dans une logique d'économie circulaire**

**Développement d'une application**

*Réalisé par :*

- **CHERIGUI Houa.**
- **MESSAOUDENE Sophie**

**Soutenu le :** 10 juillet 2025, devant le jury composé de :

Promotrice:	<b>M<sup>me</sup> HAMEDSIAD N.</b>	<b>MCA</b>	<b>UMMTO</b>
Co-promotrice	<b>M<sup>me</sup> MEDJDOUB F.</b>	<b>Professeur</b>	<b>UMMTO</b>
<b>Président</b>	<b>M<sup>me</sup> AKLI A.</b>	<b>MCB</b>	<b>UMMTO</b>
<b>Examinatrice</b>	<b>M<sup>me</sup> Metna F.</b>	<b>MCA</b>	<b>UMMTO</b>
<b>Membre de l'incubateur</b>	<b>M<sup>R</sup> SEDDIKI A.</b>	<b>Professeur</b>	<b>UMMTO</b>

**Année universitaire 2024-2025**

## **Remerciements**

*Au terme de ce travail, nous remercions le bon « Dieu », le tout puissant qui nous a donné la volonté, le courage, la patience et de la santé pour accomplir ce travail*

*Nous tenons à exprimer également notre gratitude et nos sincères remerciements à notre promotrice ; **Mme Hamedi-Siad Nabila** maitre de conférences « A » à l'université de Mouloud Mammeri et notre Co-promotrice **Professeur Medjdoub-Bensaad F**, maitre de conférences à l'université de Mouloud Mammeri pour avoir assuré notre encadrement.*

*Nos sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury  
Pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Notre salutation respectueuse s'adresse aussi à tous nos enseignants de département de sciences biologiques et de sciences agronomiques pour leurs contributions à notre formation durant notre cursus.*

*\*Nos familles, du fond du cœur, pour leurs engagements et leur soutien moral et financier*

*. Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont apportée soutien de près et de loin pour la réalisation de ce modeste travail.*

*Merci à tous ceux qui nous à aidées à réaliser ce mémoire de près ou de loin.*

## *Dédicace*

*Je tiens à dédier ce mémoire, fruit de longues années d'efforts, d'apprentissage et de persévérance à :*

*Mon père, pour ses sacrifices inestimables, son travail acharné et sa présence silencieuse mais constante.*

*Ma mère, pour son amour inconditionnel, ses prières discrètes et son soutien indéfectible, même dans l'ombre.*

*Sans vous, mes parents, rien n'aurait été possible.*

*Mes deux frères Wilis et Yanis, et à mes deux sœurs, Lamia, Ryna et son mari, qui m'ont toujours soutenu(e) avec affection et bienveillance.*

*Et à ma petite nièce Anelle, dont les sourires et l'innocence ont été ma bouffée d'oxygène dans les moments de fatigue.*

*Dassine, , ma cousine au grand cœur, amie d'enfance et sœur de cœur, ma confidente fidèle, merci d'avoir marché à mes côtés avec douceur, loyauté et bienveillance.*

*A Nouredine, je te remercie du fond du cœur pour ta présence indéfectible durant la préparation de ce mémoire. Ton soutien a compté plus que tu ne l'imagines*

*À mes amis, merci d'avoir été présents, à vos mots d'encouragement, vos rires et votre bienveillance dans les moments les plus intenses.*

*Votre amitié a été une véritable force tout au long de cette aventure.*

*Tous ceux qui m'ont aidé, soutenu ou inspiré, de près comme de loin, durant cette aventure.*

Sophie

## Dédicace

*Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont marqué mon parcours universitaire et personnel.*

*À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien moral et leurs sacrifices silencieux qui m'ont permis d'arriver jusqu'ici. Ce travail est aussi le fruit de votre dévouement.*

*À mes sœurs et frères, pour leur présence, leurs encouragements et leurs mots qui m'ont souvent redonné courage dans les moments de doute.*

*À mes amis, pour leur soutien fidèle, leurs conseils, leur patience et leur bonne humeur qui ont rendu ce chemin plus léger.*

*À ma promotrice, pour sa disponibilité, ses conseils précieux, sa rigueur scientifique et son accompagnement bienveillant tout au long de ce travail.*

*À tous mes enseignants universitaires, pour m'avoir transmis leurs savoirs, leur passion, et pour avoir contribué à forger mon esprit critique et ma curiosité intellectuelle.*

*À vous tous, avec toute ma gratitude*

HOUA

**Liste des abréviations**

---

Abréviation	Signification complète
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> / Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
ADEME	<i>Agence de la transition écologique</i> (France)
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> (Allemagne)
AND	<i>Agence Nationale des Déchets</i> (Algérie)
CNES	<i>Conseil National Économique et Social</i> (Algérie)
SNEDD	Stratégie Nationale de l'Environnement et du Développement Durable
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> / Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
IEA	<i>International Energy Agency</i> / Agence Internationale de l'Énergie
JO	<i>Journal Officiel</i> de la République algérienne
DEEE	Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
ACV	Analyse du Cycle de Vie
ECOSE®	Nom commercial d'un liant biosourcé breveté par Knauf Insulation
COV	Composés Organiques Volatils
GREENGUARD Gold	Certification environnementale pour la qualité de l'air intérieur
HQE	Haute Qualité Environnementale
R&D	Recherche et Développement
ISO	International Organization for Standardization
FDES	Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire
EPD	Environmental Product Declaration
m <sup>2</sup> K/W	Mètre carré-kelvin par watt
XPS	Polystyrène extrudé Isolant
EPS	Polystyrène expansé Variante légère du XPS
Cradle-to-Gate	Du berceau à la sortie d'usine Type d'ACV partielle (production uniquement).
LBC	Living Building Challenge , Référentiel international pour la construction durable.
LBC Red List Free	Sans substances toxiques selon la « Red List » du LBC, Certification indiquant l'absence de substances nocives (ex : formaldéhyde, phtalates).
WIPO	World Intellectual Property

## ***Table des matières***

---

Introduction générale .....	1
Chapitre I : Généralité .....	2
I.1 Introduction .....	2
I.2 Généralité sur les déchets .....	3
I.3 Définition des déchets en verre (types de verre, cycle de vie) .....	4
I.4 Problématique liée à la diversité des verres .....	5
I.5.2 Le recyclage du verre : enjeux et potentiel .....	8
I.5.2.1 Le cycle de vie du verre .....	8
I.5.2.2 Le processus de recyclage .....	8
I.5.2.3 Contraintes et défis spécifiques .....	8
I.6 La laine de verre : composition, caractéristiques techniques et avantages .....	9
I.6.1 Composition et caractéristiques techniques .....	9
I.6.2 Avantages pour l'isolation thermique et phonique .....	10
I.7 Pourquoi l'Algérie a besoin d'un projet axé sur la laine de verre .....	11
I.7.1 Contexte climatique exigeant .....	11
I.7.3 Potentiel industriel local inexploité .....	12
I.7.4 Réponse aux objectifs nationaux et internationaux .....	13
I.7.5 Amélioration du confort de vie .....	14
I.8 Enjeux environnementaux et économiques .....	15
I.8.1 Réduction des déchets et impact environnemental .....	15
I.8.2 Opportunité économique pour l'Algérie .....	16
Conclusion du Chapitre I	16
<b>Chapitre II : Économie circulaire et typologie</b>	
II.1 Introduction .....	16
II.2 Vers une revalorisation durable des déchets .....	18
II.3 L'économie circulaire et ses piliers .....	18
II.3.1 Introduction générale .....	18
II.3.2 Définition et principes fondamentaux .....	19
II.3.3.1 Réduire : agir à la source .....	21
II.3.3.2 Réutiliser : prolonger la durée de vie .....	22
II.3.3.3 Recycler : boucler le cycle des matériaux .....	23

II.2.4 Principes complémentaires (écoconception, symbiose, etc.).....	23
Conclusion du Chapitre II.....	25

### **Chapitre III : le volet scientifique**

III.1 Introduction .....	37
III.2 La partie scientifique : qu'est-ce que la laine de verre ? .....	38
III.3 Contexte sanitaire et innovations sur les liants.....	39
III.3.1 Risques liés au formaldéhyde .....	39
III.3.2 Liants sans formaldéhyde .....	39
III.3.2.1 Technologie ECOSE®.....	39
III.3.2.2 Résines aqueuses (polyacryliques, Acrodur).....	40
III.3.2.3 Liants biosourcés innovants (amidon, réaction de Maillard) .....	43
III.4 Processus industriel de production : intégration des nouveaux liants .....	43
III.4.1 Étapes industrielles classiques.....	43
III.4.2 Intégration des nouveaux liants .....	44
III.5 Performances techniques, certifications et avantages.....	40
III.6 Comparaison des différents types de liants .....	41
III.7 Développement approfondi : L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) .....	44
III.7.1 Définition et cadre méthodologique .....	44
III.7.2 ACV de la laine de verre : impacts mesurés et bénéfiques.....	45
III.7.2.1 Impacts par phase du cycle de vie .....	45
III.7.2.2 Données chiffrées : émissions de CO <sub>2</sub> et énergie grise.....	45
III.7.2.3 Phase d'usage : économies d'énergie sur 50 ans .....	46
III.7.3 Comparaison avec d'autres isolants du marché.....	46
III.7.4 Enjeux et opportunités pour l'Algérie .....	47
Chapitre IV : Application .....	49
IV.1 Introduction / Présentation .....	49
IV.2 En-tête / Header (Logo et nom du projet SHN Verre) .....	50
IV.3 Choix d'action : Donner ou Chercher .....	51
IV.3.1 Formulaire « Je donne du verre » .....	53
IV.3.2 Formulaire « Je cherche de la laine de verre » .....	54
IV.4 Analyse UX (expérience utilisateur) .....	52
IV.5 Outils & Ressources .....	52
Calculateur d'impact	

Quiz écologique	
Gestes éco	
De verre à laine	
Badge SHN	
IV.6 Notre Mission .....	52
IV.7 Résumé général (Tableau IV.1 : sections de la plateforme).....	53
IV.8 Description détaillée des formulaires (Tableaux IV.2 à IV.4) .....	53
Conclusion du Chapitre IV .....	55

### **Chapitre V : Présentation du projet STARTUP**

V.1 Premier axe .....	57
V.1.1 Idée de projet / Solution proposée .....	
V.1.2 Valeurs proposées .....	
V.1.3 Valeur environnementale.....	
V.1.4 Valeur économique .....	
V.1.5 Valeur sociale .....	
V.1.6 Valeur technologique.....	
V.3 Objectifs du projet.....	
V.3.1 Objectifs à court terme (1 à 2 ans).....	
V.3.2 Objectifs à moyen terme (3 à 5 ans) .....	
V.3.3 Objectifs à long terme (5 ans et plus) .....	
V.8 Cinquième axe : plan financier prévisionnel .....	88
V.8.1 Coûts et charges .....	88
Tableaux financiers (V.8.1 à V.13) .....	88
Conclusion du Chapitre V .....	99

## *Liste des figures*

---

Chapitre I	
<b>Figure I.1:</b> perturbation des sols par le verre.....	6
Chapitre II	
<b>Figure II. 1:</b> Le verre sodocalcique .....	26
Chapitre IV	
<b>Figure IV. 1:</b> Aperçu des données extraites de l'application de gestion du projet.....	50
<b>Figure IV. 2:</b> formulaire à remplir pour les donateurs de verre.....	51
<b>Figure IV. 3:</b> formulaires à remplir pour acheter la laine de verre.....	51
Chapitre V	
<b>Figure V. 1 :</b> calcin de verre trié destiné à la fabrication de laine de verre .....	72
<b>Figure V. 2:</b> le four de fusion.....	81
<b>Figure V. 3:</b> fibreuse .....	82
<b>Figure V. 4:</b> Processus de fabrication de la laine de verre.....	83

## Liste des tableaux

---

### Chapitre I

<b>Tableau I. 1</b> : synthèse comparative des caractéristiques principales du verre.....	32
---	----

### Chapitre III

<b>Tableau III. 1</b> : étude comparative entre quatre isolants sur leur production .....	45
---	----

<b>Tableau III. 2</b> : comparaison de la laine de verre avec d'autres isolants .....	47
---	----

### Chapitre IV

Tableau IV. 1 : Résumé des sections de la plateforme "SHN Verre" .....	53
--	----

Tableau IV. 2: Description des champs du formulaire "Je donne du verre" .....	53
---	----

Tableau IV. 3 : Champs du formulaire "Je cherche de la laine de verre".....	54
---	----

Tableau IV. 4:Résumé visuel des formulaires et leur objectif .....	55
--	----

### Chapitre V

<b>Tableau V. 1</b> : Calendrier de réalisation du projet.....	62
--	----

<b>Tableau V. 2</b> :composition typique de la laine de verre à base de verre recyclé (calcin) .....	71
--	----

<b>Tableau V. 3</b> : formulation d'un liant sans formaldéhyde.....	72
---	----

<b>Tableau V. 4</b> : Paramètre technique de production de la laine de verre .....	72
--	----

<b>Tableau V. 5</b> :Paramètres de production recommandés étape par étape .....	73
---	----

<b>Tableau V. 6</b> : rôle et intérêt du partenaire stratégique. ....	79
---	----

<b>Tableau V. 7</b> : Composition de l'équipe de production.....	85
--	----

<b>Tableau V. 8</b> : répartition des coûts des charges .....	88
---	----

<b>Tableau V. 9</b> : détail des coûts de développement .....	88
---	----

<b>Tableau V. 10</b> : détail des coûts d'infrastructure.....	88
---	----

<b>Tableau V. 11</b> : détail des équipements industriels .....	89
---	----

<b>Tableau V. 12</b> : budget marketing et communication .....	89
--	----

<b>Tableau V. 13</b> : coûts opérationnels pour les 3 premiers mois.....	89
--	----

<b>Tableau V. 14</b> : Frais administratifs .....	90
---	----

<b>Tableau V. 15</b> : configuration technique de l'atelier semi artisanal.....	90
---	----

<b>Tableau V. 16</b> : Paramètre de production et rendements estimé .....	91
---	----

<b>Tableau V. 17</b> : besoin en matière première.....	91
--	----

<b>Tableau V. 18</b> : Répartition du personnel nécessaire .....	91
--	----

## *Liste des tableaux*

---

<b>Tableau V. 19:</b> exigences lies au local et aménagement .....	92
<b>Tableau V. 20:</b> positionnement du marché.....	92
<b>Tableau V. 21:</b> phases d'évolution du projet (échelle temporelle).....	92
<b>Tableau V. 22:</b> chiffres mensuels projeté dans une situation normal.....	92
<b>Tableau V. 23:</b> mode de financement disponible pour le projet.....	94
<b>Tableau V. 24:</b> sources de financement institutionnel et accès aux aides .....	94
<b>Tableau V. 25:</b> autres sources de financement alternatifs et observation.....	94
<b>Tableau V. 26:</b> hypothèse de base de production .....	94
<b>Tableau V. 27:</b> prix de vente moyen selon le segment du marché .....	95
<b>Tableau V. 28:</b> hypothèse de croissance .....	96
<b>Tableau V. 29:</b> chiffre d'affaires projeté .....	96
<b>Tableau V. 30:</b> hypothèse en cas de difficulté.....	97
<b>Tableau V. 31:</b> chiffre d'affaire estimé .....	97
<b>Tableau V. 32:</b> charge minimal incompressible en cas de difficulté.....	98
<b>Tableau V. 33:</b> risque opérationnels et financiers de l'unité de production.....	98
<b>Tableau V. 34:</b> solutions stratégiques et objectifs visés.....	99

# **Introduction**

## **Générale**

### **Introduction générale**

L'environnement constitue le socle indispensable à la survie et au bien-être de l'humanité. Il fournit des services écosystémiques essentiels tels que l'air pur, l'eau potable, les ressources naturelles et la régulation du climat, permettant ainsi le développement de la vie et des sociétés humaines. Cependant, ces fonctions vitales sont aujourd'hui gravement menacées par la pollution généralisée, la surexploitation des ressources et la dégradation des écosystèmes. Le déséquilibre croissant entre l'activité humaine et les capacités de régénération de la planète se traduit par des impacts alarmants : changement climatique, perte de biodiversité, contamination des sols et des océans, et déclin de la qualité de vie dans de nombreuses régions du monde.

Face à cette crise environnementale, il devient urgent d'adopter une approche plus responsable et durable de notre mode de production et de consommation. Le recyclage s'impose alors comme l'un des leviers les plus pertinents pour réduire la pression exercée sur l'environnement, limiter les déchets, et préserver les ressources naturelles. En valorisant les matériaux en fin de vie, il participe à une dynamique d'économie circulaire qui vise à « boucler la boucle » des matières, tout en créant de la valeur économique et sociale. Parmi les nombreux matériaux recyclables, le verre occupe une place stratégique. Grâce à sa durabilité, sa recyclabilité infinie sans perte de qualité, et sa disponibilité, il est au cœur des efforts visant à développer des solutions industrielles durables. La valorisation du verre usagé pour la fabrication de produits à haute valeur ajoutée, comme la laine de verre, constitue une piste particulièrement prometteuse. Ce matériau isolant, utilisé dans le secteur du bâtiment, contribue non seulement à améliorer l'efficacité énergétique des constructions, mais aussi à réduire les émissions de gaz à effet de serre tout au long du cycle de vie des bâtiments.

Par ailleurs, l'innovation dans la fabrication de laine de verre, notamment par la suppression de liants toxiques comme le formaldéhyde, permet d'orienter ce processus vers des choix encore plus respectueux de la santé humaine et de l'environnement. La prise en compte de l'analyse du cycle de vie (ACV) et la connaissance précise de la typologie des verres recyclés deviennent alors indispensables pour garantir une production conforme aux exigences du développement durable. Comment intégrer efficacement les déchets de verre, en tenant compte de leur typologie, dans un modèle d'économie circulaire permettant la production d'une laine de verre sans formaldéhyde, tout en réduisant les impacts environnementaux à travers une approche d'analyse du cycle de vie ?

# **Chapitre I**

## **Généralité**

## **I.1 Introduction**

Ce premier chapitre pose les bases conceptuelles du travail en abordant les notions fondamentales liées aux déchets, en particulier les déchets en verre. Il définit les types de verre, leur cycle de vie et les enjeux associés à leur gestion. Ce cadre théorique est indispensable pour comprendre les problématiques environnementales, économiques et techniques que pose le recyclage du verre, notamment dans le contexte algérien

## **I.2 Généralité sur les déchets :**

La notion de « déchet » est à la fois ancienne et complexe, et elle soulève de nombreuses interrogations tant sur le plan juridique que sociologique, économique ou encore environnemental. De manière générale, un déchet peut être défini comme toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou a l'intention ou l'obligation de se défaire. Cette définition, bien que fonctionnelle, reste néanmoins sujette à interprétation, car elle repose sur la volonté ou la contrainte de se débarrasser d'un bien devenu inutile ou encombrant.

Dans les textes réglementaires, la définition la plus couramment admise est celle énoncée par la directive européenne 2008/98/CE relative aux déchets, qui stipule qu'« un déchet est toute substance ou objet dont le détenteur se défait ou a l'intention ou l'obligation de se défaire » (« Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 »). Cette définition a été reprise dans de nombreux cadres nationaux, notamment dans le Code de l'environnement français, ce qui confère au terme une reconnaissance juridique claire. Toutefois, cette clarté apparente masque une réalité bien plus nuancée.

En effet, la qualification d'un bien comme « déchet » ne dépend pas uniquement de sa nature matérielle, mais également de son contexte d'usage, de sa valeur d'échange potentielle et des représentations culturelles associées. Ce que l'on considère comme un déchet dans une société donnée peut être perçu différemment dans un autre contexte. Ainsi, le sociologue Jean-Baptiste Fressoz souligne que « le déchet n'est pas une catégorie naturelle, mais une construction sociale » (« Fressoz, J.-B., L'Apocalypse joyeuse, 2012 »). À travers cette perspective, on comprend que le déchet est aussi révélateur des dynamiques de consommation, de production et d'évolution des normes sociales.

De plus, la frontière entre ressource et déchet est de plus en plus poreuse à l'ère de l'économie circulaire. Un objet initialement destiné à être jeté peut aujourd'hui être réutilisé, recyclé ou valorisé, ce qui redéfinit sa place dans le cycle de vie des biens. L'émergence de ces logiques

nouvelles pousse à une redéfinition des déchets non plus uniquement comme des rebuts, mais aussi comme des ressources potentielles. Comme l'affirme un rapport de l'Agence de L'environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), « les déchets ne doivent plus être vus comme une contrainte, mais comme une opportunité pour repenser les modes de production et de consommation » « ADEME, Rapport annuel sur les déchets, 2021 »

Il convient de noter que la perception des déchets évolue également en fonction des enjeux environnementaux contemporains. La croissance démographique, l'urbanisation et l'augmentation des niveaux de vie ont engendré une explosion de la production de déchets à l'échelle mondiale. Cette évolution quantitative oblige les sociétés modernes à reconsidérer leur rapport aux déchets, à travers des politiques de gestion, de réduction à la source et de valorisation qui remettent en question les pratiques linéaires du passé.

Ainsi, loin d'être un simple résidu matériel, le déchet s'impose comme un objet conceptuel complexe, au croisement de multiples disciplines et enjeux, et dont la définition évolue avec les pratiques humaines, les innovations technologiques et les préoccupations environnementales croissantes.

Parmi les nombreux types de déchets générés par les sociétés contemporaines, les déchets en verre occupent une place particulière, tant en raison de leur durabilité intrinsèque que de leur potentiel élevé de valorisation. Le verre, matériau ancestral connu pour ses qualités de transparence, de résistance chimique et de malléabilité thermique, est aujourd'hui utilisé dans une multitude de secteurs allant de l'agroalimentaire à la construction, en passant par la cosmétique ou la pharmacie.

Les déchets en verre sont donc les résidus issus de produits en verre devenus inutiles, endommagés ou arrivés en fin de cycle d'usage. Ils peuvent être classés en différentes catégories, selon leur nature, leur composition ou leur usage initial. On distingue notamment

Le verre creux, qui concerne les bouteilles, bocaux et flacons ; le verre plat, utilisé principalement dans les vitrages et les miroirs ; et les verres spéciaux, plus techniques, comme ceux des écrans, ampoules ou dispositifs médicaux. Chacun de ces types possède des caractéristiques chimiques et physiques spécifiques qui influencent leurs possibilités de recyclage ou de traitement.

En ce qui concerne le cycle de vie du verre, il est généralement considéré comme un matériau à très fort potentiel de recyclabilité. Contrairement à de nombreux autres matériaux, le verre peut théoriquement être recyclé à l'infini sans perte de qualité (6), à condition qu'il soit correctement trié et débarrassé de ses impuretés. Le cycle classique comprend plusieurs étapes : la collecte (souvent par les collectivités ou entreprises spécialisées), le tri (automatique ou manuel selon les installations), le concassage (pour produire du calcin, matière première secondaire), puis la refonte dans des fours à haute température, en vue de produire de nouveaux objets en verre. Selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), « le recyclage du verre permet de réduire jusqu'à 30 % les émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à la fabrication à partir de matières vierges » (6)

En Algérie, la gestion des déchets en verre pose des défis spécifiques, liés à la fois à l'absence d'une politique structurée de tri à la source, au manque d'infrastructures de recyclage à grande échelle, et à la persistance de comportements informels dans la gestion des déchets. Bien que le pays dispose de ressources importantes en sable siliceux — matière première principale du verre — l'industrialisation du recyclage du verre reste encore embryonnaire. D'après une étude conduite par le Centre National des Technologies de Production plus Propre (CNTPP), « le taux de recyclage des déchets en verre en Algérie reste très faible, malgré une consommation croissante dans les secteurs de l'emballage et de la boisson » (28)

Ce constat est cependant contrebalancé par l'existence de filières informelles, dans lesquelles de nombreux récupérateurs, souvent issus de l'économie populaire, participent à la collecte du verre usagé, en vue de le revendre à des unités artisanales de refonte. Ces initiatives locales, bien qu'encore peu encadrées, témoignent d'un potentiel à mobiliser dans le cadre d'une politique de transition vers une économie circulaire. Comme le souligne une analyse du Programme des Nations Unies pour le Développement, « la valorisation des déchets, dont ceux en verre, pourrait constituer un levier de croissance verte en Algérie, si elle s'accompagne de réformes institutionnelles et d'investissements adaptés » (45)

Ainsi, le déchet en verre, loin d'être un simple rebut, devient un enjeu de développement durable à part entière. Sa gestion, en Algérie comme ailleurs, renvoie à des choix stratégiques en matière de gouvernance, d'industrialisation et d'éducation environnementale. Dans ce contexte, le verre n'est plus perçu comme un résidu définitif, mais comme un matériau inscrit dans un cycle potentiellement vertueux, à condition que les conditions techniques, sociales et politiques soient réunies.

La gestion des déchets en verre, bien qu'elle semble a priori simple du fait des qualités intrinsèques de ce matériau, pose en réalité une série de problématiques complexes, tant d'un point de vue environnemental que technique, économique et social. Ces défis s'exacerbent encore lorsque l'on prend en compte la diversité des types de verre présents sur le marché, chacun ayant des propriétés spécifiques qui influencent profondément leur comportement en fin de vie.

Le premier niveau de difficulté réside dans la multiplicité des compositions chimiques. Si le verre sodocalcique, utilisé notamment pour les bouteilles et les fenêtres — représente la majorité de la production, d'autres types de verre, comme le verre borosilicaté (présent dans les ustensiles de cuisine et équipements de laboratoire), le verre au plomb (dans certains produits anciens), ou encore les verres techniques (comme ceux des écrans et fibres optiques), comportent des additifs qui compliquent voire empêchent leur recyclage dans les circuits classiques. Comme le rappelle un rapport technique de l'Union européenne, « le mélange de différents types de verre dans une même filière de traitement compromet la qualité du calcin et rend la refonte industrielle plus énergivore et instable » (14)

Un autre enjeu majeur est celui du tri en amont, indispensable pour permettre une valorisation efficace. En théorie, un tri rigoureux permettrait de séparer les différents types de verre et d'orienter chacun vers une filière adaptée. Cependant, en pratique, le tri sélectif du verre reste limité dans de nombreux pays, notamment en raison d'un manque d'infrastructures, de la méconnaissance du public quant aux bonnes pratiques, ou encore de l'absence de signalisation claire sur les produits. Ainsi, une confusion fréquente persiste entre les verres recyclables (comme les bouteilles) et ceux qui ne le sont pas aisément (comme la vaisselle ou les vitres), ce qui perturbe l'ensemble du processus. D'après l'ADEME, « près de 15 à 20 % des déchets en verre collectés en France sont impropres au recyclage à cause de la présence de matériaux non conformes » (« ADEME, Le tri du verre, état des lieux, 2020 »). (6)

Sur le plan environnemental, la problématique prend une autre dimension. Le verre est certes inerte et non toxique à l'état brut, mais sa production, comme sa refonte, requiert d'importantes quantités d'énergie. Or, une mauvaise gestion des déchets en verre entraîne leur enfouissement ou leur abandon dans l'environnement, où ils peuvent persister pendant des siècles. Ce caractère quasi éternel du matériau, s'il constitue un avantage en termes de

durabilité pour certains usages, devient un désavantage écologique en cas de mauvaise gestion. Une étude de l'Institut National de l'Environnement industriel et des Risques (INERIS) souligne que « les décharges contenant du verre sont sujettes à une inertie chimique qui empêche toute biodégradation et perturbe la stabilisation des sites à long terme » (52)



**Figure I.1: perturbation des sols par le verre**

À cela s'ajoute une problématique économique et sociale importante, notamment dans les pays où le secteur du recyclage est encore émergent. Le manque de filières industrialisées de traitement du verre crée une dépendance à l'importation de matières premières, tandis que les filières artisanales, bien que résilientes, peinent à atteindre des volumes suffisants pour permettre une vraie transition industrielle. Comme l'indique une analyse de la Banque Mondiale, « dans de nombreux pays du Sud, la valorisation du verre reste limitée à des activités informelles de récupération, qui peinent à s'intégrer dans une économie circulaire structurée » (53).

Enfin, la problématique liée à toutes sortes de verre est aussi culturelle et pédagogique. L'absence de sensibilisation et d'éducation à la gestion différenciée des déchets en verre contribue à maintenir une confusion durable dans les comportements des citoyens et dans les choix politiques. La variété des verres, en apparence anodine, devient donc un facteur aggravant dans la gestion globale des déchets, en rendant difficile la standardisation des processus et des messages de prévention.

En somme, la problématique des déchets en verre dépasse largement la seule question technique du recyclage. Elle soulève des enjeux systémiques liés à la complexité des matériaux, à la structuration des filières, à l'inclusion sociale, et à l'éducation environnementale. Il s'agit là

d'un domaine où l'interdisciplinarité devient essentielle, car, comme le résume très justement un rapport de l'UNESCO, « la gestion des déchets, et notamment du verre, ne peut être efficace qu'à la croisée des savoirs techniques, des dynamiques sociales et des volontés politiques » (54).

## **I.5 Le recyclage comme solution**

### **I.5.1. Importance du recyclage dans l'économie circulaire :**

Dans le contexte actuel de transition vers un modèle de développement durable, le recyclage s'impose comme un levier essentiel pour répondre aux défis environnementaux, économiques et sociaux engendrés par la surconsommation de ressources et l'accumulation des déchets. L'économie circulaire, concept désormais central dans les politiques publiques comme dans les stratégies industrielles, repose sur une logique de bouclage des flux de matières. Elle vise à prolonger la durée de vie des produits, à minimiser les pertes de matières premières, et à transformer les déchets en ressources nouvelles.

Dans cette perspective, le recyclage représente bien plus qu'un simple acte de gestion des déchets : il constitue un mécanisme fondamental de régénération du système productif. En réinjectant des matériaux usagés dans le cycle économique, le recyclage permet de limiter l'extraction de ressources vierges, de réduire la consommation d'énergie et de diminuer les émissions de gaz à effet de serre. Comme le souligne la Fondation Ellen MacArthur, « le recyclage est un pilier indispensable de l'économie circulaire, mais il doit s'accompagner de stratégies de réduction à la source et d'écoconception pour atteindre sa pleine efficacité » (55).

Toutefois, l'efficacité réelle du recyclage dépend fortement de la capacité des systèmes de collecte, de tri et de traitement à fonctionner de manière cohérente et performante. Dans de nombreux contextes, notamment dans les pays en développement, ces systèmes souffrent de faiblesses structurelles, de manque d'investissements, ou de coordination insuffisante entre les différents acteurs. Dès lors, l'enjeu n'est pas seulement technique, mais également institutionnel et culturel, impliquant une réforme en profondeur des modes de production et de consommation.

Le verre, en tant que matériau recyclable à l'infini, occupe une place emblématique dans la réflexion autour de l'économie circulaire. Sa structure moléculaire, essentiellement composée de silice, de soude et de calcaire, reste stable au fil des cycles de traitement, ce qui en fait un candidat idéal pour une boucle de recyclage fermée. Toutefois, ce potentiel ne peut être pleinement exploité qu'à travers une série d'étapes rigoureuses et techniquement maîtrisées.

Le cycle de vie du verre débute avec la production à partir de matières premières naturelles, un processus énergivore et fortement émetteur de CO<sub>2</sub>. Une fois transformé en produit fini (bouteille, vitrage, flacon, etc.), le verre est utilisé, puis jeté après usage. C'est à cette étape critique que la notion de « déchet » intervient. Si le verre est collecté correctement, il peut être transformé en calcin, fragments de verre purifiés qui seront fondus pour produire de nouveaux objets. Ce processus de boucle fermée permet de réduire jusqu'à 30 % la consommation d'énergie et les émissions liées à la refonte du verre, selon les données de l'ADEME (6)

- Le recyclage du verre repose sur une chaîne technique exigeante :
- Collecte sélective dans des conteneurs spécifiques ou par des circuits de récupération (formels ou informels) ;
- Tri mécanique ou optique, visant à éliminer les corps étrangers (métaux, plastiques, céramiques) et à séparer les couleurs si nécessaire
- Broyage en calcin de taille calibrée
- Nettoyage pour garantir l'absence de polluants
- Fusion dans des fours verriers à haute température pour fabriquer de nouveaux contenants ou produits verriers.

Malgré ses atouts, le recyclage du verre se heurte à plusieurs contraintes techniques. L'un des problèmes majeurs est la contamination des flux par des verres non compatibles (vaisselle, vitrocéramique, miroirs), qui peuvent nuire à la qualité du calcin et engendrer des défauts lors

de la refonte. De plus, la séparation des couleurs reste un défi logistique important, car les fours ne tolèrent que des combinaisons chromatiques spécifiques selon les produits à fabriquer.

En parallèle, le recyclage du verre présente également des défis économiques. Le coût de collecte et de transport, notamment dans les zones rurales ou peu denses, peut dépasser la valeur marchande du calcin produit. Cela limite l'incitation économique pour certains acteurs à investir dans la filière, surtout en l'absence de subventions ou de politiques incitatives. D'un point de vue institutionnel, le manque de normes homogènes ou de coordination entre collectivités entrave la montée en puissance d'une filière véritablement structurée.

Enfin, dans des pays comme l'Algérie, les défis sont aussi structurels et sociaux. La faible couverture territoriale en infrastructures de tri, l'absence de politiques incitatives robustes, et la place encore marginale du recyclage dans les mentalités collectives limitent l'essor d'une économie circulaire performante. Néanmoins, certaines dynamiques locales, portées par des acteurs informels ou des initiatives citoyennes, laissent entrevoir des perspectives encourageantes. Comme le note une étude conjointe du PNUD et du Ministère algérien de l'Environnement, « le développement d'une filière de recyclage du verre pourrait générer à la fois des bénéfices environnementaux et des opportunités d'emplois, à condition de structurer les chaînes de valeur et de formaliser les pratiques existantes » (45).

### **: composition, caractéristiques techniques et avantages pour l'isolation**

La laine de verre fait partie de la grande famille des laines minérales, aux côtés de la laine de roche. Il s'agit d'un matériau isolant largement utilisé dans le bâtiment pour ses performances thermiques et acoustiques, ainsi que pour sa capacité à résister au feu. Elle est principalement composée de sable siliceux, de verre recyclé (calcin) et de divers fondants comme la soude ou le borate, lesquels facilitent la fusion des matières premières à haute température.

Le procédé de fabrication consiste à faire fondre le mélange à environ 1 400 °C, avant de le transformer en fibres à l'aide de jets d'air ou de centrifugeuses. Ces fibres sont ensuite liées entre elles par des résines thermodurcissables (souvent à base de phénol-formaldéhyde), formant une structure enchevêtrée qui piège l'air — un excellent isolant naturel. Comme le résume l'Agence Qualité Construction : « La laine de verre est essentiellement constituée de verre fondu fibré, emprisonnant de l'air immobile, ce qui en fait un matériau peu conducteur de chaleur » (56).

Ses caractéristiques techniques varient selon le format (panneaux, rouleaux, flocons) et la densité, mais on note en général :

- Une conductivité thermique faible, autour de 0,032 à 0,040 W/m.K, ce qui garantit une bonne isolation contre les déperditions de chaleur ;
- Une densité modérée, de 10 à 100 kg/m<sup>3</sup> selon l'application ;
- Une bonne perméabilité à la vapeur d'eau, ce qui en fait un matériau respirant ;
- Une réaction au feu de classe A1, c'est-à-dire incombustible selon la norme européenne EN 13501-1.

Ces propriétés techniques, combinées à sa relative facilité de mise en œuvre, expliquent la large diffusion de la laine de verre dans les secteurs résidentiels, tertiaires et industriels.

### **I.6.2 Avantages pour l'isolation thermique et phonique**

L'un des atouts majeurs de la laine de verre réside dans son excellente performance thermique. Grâce à sa structure fibreuse et à la quantité d'air piégé dans ses cavités, elle limite les transferts de chaleur par conduction. Elle est ainsi utilisée pour l'isolation des combles, des murs, des planchers et des toitures. Selon le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, « une bonne mise en œuvre de laine de verre permet de réduire la consommation énergétique d'un bâtiment de manière significative, parfois de plus de 30 % » (15)

En parallèle, la laine de verre se distingue par sa capacité à amortir les ondes sonores, grâce à sa texture poreuse et souple qui disperse les vibrations. Elle est ainsi souvent utilisée dans les cloisons, faux plafonds et planchers pour améliorer le confort acoustique, notamment dans les zones urbaines ou les environnements bruyants. D'après une étude de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), « les matériaux fibreux comme la laine de verre offrent une absorption acoustique élevée dans les moyennes et hautes fréquences » (57)

En plus de ses propriétés isolantes, la laine de verre offre plusieurs avantages environnementaux et économiques :

- Elle est en partie fabriquée à partir de verre recyclé, participant à la valorisation des déchets ;

- Elle est durable, ne se tasse pas facilement avec le temps, et ne se dégrade pas au contact de l'humidité si elle est bien protégée ;
- Elle est relativement peu coûteuse, ce qui en fait un des isolants les plus accessibles du marché.

Cependant, certains points de vigilance subsistent : le confort de pose, en raison de la poussière irritante générée lors de la manipulation ; la recyclabilité limitée en fin de vie, liée à la présence de résines ; et la nécessité d'une bonne étanchéité à l'air pour éviter les ponts thermiques.

Malgré cela, la laine de verre reste l'un des piliers de l'isolation moderne, tant pour ses performances que pour son accessibilité. Dans le contexte d'une transition vers des bâtiments plus sobres en énergie, elle constitue une solution clé, à condition qu'elle soit mise en œuvre dans le respect des règles de l'art et intégrée dans une logique plus large d'efficacité énergétique et de conception durable.

### **I.7 Pourquoi l'Algérie a besoin d'un projet axé sur la laine de verre:**

Dans le contexte actuel de transition énergétique et d'urgence environnementale, l'Algérie se trouve à la croisée des chemins. Le pays, confronté à des défis multiples climatiques, économiques, sociaux et énergétiques ne peut plus se permettre de maintenir des modèles de consommation fondés sur le gaspillage et l'inefficacité énergétique. C'est dans ce cadre que s'inscrit l'intérêt stratégique d'un projet centré sur la laine de verre, un matériau dont les propriétés en font une réponse concrète, efficace et adaptée aux enjeux nationaux.

Le premier argument repose sur les conditions climatiques très contrastées du pays. De la zone méditerranéenne humide aux régions sahariennes extrêmement chaudes, l'Algérie connaît des amplitudes thermiques élevées qui mettent à rude épreuve la performance énergétique des bâtiments. L'absence d'isolation ou l'usage de matériaux peu performants conduit à des pertes de chaleur massives en hiver, et à une surchauffe des logements en été, aggravant le recours à des solutions énergivores comme le chauffage au gaz ou la climatisation électrique. Or, comme le soulignent plusieurs études, « une bonne isolation thermique permet de réduire de 30 à 50 % les besoins énergétiques d'un bâtiment » (58).

Dans ce contexte, la laine de verre, grâce à sa faible conductivité thermique, apparaît comme une solution accessible et efficace pour répondre aux exigences climatiques du pays, tant dans les zones côtières que sahariennes.

### **I.7.2 Dépendance énergétique coûteuse :**

Bien que l'Algérie soit un producteur d'hydrocarbures, elle fait face à une consommation intérieure en forte hausse, en particulier dans le secteur résidentiel. Selon l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE), « près de 45 % de la consommation d'énergie finale en Algérie provient du secteur du bâtiment, dont une part importante est liée au chauffage et à la climatisation » (59). Or, cette situation n'est pas tenable à long terme : elle fragilise les exportations, alourdit les subventions énergétiques, et retarde la transition vers un modèle durable.

Le développement de la laine de verre, qu'il s'agisse de sa production locale ou de son usage dans la construction, s'inscrit dans une logique de réduction de la demande énergétique, tout en renforçant la souveraineté énergétique du pays.

Le projet de laine de verre en Algérie s'inscrit également dans une perspective économique et industrielle. Le pays dispose des ressources de base nécessaires à la production de laine de verre : sable, calcaire, et surtout verre recyclé. Toutefois, la filière reste embryonnaire, souvent dépendante d'importations, ou limitée à quelques initiatives industrielles isolées. Structurer une filière autour de ce matériau permettrait non seulement de stimuler la production nationale, mais aussi de valoriser les déchets de verre, aujourd'hui majoritairement enfouis ou abandonnés dans l'environnement.

En intégrant les principes de l'économie circulaire, un tel projet pourrait :

- Créer des emplois directs et indirects dans la collecte, le tri, la transformation et la pose
- Dynamiser des secteurs connexes comme le bâtiment, l'environnement ou la logistique
- Favoriser les PME locales et les initiatives entrepreneuriales vertes.

Le projet de laine de verre répond également aux engagements de l'Algérie sur le plan environnemental et climatique. Dans sa Contribution Déterminée au niveau National (CDN)

soumise à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, le pays s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 7 à 22

% d'ici 2030, sous conditions de soutien international (« Ministère de l'Environnement, CDN actualisée, 2021 »).

Pour atteindre ces objectifs, l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le bâtiment est une priorité clairement identifiée. Promouvoir la laine de verre comme matériau d'isolation entre donc en cohérence directe avec cette ambition, en apportant une solution locale, concrète et mesurable.

Au-delà des aspects techniques, économiques et environnementaux, ce projet a une dimension sociale forte. La majorité des logements en Algérie, notamment dans les zones rurales ou périurbaines, sont mal isolés, ce qui se traduit par un inconfort thermique important et des dépenses énergétiques lourdes pour les ménages. En été comme en hiver, les familles doivent recourir à des solutions coûteuses ou inefficaces pour maintenir des conditions de vie acceptables.

En rendant accessible la laine de verre à grande échelle, via des politiques publiques, des incitations financières ou des actions de sensibilisation, le projet contribuerait à améliorer le confort et la qualité de vie des citoyens, tout en réduisant les inégalités d'accès à l'efficacité énergétique.

En somme, un projet de développement de la laine de verre en Algérie ne relève pas seulement d'une opportunité technique : il répond à un besoin structurel, à des ambitions politiques, et à des attentes sociétales légitimes. Il constitue un levier à fort impact dans une stratégie globale de transition énergétique inclusive, et mérite à ce titre toute l'attention des décideurs, des industriels et des citoyens.

Le développement d'un projet basé sur la laine de verre s'inscrit avant tout dans une logique de durabilité, en répondant à plusieurs problématiques environnementales pressantes en Algérie. L'une des plus préoccupantes est la gestion des déchets, notamment les déchets en verre, dont la valorisation reste extrêmement faible. D'après les estimations du ministère de

l'Environnement, « près de 300 000 tonnes de verre sont jetées chaque année en Algérie, dont une infime partie est récupérée ou recyclée localement » (« MEAT, Rapport national sur la gestion des déchets, 2022 »). La majeure partie de ce verre finit dans des décharges, sans tri préalable, contribuant à la saturation des sites d'enfouissement et à la dégradation des paysages urbains et ruraux.

La production de laine de verre représente ici une solution de valorisation pertinente, puisqu'elle peut intégrer jusqu'à 80 % de calcin (verre recyclé) dans sa composition. En réutilisant cette matière première abondante et disponible localement, le projet participe à :

- ✓ Préserver les ressources naturelles, en limitant l'extraction de sable siliceux ou de calcaire .
- ✓ Diminuer les émissions de CO<sub>2</sub>, la fusion du calcin nécessitant moins d'énergie que celle du verre brut.

À cela s'ajoute l'effet vertueux de la laine de verre sur le cycle de vie des bâtiments : une meilleure isolation thermique permet de réduire la consommation énergétique, et donc les émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage et à la climatisation. Comme le rappelle le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, « améliorer l'enveloppe thermique des bâtiments est l'une des actions les plus efficaces pour atténuer le changement climatique )

« PNUE, Buildings and Climate, 2021 ».

En ce sens, le développement local de la laine de verre s'inscrit pleinement dans les engagements climatiques de l'Algérie, en contribuant à une gestion plus circulaire des ressources et à une réduction de l'empreinte écologique du secteur du bâtiment.

### **I.8.2 Opportunité économique pour l'Algérie**

Sur le plan économique, le projet de laine de verre représente une opportunité de marché stratégique pour l'Algérie. Actuellement, malgré une demande croissante en matériaux isolants, la majorité de la laine de verre consommée sur le territoire est importée, ce qui représente un coût financier significatif et une dépendance extérieure non négligeable. Parmi les principaux pays fournisseurs figurent :

- La France, à travers des marques comme Isover ou Saint-Gobain ;
- L'Espagne, avec des produits destinés aux marchés nord-africains ;

La Turquie, dont les exportations vers l'Algérie ont augmenté ces dernières années

La Chine, qui fournit également des matériaux à bas coût mais souvent de qualité variable.

Cette situation crée un déséquilibre commercial et empêche l'émergence d'une filière nationale compétitive. Le développement d'unités de production locales de laine de verre permettrait non seulement de réduire la facture des importations, mais aussi de stimuler l'économie nationale en créant des emplois industriels, en structurant une chaîne de valeur, et en soutenant l'innovation dans les matériaux de construction.

D'ailleurs, cette orientation s'aligne avec la vision stratégique des autorités algériennes, qui encouragent fortement les initiatives à haute valeur ajoutée, en particulier dans les domaines de l'environnement et de l'innovation. Le président de la République, Abdelmadjid Tebboune, a récemment réaffirmé cette volonté lors du Salon national des start-up : « l'Algérie mise sur les jeunes innovateurs et les projets capables de réduire notre dépendance économique et de moderniser notre tissu industriel » « APS, Déclarations présidentielles lors du Salon Algiers Innov, 2023 ».

Ainsi, un projet national autour de la laine de verre répond à une double attente :

- D'une part, environnementale, par la réduction des déchets et la transition énergétique
- D'autre part, économique, en contribuant à la substitution des importations, à la création de valeur locale, et à l'industrialisation verte du pays.

## **Conclusion**

Ce chapitre permet ainsi de saisir les fondements théoriques du projet autour de la laine de verre. La diversité des verres, leurs propriétés physico-chimiques et leur potentiel de recyclabilité soulignent l'importance d'une gestion différenciée et structurée des déchets verriers. L'Algérie dispose d'un potentiel sous-exploité qu'il est urgent de valoriser dans une logique d'économie circulaire. dans le prochain chapitre nous nous concentrent sur l'économie circulaire et thypologie

# **Chapitre II Économie circulaire et typologie**

**II.1 Introduction**

Ce chapitre introduit le concept d'économie circulaire comme réponse aux limites du modèle linéaire traditionnel. Il met l'accent sur le rôle stratégique du verre dans ce nouveau paradigme économique, tout en analysant les types de verre et les défis liés à leur valorisation.

**II.2 Vers une revalorisation durable des déchets : entre typologie du verre et logique d'économie circulaire :**

Dans un contexte de pressions environnementales accrues, de raréfaction des ressources naturelles et de croissance constante des volumes de déchets, les modes traditionnels de production et de consommation apparaissent de plus en plus incompatibles avec les objectifs du développement durable. La problématique de la gestion des déchets ne se limite plus à une logique d'élimination, mais s'inscrit désormais dans une perspective de valorisation, engageant une transformation profonde des systèmes économiques et des pratiques industrielles, selon La ministre de l'Environnement et de la Qualité de la vie, « Nadjiba Djilali », a affirmé, le 20/01/2025 à Alger, que le texte de la nouvelle loi relative à la gestion des déchets consacrait le principe de responsabilité élargie du producteur, permettant ainsi de redéfinir la notion du déchet, qui ne doit plus être considéré seulement comme un problème à éliminer, mais comme une matière première à valoriser et une ressource économique essentielle pour l'industrie manufacturière. (61) La ministre répondait aux préoccupations des membres du Conseil de la nation, lors d'une plénière présidée par M. Salah Goudjil, président du Conseil, en présence de la ministre des Relations avec le parlement, Kaouter Krikou, et consacré au débat du texte de loi modifiant et complétant la loi no 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. (61)

Dans cette dynamique, l'économie circulaire s'impose comme une réponse systémique aux limites du modèle linéaire « produire, consommer, jeter ». Elle propose une optimisation des flux de matières en réintégrant les déchets dans de nouveaux cycles productifs, réduisant ainsi les pertes de ressources et les impacts environnementaux. Ce changement de paradigme repose notamment sur la capacité à concevoir les déchets comme des matières premières secondaires, à fort potentiel de revalorisation. L'économie circulaire peut transformer les déchets en ressources, optimisant ainsi les processus industriels et créant de nouvelles opportunités économiques. (62) À ce propos, Dr Nabila Hamedi Siad, enseignante et consultante en environnement, souligne dans une interview récente que « la création d'un financement vert doit être prise en charge », car il s'agit d'un levier essentiel pour soutenir les projets de

transition écologique, réduire la dépendance aux énergies fossiles et garantir un environnement sain comme droit fondamental. Elle appelle également à impliquer les universités, les chercheurs et les jeunes dans cette transformation, en soulignant le rôle de la science appliquée et de la gouvernance environnementale (Hamedi Siad, 2025). (65)

Parmi les matériaux concernés, le verre occupe une place singulière. Recyclable à l'infini sans perte de qualité, il représente un levier important dans la transition vers une économie circulaire efficiente. Toutefois, pour envisager une valorisation optimale de ce matériau, il convient d'en comprendre la diversité. En effet, la typologie du verre — qui inclut notamment le verre creux, plat, technique ou spécial — influe fortement sur les modalités de collecte, de tri et de traitement. Chaque type présente des propriétés physico-chimiques spécifiques qui conditionnent sa compatibilité avec les filières de recyclage et de transformation.

L'objectif de cette partie théorique est ainsi double : il s'agit, d'une part, d'examiner la diversité des verres présents sur le marché et les enjeux liés à leur traitement différencié, et d'autre part, d'analyser comment l'intégration de ces déchets dans une logique circulaire permet de générer de nouvelles opportunités, notamment à travers leur transformation en matériaux isolants comme la laine de verre. À travers cette approche, le déchet n'apparaît plus comme une contrainte, mais comme un vecteur de durabilité, au croisement des dimensions environnementale, économique et technologique. L'expert en agronomie, Mohamed Mokrane Nouad, a insisté sur la définition d'un cadre réglementaire qui favorise la valorisation des déchets pour l'économie circulaire tout en élaborant une vision stratégique nationale liant l'ensemble des secteurs notamment l'agriculture et l'agroalimentaire. Cette stratégie doit impliquer, a-t-il mentionné, une prospective sur les gisements et la demande de ressources. (62)

## II.3 L'économie circulaire et ses piliers : une nouvelle vision du développement durable

### II.3.1 Introduction générale:

Depuis la Révolution industrielle, l'économie mondiale s'est largement construite sur un modèle linéaire, fondé sur l'exploitation intensive des ressources naturelles : « extraire, produire, consommer, jeter ». Ce modèle, longtemps considéré comme un symbole de progrès et de modernité, montre aujourd'hui ses limites face aux défis environnementaux, économiques et sociaux. Le réchauffement climatique, la raréfaction des matières premières, l'augmentation des déchets et les inégalités d'accès aux ressources imposent de repenser en profondeur nos modes de production et de consommation (IPCC, 2023 ; Rockström et al., 2009).

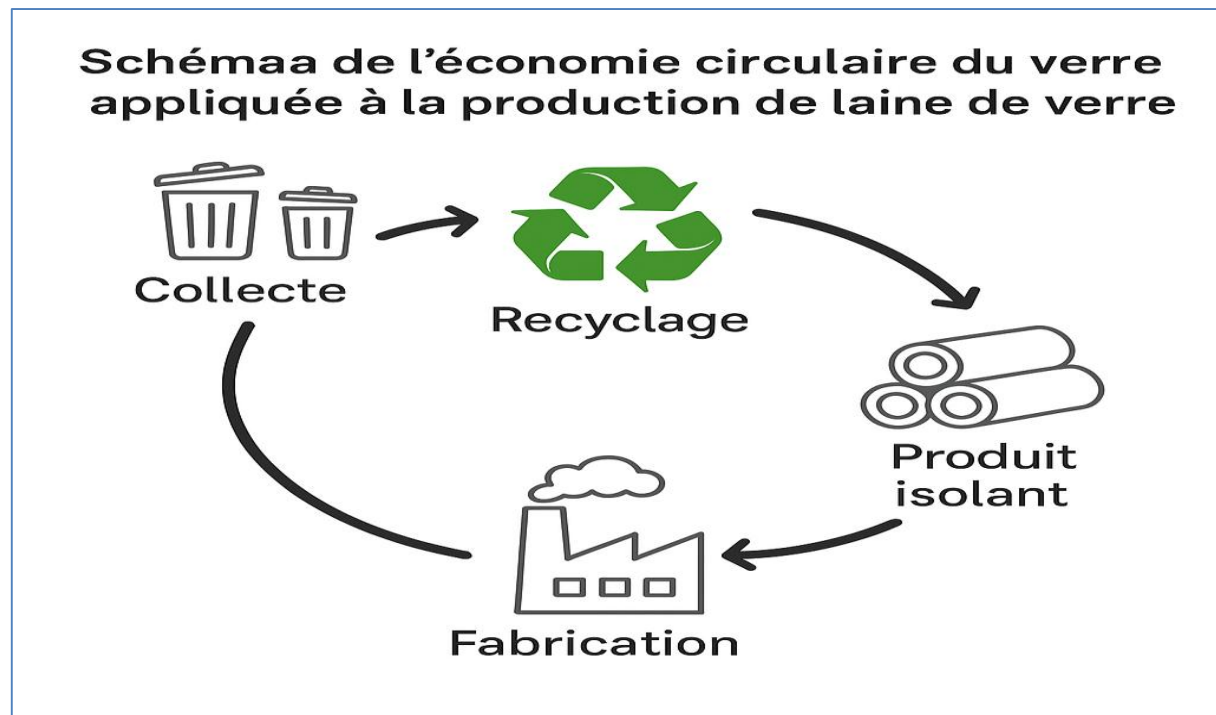
- Ce modèle est également à l'origine d'importantes pressions sur les ressources naturelles algériennes, notamment l'eau, les sols, et les énergies fossiles (38)

-En Algérie, les décharges non contrôlées se multiplient, entraînant des impacts sanitaires et environnementaux majeurs (28)

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'économie circulaire, un concept novateur qui propose de réconcilier développement économique, protection de l'environnement et inclusion sociale. Plutôt que de considérer les déchets comme une fatalité, l'économie circulaire vise à les éliminer progressivement en réintégrant les matériaux dans des cycles continus, inspirés des écosystèmes naturels où « rien ne se perd, tout se transforme » (7) (38)

- L'économie circulaire représente une opportunité pour l'Algérie de développer de nouveaux secteurs d'activité, comme le recyclage, la réparation ou la valorisation des déchets organiques (8)

- Elle pourrait également contribuer à réduire la dépendance du pays aux importations de matières premières (13)



### II.3.2 Définition et principes fondamentaux :

- L'économie circulaire est définie par l'ADEME (2017) comme un « système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus ».

En Algérie, cette approche commence à être intégrée dans certaines politiques publiques, notamment à travers la stratégie nationale de gestion des déchets (38) (Ministère de l'Environnement, 2021). La priorité est ainsi donnée à l'économie circulaire qui occupe désormais l'agenda du deuxième mandat du président « Tebboune ». L'économie circulaire peut permettre de relever les défis et même de les concevoir comme une opportunité

- Elle permettrait aussi de répondre aux objectifs de développement durable inscrits dans la Stratégie nationale de l'environnement et du développement durable (SNEDD) (47).

L'adoption de ce modèle permettrait à l'Algérie de mieux valoriser ses ressources tout en répondant aux défis du développement durable, notamment dans des secteurs clés comme la gestion des déchets, la construction (éco-matériaux) ou l'agroalimentaire (compostage des biodéchets) (8)(22)

- L'Algérie produit chaque année plus de 13 millions de tonnes de déchets ménagers, dont une grande partie reste non valorisée (28)

- Le secteur agricole, fortement générateur de déchets organiques, pourrait bénéficier d'un compost local issu des biodéchets urbains (22).

Il s'agit d'un levier essentiel pour concilier croissance économique et préservation de l'environnement. Sa mise en œuvre nécessite toutefois une transformation profonde des modes de production et de consommation, impliquant tous les acteurs – des pouvoirs publics aux entreprises en passant par les citoyens (13)

- La participation des collectivités locales et des jeunes entrepreneurs est également cruciale pour la réussite de cette transition (44).

-Des initiatives locales émergent déjà dans certaines wilayas pour valoriser les déchets du BTP ou du verre (9)

Ce modèle repose sur une rupture avec l'économie linéaire classique et ambitionne de :

Limiter l'extraction des ressources naturelles vierges.

-En Algérie, cela concerne notamment les ressources non renouvelables comme les hydrocarbures, les minerais ou les carrières de sable et de gypse (Agence nationale des ressources minières, 2021).

-Allonger la durée de vie des produits et matériaux.

-La réparation et la réutilisation de biens (mobilier, électroménager, outils) sont des pratiques qui peuvent être renforcées par des politiques d'encouragement local (Ministère du Commerce, 2021).

-Réduire au maximum la production de déchets.

-Des projets pilotes dans les communes ont montré qu'une meilleure collecte sélective peut réduire jusqu'à 30 % des déchets dirigés vers les décharges (9).

### **II.3.3 Les trois piliers de l'économie circulaire :**

Au cœur de l'économie circulaire, trois piliers essentiels structurent la démarche : Réduire, Réutiliser, Recycler.

Ces trois axes, souvent appelés les « 3R », constituent une hiérarchie d'actions complémentaires qui visent à optimiser en permanence l'utilisation des ressources (4).

#### **II.2.3.1 Réduire : agir à la source**

- La réduction est le premier et le plus important des piliers de l'économie circulaire.
- Il s'agit de limiter la consommation de matières premières, d'énergie et de ressources dès la conception des produits et des services (18)

Cela se traduit par :

- L'éco-conception : Concevoir des produits plus durables, réparables, modulables et nécessitant moins de matériaux ou d'énergie (7).
- La consommation responsable : Promouvoir des modes de consommation sobres, durables et éthiques, en incitant les citoyens et entreprises à privilégier des biens à longue durée de vie et à faible impact environnemental (39).
- L'efficacité énergétique : Optimiser les procédés industriels et les infrastructures pour consommer moins d'énergie (31).

Exemples concrets :

- Réduire l'épaisseur des bouteilles en verre tout en conservant leur solidité (2).
- Concevoir des bâtiments avec des matériaux locaux et recyclés pour limiter leur empreinte écologique (Ministère de la Transition Écologique, 2021).

Impact attendu :

- En agissant à la source, la réduction permet d'éviter la création même de déchets et diminue la pression sur les ressources naturelles (14)

### **II.3.3.2 Réutiliser : prolonger la durée de vie:**

La réutilisation est le deuxième pilier et consiste à donner une seconde vie aux produits ou matériaux, sans transformation lourde (18).

Elle implique :

- Le réemploi direct : Utiliser plusieurs fois un même objet sans modification (ex : bouteilles consignées, palettes, vêtements) (3).
- La réparation et la remise à neuf : Restaurer les objets pour prolonger leur durée d'usage, évitant ainsi leur élimination prématurée (51).

- Le réaménagement ou le détournement d'usage : Transformer un objet pour un nouvel emploi sans passer par une transformation industrielle lourde (ex : utiliser des bacs pour le stockage domestique) (4).

Exemples concrets :

Réemploi de bouteilles de verre via des systèmes de consigne (39).

### II.3.3.3. Recycler : boucler le cycle des matériaux:

Le recyclage intervient lorsque la réduction et la réutilisation ne sont plus possibles.

Il consiste à transformer les déchets en matières premières secondaires, qui peuvent être réintroduites dans les cycles de production.

Il existe plusieurs types de recyclage :

- **Recyclage matière** : Transformation physique (ex : verre recyclé en nouveaux contenants). (4)
- **Recyclage chimique** : Décomposition des matériaux complexes pour retrouver des molécules de base (ex : recyclage de plastiques complexes).
- **Recyclage organique** : Compostage des déchets biodégradables. (40)

Exemples concrets :

- Broyer du verre pour obtenir du calcin et fabriquer de nouvelles bouteilles. (4)
- Recycler du papier pour produire du papier journal. (23)

Limites

Le recyclage n'est pas toujours "parfait" : il peut entraîner une perte de qualité du matériau (cas du plastique). Par exemple, une bouteille en PET recyclée ne pourra généralement pas être retransformée en une nouvelle bouteille alimentaire, mais sera plutôt utilisée pour des fibres textiles ou des emballages secondaires ou une consommation énergétique importante. C'est pourquoi l'économie circulaire privilégie d'abord la réduction et la réutilisation, puis en dernier recours le recyclage. (31),

L'économie circulaire insiste sur la hiérarchie des déchets : réduction à la source (éviter le gaspillage) et réemploi (63) (comme les gullas en verre) doivent être privilégiés, tandis que le recyclage reste une solution complémentaire pour les déchets inévitables(4). Une meilleure écoconception (produits plus faciles à démonter et recycler) et des filières structurées (comme celles du verre ou du métal) pourraient toutefois améliorer l'efficacité du recyclage en Algérie.

#### II.2.4. Principes complémentaires (écoconception, symbiose, etc.) soutenant les 3R:

En plus des 3 piliers de base, plusieurs concepts renforcent l'approche circulaire :

- **L'écoconception** : Intégrer la recyclabilité et la durabilité dès la création des produits(7).
- **La symbiose industrielle** : Mutualiser les flux de matières et d'énergie entre industries voisines pour minimiser les pertes.(48)
- **L'économie de la fonctionnalité** : Vendre l'usage plutôt que le produit (ex : location de voitures ou d'équipements industriels) (18)
- **La valorisation énergétique** : En dernier recours, convertir certains déchets en énergie, tout en minimisant les impacts environnementaux. (4)
- **La consommation collaborative** : Partage, troc, échange pour limiter la surconsommation.

L'économie circulaire propose une vision intégrée et systémique du développement durable.

Elle repose sur une approche proactive, qui vise à traiter les problèmes à la racine en réduisant le gaspillage et en valorisant l'intelligence collective. (1)

Pour des pays comme l'Algérie, en pleine transition économique et environnementale, l'adoption de l'économie circulaire représente une opportunité majeure : le concept de l'économie circulaire a été consacré pour la première fois dans la nouvelle loi de février 2025 dans l'article 3 (loi n° 25-02 du 20 février 2025 modifiant et complétant la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relatif à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets (JO) (34) . La reconnaissance juridique de l'économie circulaire dans la législation algérienne Selon cette définition légale :

« L'économie circulaire est l'ensemble d'activités économiques, industrielles et sociales nécessitant le recours à des modes de production, de consommation et d'échange fondé sur l'éco-conception, la réparation, Le réemploi, la réutilisation et le recyclage, ou le compostage et/ou la mécanisation visant à diminuer les ressources utilisées ainsi que les dommages causés à la santé publique et/ou à l'environnement. »

Cette reconnaissance officielle marque un tournant important pour la gouvernance environnementale en Algérie. En effet, elle inscrit l'économie circulaire comme fondement de la politique nationale de gestion des déchets, en cohérence avec les principes des 3R

(Réduire, Réutiliser, Recycler) et des approches complémentaires comme la symbiose industrielle ou la responsabilité élargie du producteur.

Elle oriente ainsi les acteurs publics et privés vers une stratégie intégrée visant à :

- Préserver les ressources naturelles nationales. (37)
- Dynamiser de nouveaux secteurs industriels, comme le recyclage du verre(10).
- Créer des emplois verts et inclusifs. (42)
- Répondre aux engagements climatiques internationaux. (L'Algérie à ratifier l'accord de Paris en 2016 (avec le décret présidentiel) (Décret présidentiel n°16-183 du 13 juin 2016).

L'intégration des piliers « Réduire, Réutiliser, Recycler » dans les politiques publiques, les pratiques industrielles et les comportements citoyens est donc un levier fondamental pour construire une économie plus résiliente, plus innovante et plus durable.

Les défis de mise en œuvre nécessitent :

1. Un cadre réglementaire incitatif (fiscalité verte, normes produits)
2. Des investissements dans les infrastructures de tri et valorisation
3. Une coordination renforcée entre ministères (Environnement, Industrie, Formation professionnelle)
4. L'appropriation par tous les acteurs (entreprises, collectivités, citoyens) sera déterminante pour transformer ce cadre politique en résultats concrets : réduction effective des déchets, développement d'éco-industries et amélioration du cadre de vie. Surtout la nécessité de développement de nouveaux business models basé sur l'éco-conception, la réutilisation, l'économie de la fonctionnalité ou la consommation collaborative (63)

## **II.4 Typologie du verre : Diversité, Défis et Enjeux pour l'Économie Circulaire**

### **II .4.1 Introduction générale:**

À première vue, le verre est souvent considéré comme un matériau homogène, transparent et universel. Pourtant, derrière cette apparente simplicité se cache une grande variété de compositions chimiques, de propriétés physiques et d'usages.(4)

Cette diversité technologique est une richesse pour l'industrie, mais elle représente également un défi majeur pour le recyclage et la valorisation des déchets, surtout dans un contexte d'économie circulaire.

Comprendre la typologie du verre est donc essentiel pour développer des filières de recyclage efficaces, économiquement viables et écologiquement durables. (17)

En Algérie, où la filière verrière possède pourtant une longue tradition, ces particularités techniques sont souvent méconnues, limitant le développement d'une véritable industrie du recyclage (10). Pourtant, les enjeux sont multiples : réduction des coûts de production pour les verreries locales, limitation des impacts environnementaux, et création d'emplois dans la collecte et la transformation . Cette connaissance technique constitue le préalable indispensable à toute stratégie ambitieuse de valorisation des déchets verriers.(37)

## II.4.2 Typologie chimique : des compositions variées aux propriétés différenciées

### II.4.1.1 Verre sodocalcique : l'universel recyclable

#### Définition :

Le verre sodocalcique est constitué principalement de silice (70 à 75 %), de carbonate de sodium (soude, 12 à 15 %) et de carbonate de calcium (chaux, 10 à 12%). C'est le plus courant (90% du marché )

#### Applications principales :

**Emballage alimentaire :** Bouteilles de boisson (eau, bière, jus de fruits) .

#### Avantages

- Très bonne recyclabilité : peut être recyclé indéfiniment sans perte de qualité. (24)
- Faible coût de production.
- Fusion à plus basse température (1 500°C vs 2 000°C pour la silice pure) → Économie d'énergie (31)

#### Limites

- Fragilité thermique : se casse sous des chocs thermiques rapides.
  - **Défis spécifiques en Algérie :**
    - ✓ Manque de centres de tri performants → Mélange avec d'autres types de verre (ex : verre borosilicaté)
    - ✓ Absence de consigne → Gaspillage malgré l'existence d'infrastructures (ex : verrerie d'Oran) (10)
    - ✓ Problème des impuretés (capsules, étiquettes, céramique) → Nécessite un lavage préalable.

- **Pistes d'amélioration :**

- ✓ Stimuler la collecte sélective via des partenariats communes-entreprises (ex : conteneurs dédiés) (9)
- ✓ Relancer la consigne (comme pour les anciennes quillas ) pour les bouteilles de boissons(37)
- ✓ Investir dans des unités de lavage et broyage locales pour produire du calcin de qualité

- **Impact sur la filière :**

Le verre sodocalcique constitue le pilier de la collecte sélective actuelle, car il est le plus compatible avec les infrastructures de recyclage existantes.



**Figure II. 1: Le verre sodocalcique**

#### **II.4.1.1 Verre borosilicaté: la résistance au service de la science**

Il contient, en plus de la silice, une part importante de bore (environ 10-15%).

##### **Applications principales :**

- Excellente résistance aux chocs thermiques et chimiques.
- Inertie chimique (résiste aux acides et bases concentrés)
- Faible coefficient de dilatation (moins sensible aux chocs thermiques)

##### **Limites**

- Difficilement recyclable avec le verre classique.
- Nécessite une séparation spécifique.

##### **Impact sur la filière**

La contamination des flux de recyclage par du verre borosilicaté peut entraîner des défauts dans les nouveaux produits verriers (fragilité, bullage). Peut dégrader la qualité du calcin s'il est mal trié (24).

#### **II.4.1 Verre au plomb (cristal) : brillance et problèmes sanitaires**

Contient de 24 % à 30 % d'oxyde de plomb. Cette particularité lui confère :

- Un indice de réfraction élevé (brillance exceptionnelle)
- Une sonorité particulière (résonance cristalline)
- Une malléabilité accrue pour le travail artisanal

##### **Applications principales**

- Verrerie de luxe.
- Objets d'art, vaisselle fine.
- Optiques anciennes.

##### **Avantages**

- Haute réfraction de la lumière, éclat particulier.
- Facilité de taille et de gravure : idéal pour les pièces artistiques
- Prestige culturel : savoir-faire artisanal reconnu mondialement

##### **Limites**

- Toxique pour l'environnement et pour l'homme.
  - Non acceptable dans les chaînes alimentaires
- Contraintes de recyclage :
- ✓ Incompatibilité totale avec les filières classiques (contamine le calcin)
  - ✓ Obligation de filière spécifique (très rare en Afrique du Nord) - Coût élevé de la dépollution

##### **Impact sur la filière**

- Le cristal ne doit jamais être mélangé avec le verre classique destiné à l'emballage alimentaire.

#### **II.4.1.4 Verres spéciaux**

Cette catégorie rassemble des verres aux compositions très variées spécifiques obtenues par

- Additifs chimiques (oxydes métalliques, terres rares)
- Traitements thermomécaniques (trempe, laminage)
- Assemblages composites (couches multiples, intégration de polymères)

##### **Typologie et application**

- Verres trempés (sécurité automobile, douches).
- Verres feuilletés (pare-brise avec film plastique).
- Verres optiques (fibres optiques, lunettes).

- Vitrocéramique (plaques de cuisson).

### **Enjeux pour la filière algérienne**

#### **Défis techniques**

- Absence d'infrastructures de tri spécialisé
- Coût prohibitif des technologies de séparation (tri optique, laser) (49)
- Manque de débouchés locaux pour les matières secondaires

#### **Risques environnementaux**

- Stockage en décharge des composites verre-plastique
- Perte de ressources stratégiques (terres rares dans les fibres optiques)

#### **Impact sur la filière**

- Recyclage extrêmement complexe.
- Souvent non valorisé dans les circuits traditionnels, nécessitant des technologies de tri avancées.

**Donnée clé:** Un pare-brise automobile contient jusqu'à 25% de verre recyclé en Europe, mais ce taux est quasi nul en Algérie faute de filière organisée (20)

### **II.4.2. Typologie fonctionnelle : des usages spécifiques pour des défis ciblés**

#### **II.4.2.1 Verre creux**

##### **Caractéristiques**

Formes creuses destinées à contenir des liquides ou des solides.

##### **Exemples**

Bouteilles d'eau, bocaux de confiture, flacons de parfum.

##### **Potentiel de recyclage**

- Très élevé.
- Matériau standard des collectes sélectives (conteneurs verts).

#### **II.3.2.2. Verre plat**

##### **Caractéristiques**

Feuilles planes et minces.

##### **Exemples**

- Vitres de fenêtres.
- Miroirs.
- Vitrages de façade

**Problèmes**

- Additifs (films plastiques, métaux pour la réflexion lumineuse) compliquent le recyclage.
- Fusions à températures différentes.

**II.4.2.3 Verres techniques et électroniques :****Caractéristiques :**

Forte technicité, multifonctionnalité.

**Exemples**

- Écrans tactiles (smartphones, téléviseurs).
- Fibres optiques.
- Panneaux solaires.
- Coût très élevé du recyclage spécifique. (48)
- Besoin de séparation fine des couches (verre, polymères, métaux rares).

**II.5 Pratiques du recyclage face à la diversité des verres****Le risque de contamination croisée (24)**

- Quand différents types de verre sont mélangés :
- Le calcin est de mauvaise qualité.
- La fusion produit des bulles d'air, des défauts structurels ou des problèmes de teinte.
- L'efficacité énergétique de la fusion diminue.

**La difficulté du tri manuel:**

- Pour un opérateur, il est quasi impossible de distinguer un verre sodocalcique d'un verre borosilicaté sans instrument.
- Les verres techniques sont souvent intégrés à des assemblages complexes difficiles à démanteler.

**La nécessité de technologies avancées:**

- Tri optique par spectroscopie infra-rouge.
- Analyse laser pour détecter les verres spéciaux.
- Systèmes robotisés pour la séparation.

**Exemples**

En Allemagne, l'utilisation de machines de tri optique permet de garantir une pureté de calcin supérieure à 98 % pour le verre d'emballage. (21)

## II.5 Solutions pour une meilleure gestion de la diversité du verre:

### 1.Éducatons et sensibilisation:

- Informer les citoyens sur les bons gestes de tri (seuls les bouteilles, bocaux alimentaires sont recyclables).
- Apposer des pictogrammes normalisés sur les produits verriers. (9)

### 2.Développement de filières spécialisées:

- Collectes dédiées pour le verre plat (fenêtres usagées).
- Filiales pour les DEEE (37) (Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques) intégrant le traitement du verre électronique.

### 3.Innovations en écoconception:

- Concevoir des verres plus faciles à recycler (ex : éviter les couches de métaux sur les vitrages).
- Développer des produits monomatériaux. (7)

### 4.Valorisation alternative:

- Utilisation de certains verres spéciaux dans des matériaux de construction (granulats pour le béton). (15)

## II.6 Typologie du verre et opportunités pour la valorisation en laine de verre:

Dans le contexte spécifique d'un projet de production de laine de verre en Algérie :

- Seul le verre sodocalcique est adapté pour la production d'un calcin de qualité destiné à la fibre. (33)
- Les verres plats (vitres cassées) pourraient également être valorisés après tri et retrait des films.
- L'intégration de verres spéciaux est à proscrire, sauf après traitement complexe.

Un tri sélectif rigoureux permettrait donc de transformer une partie significative des déchets de verre aujourd'hui enfouis en ressource industrielle précieuse, contribuant à réduire les importations, créer de l'emploi local, et diminuer l'empreinte carbone du secteur du bâtiment.

La diversité des types de verre constitue à la fois une richesse technologique et un défi écologique.

Pour réussir la transition vers une économie circulaire du verre, il est impératif de :

- Connaître cette typologie en détail.
- Structurer des filières différenciées adaptées aux propriétés de chaque type de verre.
- Investir dans des technologies de tri avancées et développer une culture du recyclage sélectif.

L'Algérie, confrontée à une urbanisation rapide et à des défis environnementaux majeurs, a tout à gagner à intégrer dès maintenant ces approches pour faire du verre un vecteur stratégique de développement durable.

Pour résumer les enjeux liés à la diversité du verre, le tableau ci-dessous présente une synthèse comparative de leurs caractéristiques principales, leurs usages et leurs implications pour le recyclage

**Tableau I. 1 : synthèse comparative des caractéristiques principales du verre**

<b>Type de verre</b>	<b>Composition principale</b>	<b>Usages Principaux</b>	<b>Recyclabilité</b>	<b>Problèmes et impacts</b>
<b>Verres sodocalciques</b>	Silice, carbonate de sodium chaux	Bouteilles, bocaux , vitrages simples	Très bonne (100% théorique)	Aucun si trié correctement
<b>Verres Borocilicatés</b>	Silice, bore	Verrerie de laboratoire, Ustensiles de cuisine	Faible (nécessite tri spécifique)	Contamination possible du calcin classique
<b>Verres au plomb (cristal)</b>	Silice ,oxyde de plomb	Vaisselle de luxe, objets décoratifs	Très faible (non recyclable dans filière classique)	Risque de toxicité environnementale
<b>Verres plat</b>	Silice+additifs divers (oxydes métalliques)	Fenêtre, miroirs, vitrages architecturaux	Moyenne(tri et traitement spécifiques nécessaires)	Présence de films plastiques, fusion différente
<b>Verres Techniques</b>	Silice+ additifs spéciaux (métaux rares, polymères)	Écrans électroniques, Fibres optiques	Très faible (Procédés complexes)	Coût élevé, Tri difficile
<b>Vitrocéramiques</b>	Silice, Alumine, Lithine	Plaques de cuisson, Vaisselle spéciale	Non recyclable dans filières Standard	Haute résistance Thermique, incompatible au Recyclage classique

### I.7 Techniques modernes de tri et recyclage du verre :

- **Le tri** : une condition essentielle

Le tri constitue la première étape incontournable du recyclage du verre. Il vise à :

Éliminer les impuretés (métaux, plastiques, céramiques, etc.)

- Séparer les couleurs (blanc, vert, brun) si nécessaire
- Identifier et écarter les verres non compatibles (vitrocéramique, borosilicate)
- Dans les pays disposant de systèmes avancés (Allemagne, Suède), le tri est :
- Effectué à la source par les citoyens
- Renforcé par des technologies optiques en centre de tri (capteurs infrarouges, tri par densité)

### Le recyclage en boucle fermée

Le recyclage en boucle fermée désigne un processus par lequel le verre usagé est recyclé pour produire le même type de produit d'origine, sans perte majeure de qualité. Cette méthode est couramment utilisée dans l'industrie verrière, notamment pour fabriquer de nouvelles bouteilles à partir d'anciennes. Elle repose sur un cycle de traitement efficace et contrôlé, composé des étapes suivantes :

- **Broyage du verre en calcin** Le verre collecté est d'abord broyé en petits morceaux appelés calcin. Cette étape facilite la fusion du matériau et réduit la consommation d'énergie nécessaire à sa transformation.
- **Nettoyage et dépollution** Le calcin est ensuite nettoyé pour éliminer toutes les impuretés (papier, métaux, bouchons...). Cette étape est essentielle pour garantir la qualité du verre recyclé.
- **Tri granulométrique** Une fois propre, le calcin est trié selon la taille des grains pour répondre aux exigences des fours industriels. Le tri granulométrique permet une fusion plus homogène et un produit final de meilleure qualité.
- **Fusion dans des fours** Le calcin est fondu à des températures pouvant atteindre 1400 °C. Il est ensuite moulé ou soufflé pour redonner forme à de nouveaux emballages en verre, bouclant ainsi le cycle.

**Avantages**

Recyclable à l'infini permet la réduction de 30 % des émissions de CO2 par rapport à la production à partir de matières vierges (ADEME)

**Limites**

- Coûts logistiques
- Contaminations par verres non conformes

**Études de cas internationales****➤ Allemagne**

- Taux de recyclage > 80 %
- Système de consigne efficace - Centres de tri automatisés (19)

**➤ France**

- Taux de recyclage : 76 %
- Incitations à l'écoconception - Collecte en conteneurs spécifiques (12)

**➤ Avantage pour l'Algérie**

- Renforcer le cadre juridique
- Développer l'infrastructure technique
- Favoriser la participation citoyenne
- Réduction de l'empreinte carbone du bâtiment (45)
- Réduction des importations

**Volet social : inclusion du secteur informel****Le rôle du secteur informel**

- Récupérateurs de verre dans les villes
- Revente à des ateliers de transformation

**Intégration et formalisation (42)**

- Création de coopératives de tri
- Programmes de formation à la gestion des déchets

- Protection sociale et statuts juridiques

**Bénéfices attendus : (45)**

- Réduction de la pauvreté
- Amélioration de la qualité du recyclage
- Emplois durables

**II.8. Alternatives écologiques et innovations verrières :****Matériaux biosourcés:**

- Polymères biodégradables (amidon, algues)  
Plastiques recyclés PET pour usages non alimentaires

**Innovations sur le verre:**

- Verres allégés (moins de matière)
- Verres à basse température de fusion
  - Verres 100 % recyclés

**Analyse environnementale :**

- Importance de l'analyse de cycle de vie:  
Éviter les transferts d'impact (ex. : pollution au lieu d'économie de matière)

**Lien avec les politiques publiques algériennes****II.9. Cadre politique et juridique algérien**

Le cadre législatif algérien en matière de gestion des déchets repose principalement sur la loi n°01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Cette loi a été modifiée et renforcée par la loi n°25-02 de 2025, qui introduit des concepts clés en lien avec le développement durable et l'économie circulaire.

Les principaux apports de cette actualisation sont :

- L'intégration du principe d'économie circulaire, encourageant la réduction, la réutilisation et le recyclage des déchets.
- La promotion de l'éco-conception, visant à concevoir des produits moins polluants dès leur fabrication.
- L'instauration de la responsabilité élargie du producteur (REP), qui oblige les producteurs à prendre en charge la gestion de leurs déchets, de la conception au traitement en fin de vie.

**Dispositifs d'appui : (45)**

- Plan national intégré de gestion des déchets
- Agence Nationale des Déchets (AND)
- Coopération internationale (PNUD, UE)

**Perspectives :**

- Zones pilotes pour le tri et la collecte
- Soutien aux startups de valorisation du verre
- Politiques fiscales incitatives (Ministère de l'industrie2025)

**Conclusion**

L'économie circulaire apparaît comme une opportunité pour repenser la gestion des déchets en verre, en la rendant plus durable et efficace. La connaissance fine de la typologie du verre est un levier pour améliorer le recyclage, optimiser la production de laine de verre et inscrire cette démarche dans une logique de développement durable en Algérie.

Dans le prochain chapitre, nous nous discuter du volet scientifique

# **Chapitre III**

## **Le volet scientifique**

### III.1 Introduction

Ce chapitre aborde la dimension technique du projet en explorant les caractéristiques de la laine de verre, les innovations dans sa fabrication, et son intérêt en tant que matériau d'isolation thermique et acoustique. Il s'intéresse également aux liants sans formaldéhyde et à leur impact environnemental et sanitaire.

### III.2. La partie scientifique:

#### III.2.1 Qu'est-ce que la laine de verre ?:

La laine de verre est un isolant thermique et acoustique composé de fibres de verre liées entre elles par un liant. Ce réseau piège des bulles d'air, conférant au produit ses excellentes propriétés isolantes . (35)



Figure III. 1: la laine de verre

### III. 3 Contexte sanitaire et innovations sur les liants:

#### III.3.1 Risques liés au formaldéhyde :

Jusqu'à récemment, les liants utilisés dans la laine de verre contenaient essentiellement des résines phénol-formaldéhyde, performantes mais libérant de petites quantités de formaldéhyde, un composé classé cancérigène par plusieurs agences de santé(29) . Cela pose des risques pour la qualité de l'air intérieur, surtout dans les bâtiments bien isolés. La pression réglementaire (normes COV, certifications air intérieur) a donc poussé l'industrie à développer des alternatives plus sûres.(35)

#### III.3.2 Liants sans formaldéhyde

##### III.3.2.1 Technologie ECOSE®: liant bio-sourcé, sans formaldéhyde

Knauf Insulation a mis au point la technologie ECOSE®, un liant 100 % sans formaldéhyde, phénols ni acryliques, conçu à partir de matières végétales renouvelables(35) .

Ce procédé, breveté depuis 2009, a été déployé dans toutes leurs usines. Il réduit de 70 % l'énergie nécessaire à la fabrication du liant par rapport à la solution classique (35) .

Développé après 5 ans de recherche (35), ce liant remplace efficacement les composés pétrochimiques traditionnels . Il est certifié « LBC Red List Free » (sans substances nocives) et a reçu la certification Indoor Air Comfort Gold d'Euofins . (35)

### III.3.2.2 Résines aqueuses (polyacryliques, Acrodur) : (43)

La substitution des résines phénol-formaldéhyde par des liants sans formaldéhyde représente une avancée majeure. La technologie ECOSE® de Knauf Insulation illustre ce progrès : ce liant bio-sourcé, breveté, repose sur des matières premières végétales, sans aucune présence de formaldéhyde, de phénols ou d'acryliques. Résultat d'un processus de RCD de cinq ans, il permet une réduction de 70 % de la consommation énergétique par rapport aux liants traditionnels, tout en garantissant une pureté de l'air intérieur (certification Euofins Indoor Air Comfort Gold) et une texture agréable à la manipulation .



**Figure III. 2:**la laine de verre sans formaldéhyde

D'autres approches innovantes s'appuient sur des résines aqueuses à base d'amidon et de copolymères acryliques. Owens Corning a introduit dès 2018, avec Thermafiber® Safing FF, un système formaldéhyde-free certifié GREENGUARD Gold pour les applications de protection incendie et isolation. Cette gamme exploite des liants aqueux à base polyacrylique, associés à des fibres minérales à 70 % recyclées, respectant les exigences de qualité d'air et de performance mécanique .

Ces solutions, qu'elles soient issues de liants bio-sourcés ou de formulations aqueuses avancées, permettent d'éliminer les risques sanitaires associés au formaldéhyde sans compromettre la solidité, la durabilité ou la performance thermique et acoustique du produit.

### III.4 Processus industriel de production : intégration des nouveaux liants:

#### III.4.1. Étapes industrielles classiques

La fabrication de la laine de verre sans formaldéhyde suit un schéma classique enrichi de contrôles spécifiques. Après la fusion du calcin et des matières premières à ~1400 °C, les fibres naissent par centrifugation.

#### III.4.2 Intégration des nouveaux liants :

Le liant, qu'il soit ECOSE® ou polyacrylique, est pulvérisé uniformément sur les fibres encore chaudes. La cuisson se fait à environ 250 °C, suffisamment pour durcir le liant sans générer d'émissions nocives.

Le résultat est un matelas homogène, doux, agréable à manipuler et inodore, avec une texture naturellement brune (ECOSE®) ou conforme aux standards industriels<sup>(35)</sup> (polyacrylique) .

Les procédés industriels mis en œuvre garantissent une répétabilité de qualité, avec des contrôles sur la densité, la cohésion mécanique et la pureté des fibres<sup>(35)(43)</sup>, sans étape supplémentaire ni substitution complexe.

### III.5 Performances techniques, certifications et avantages:

Ces liants innovants offrent des performances remarquables et des bénéfices multiples :

- **Qualité de l'air intérieur** : la suppression totale des émissions de formaldéhyde permet d'obtenir des certifications comme Eurofins Indoor Air Comfort Gold ou GREENGUARD Gold<sup>(16)</sup>, garantissant l'éligibilité à des labels de construction saine (BREEAM, LEED, WELL, LBC) . <sup>(35)(43)</sup>
- **Économie d'énergie et cycle de vie** : avec ECOSE®, la consommation d'énergie grise est réduite de 70 %<sup>(16)</sup>, et sur un cycle de vie long de 50 ans, la laine de verre permet jusqu'à 500 fois plus d'économies énergétiques qu'elle n'en génère. <sup>(35)</sup>
  - **Confort et ergonomie** : les produits sont doux au toucher, génèrent peu de poussière lors de la pose, et sont mieux tolérés par les installateurs, ce que confirme la satisfaction de plus de 90 % des poseurs interrogés. <sup>(35)</sup>
  - **Performance technique** : isolation thermique équivalente, absorption acoustique élevée (classe A), comportement incombustible (A1), ainsi qu'une durabilité mécanique maintenue au fil du temps <sup>(35)(43)</sup>. Ces éléments font des technologies sans

formaldéhyde une solution parfaitement adaptée aux normes modernes de construction, apportant sécurité sanitaire, efficacité énergétique et confort d'utilisation.

### III.6 Comparaison des différents types de liants

On trouve six types de liants, Certains encore largement utilisés, d'autres en cours de développement classés selon leur composition chimique, leurs conditions de durcissement, leurs certifications environnementales, ainsi que leurs avantages et inconvénients techniques. L'objectif est de démontrer quelle solution est la plus pertinente pour la production de laine de verre durable, surtout dans un contexte comme celui de l'Algérie, où la sécurité sanitaire, la performance environnementale et la faisabilité industrielle sont essentielles.

#### 1. Liant classique :Phénol-formaldéhyde :

Les liants traditionnels utilisés dans la fabrication de laine de verre sont principalement composés de **dérivés pétrochimiques**, notamment à base de **formaldéhyde** et de **phénol**. Le **procédé de fabrication** nécessite une **cuisson à haute température**, généralement autour de **250 °C**, afin de **provoquer la polymérisation** du liant et assurer la stabilité mécanique du produit final.

##### Avantages

- Très bonne résistance mécanique.
- Coût faible, maîtrisé depuis des décennies.

##### Inconvénients :

- Libère du formaldéhyde, un composé cancérigène (source : IARC, 2022).
- Interdit dans certaines certifications HQE, BREEAM ou LEED.
- Négatif pour la qualité de l'air intérieur.

Ce liant est de moins en moins utilisé dans les pays développés, mais encore courant dans les pays émergents.

#### 2. ECOSE® Technology (Knauf Insulation)

Les liants représentent une alternative plus respectueuse de l'environnement. Ils sont formulés à base de sucres transformés d'origine végétale, sans formaldéhyde, ce qui élimine les risques sanitaires associés aux liants traditionnels. Ce procédé de durcissement s'effectue à une température de 200 à 250 °C, ce qui les rend compatibles avec les lignes de production industrielles existantes.

##### Certifications

- LBC Red List Free

- Indoor Air Comfort Gold (Eurofins)
- EPD vérifiées

**Avantages**

- 100 % sans formaldéhyde, ni phénols, ni solvants.
- Doux au toucher, inodore, sans poussières irritantes.
- Réduction de 70 % de l'énergie de fabrication du liant.

**Inconvénients :**

- Coût légèrement supérieur à court terme.
- Apparence naturellement brune (pas toujours appréciée commercialement).

C'est aujourd'hui la référence écologique du marché, adoptée en Europe, Amérique du Nord et certains pays du Maghreb

**3. Résines acryliques (type Acrodur – BASF)**

Ces liants sont composés de **résines aqueuses formulées à partir de polymères acryliques**.

Ils se distinguent par leur **bonne stabilité thermique** et leur **adhérence efficace** aux fibres.

Le **durcissement** s'effectue par la chaleur, généralement entre **200 et 250 °C**, ce qui les rend compatibles avec les procédés industriels classiques

**Certifications** ( GREENGUARD Gold, conforme REACH).

**Avantages**

- Sans formaldéhyde.
- Bonnes performances mécaniques et thermiques.
- Déjà utilisé dans les matériaux composites et non-tissés.

**Inconvénients :**

- Non biosourcé.
- Formulation chimique plus complexe.
- Nécessite des additifs.

Bonne alternative intermédiaire, surtout pour des marchés souhaitant passer au sans-formaldéhyde sans changer l'apparence des produits.

#### 4. Liants amidon-acrylique (brevets WIPO)

Ce type de liant est formulé à partir d'un mélange d'amidons modifiés, issus de ressources biosourcées, et de copolymères acryliques. Il allie les avantages des composants naturels et synthétiques pour offrir une bonne performance de liaison.

Le durcissement s'effectue à environ 230 °C, ce qui le rend compatible avec les procédés thermiques standards.

##### Avantages

- Partiellement biosourcé.
- Performance mécanique proche du conventionnel.

##### Inconvénients :

- Encore en phase de R&D ou pré-industrialisation.
- Coût et approvisionnement des matières non standardisés.

Solution prometteuse à suivre pour l'avenir, notamment dans des pays souhaitant valoriser des matières agricoles locales (ex : féculé de pomme de terre, manioc).

#### 5. Liants polyester ou époxy

**Composition** : résines thermodurcissables à base de polyesters insaturés ou d'époxydes.

**Procédé** : durcissement plus complexe, souvent avec catalyseur.

##### Avantages

- Très haute performance mécanique.
- Résistance à l'eau, aux UV, aux produits chimiques.

##### Inconvénients :

- Coût très élevé.
- Non biosourcé.
- Risques de toxicité liés aux solvants ou durcisseurs (selon formulation).

Utilisé pour des produits hautement techniques, mais peu adapté à un usage massif en isolation du bâtiment résidentiel.

#### 6. Liants issus de la réaction de Maillard (expérimental)

Ces liants innovants sont basés sur la réaction de Maillard, bien connue en chimie alimentaire.

Ils sont obtenus par la combinaison de sucres et d'acides aminés, suivie d'une polymérisation thermique douce.

Ce procédé expérimental présente l'avantage d'un durcissement à basse température, avec un potentiel intéressant pour des applications écologiques et non toxiques

**Avantages**

- 100 % biosourcé.
- Principe chimique simple et naturel.
- Potentiel coût bas.

**Inconvénients**

- Peu d'applications industrielles actuelles.
- R&D en cours pour améliorer la durabilité.

Très prometteur à long terme, notamment dans le contexte de bio-industrialisation locale (valorisation agricole + faible impact environnemental).

**Légende et commentaires :**

- Durcissement : température à laquelle le liant est stabilisé dans le four industriel.
- Certifications :
- Eurofins IAC Gold : très faible émission de COV, compatible avec les bâtiments sensibles.
- GREENGUARD Gold : certifie l'innocuité pour écoles, hôpitaux, logements.
- LBC Red List Free : label international du Living Building Challenge (pas de substances toxiques).
- Bio-sourcé : matériau d'origine végétale ou renouvelable.
- COV : Composés Organiques Volatils (dont le formaldéhyde est un exemple réglementé).

**Cette comparaison permet de constater que :**

- Le liant ECOSE® représente actuellement le meilleur compromis entre performance industrielle, innocuité sanitaire, conformité environnementale et faisabilité.
- Les résines acryliques restent une bonne alternative, surtout dans les marchés en transition.
- Les solutions biosourcées innovantes (amidon, Maillard) sont en voie de développement et constituent une opportunité stratégique pour des pays comme l'Algérie désireux de se positionner sur des modèles de production circulaire, durable et local.

### **III.7 Développement approfondi : L'analyse du cycle de vie (ACV) appliquée à la laine de verre :**

#### **III.7.1 Définition et cadre méthodologique de l'ACV :**

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est un outil d'évaluation environnementale normalisé par les normes internationales ISO 14040 et ISO 14044. Elle permet de mesurer de façon globale et multicritère les impacts environnementaux d'un produit, d'un procédé ou d'un service tout au long de son existence — de l'extraction des matières premières jusqu'à sa fin de vie (approche cradle to grave) ou jusqu'à sa sortie d'usine (cradle to gate).(32)(4)

Elle repose sur quatre étapes :

1. Définition des objectifs et du champ de l'étude
2. Analyse de l'inventaire des flux de matières et d'énergie
3. Évaluation des impacts environnementaux
4. Interprétation des résultats

L'ACV est aujourd'hui obligatoire dans les fiches de déclaration environnementale (FDES) pour les matériaux de construction dans l'Union européenne et s'inscrit dans la logique de l'économie circulaire et de l'éco-conception (32)(4) , En Algérie « **Institut Algérien de Normalisation (IANOR)** » propose une « Formation Qualifiante : L'analyse de cycle de vie » (IANOR, 2022)

#### **qualifiante-l'analyse-de-cycle-de-vie.**

Cette formation couvre les principes, la mise en œuvre et l'exploitation des résultats de l'ACV, conformément aux normes ISO 14040 et ISO 14044, et atteste du début d'un transfert de compétences vers l'évaluation environnementale en Algérie.

#### **III.7.2 ACV de la laine de verre : impacts mesurés et bénéfiques**

**III.7.2.1 Impacts par phase du cycle de vie:** Selon plusieurs études industrielles (Knauf, Isover, Owens Corning) et universitaires (Egypte, Allemagne), la répartition des impacts environnementaux d'un isolant en laine de verre est la suivante :

- Production (fusion du verre, liant) : 60 à 70 % des émissions de GES (gaz à effet de serre)
- Transport et emballage : 5 à 15 %
- Pose et utilisation : < 5 % (produit passif)
- Fin de vie (mise en décharge ou recyclage) : 10 à 15 %
- Ces chiffres varient selon :

- Le taux de verre recyclé utilisé dans le mélange de base (calcin),
- Le type de liant utilisé (liant bio-sourcé = moins d'énergie grise),
  - Le mode de transport (local/national/international).
  -

**Source : (Knauf Insulation, Environmental Product Déclaration, 2021)**

### III.7.2.2 Données chiffrées : émissions de CO<sub>2</sub> et énergie grise :

Une étude comparative (41) a analysé l'impact de quatre isolants (laine de verre, laine de roche, EPS, XPS) sur leur phase de production (cradle-to-gate) pour 1 m<sup>2</sup> d'isolant avec une résistance thermique de 2 m<sup>2</sup>K/W : Résultat : la laine de verre émet jusqu'à 12 fois moins de CO<sub>2</sub> que le polystyrène extrudé (XPS) et consomme 8 fois moins d'énergie primaire. (41)

**Tableau III. 1** : étude comparative entre quatre isolants sur leur production

Matériaux isolants	Emissions co2 (KgCO2eq /m <sup>2</sup> )	Energie primaire (MJ /m <sup>2</sup> )
Laine de verre	0.33	3.9
Laine de roche	0.55	5.7
Polystyrène expansé	3.96	27.3
Polystyrène extrudé	4.35	32.4

### III.7.2.3 Phase d'usage : économies d'énergie sur 50 ans

Lorsqu'elle est installée dans un bâtiment, la laine de verre permet une réduction significative des besoins en chauffage. Knauf indique que :

La quantité d'énergie économisée durant 50 ans grâce à l'isolation est environ 500 fois supérieure à celle utilisée pour produire l'isolant." (36)

Cela se traduit par :

- Moins de CO<sub>2</sub> émis par les systèmes de chauffage (chaudières, climatiseurs).
- Une rentabilité environnementale dès les 2 premières années d'usage. (36)

### comparaison avec d'autres isolants du marché

Le meilleur compromis performance/coût/impact reste la laine de verre, surtout lorsqu'elle est produite avec du verre recyclé localement et sans formaldéhyde. (41)(36)

Tableau III. 2: comparaison de la laine de verre avec d'autres isolants

Critères	Laine de verre	ESP/XPS	Laine de roche	Liège expansé
Recyclabilité	Élevée	Faible	Moyenne	Bonne
Emission CO2	Basse	Très élevée	Moyenne	Très basse
Durée de vie	>50 ans	30-50 ans	>50 ans	>50 ans
Formaldéhyde	Aucune	Possible	Faible	Aucune
Résistance au feu	Excellente (A1)	Faible (B2 /B3)	Très faible (Procédés complexes)	Excellente

#### et opportunités pour l'Algérie : (10)

En Algérie :

- Les déchets de verre sont encore très peu valorisés (taux de recyclage < 2 %).
- L'essentiel des isolants est importé.
- Le pays est confronté à un double enjeu : réduire les déchets et améliorer la performance énergétique des bâtiments (résidentiel, services, industrie).

- Produire de la laine de verre localement, à partir de déchets de verre, et selon un processus propre sans formaldéhyde, permettrait de :
- Réduire les importations d'isolants.
- Créer une filière circulaire locale à fort potentiel d'emploi.
- Répondre aux normes environnementales internationales. A ce propos M. Aissaoui a mis en avant l'intérêt de créer un comité technique algérien dédié à la mise en place d'une norme algérienne de l'économie circulaire.

« Il est nécessaire de promulguer une loi cadre sur l'économie circulaire répondant au programme du gouvernement en matière de transition énergétique, économique et écologique pour accompagner la stratégie nationale de développement durable à l'horizon 2030 » (62)

L'ACV est un outil indispensable pour justifier scientifiquement la pertinence écologique de ton projet (60). En démontrant que la laine de verre sans formaldéhyde est l'isolant qui combine le meilleur profil carbone, la meilleure durabilité, et une bonne intégration dans l'économie circulaire, tu renforces la crédibilité et la solidité technique de ton mémoire.

### **Conclusion**

La laine de verre, en tant que solution d'isolation écologique, s'intègre parfaitement dans une stratégie de transition énergétique et d'économie circulaire. L'innovation liée aux liants sans formaldéhyde renforce l'intérêt environnemental du projet. Le recyclage du verre pour produire cette laine contribue à la réduction des déchets et à la valorisation des ressources locales, faisant de cette démarche une réponse concrète aux enjeux nationaux en matière de durabilité.

# **Chapitre IV Application**

### IV.1 Introduction / Présentation

**SHN Verre** est une startup algérienne engagée dans l'économie circulaire, spécialisée dans le **recyclage du verre usagé** pour produire de la **laine de verre écologique** destinée à l'isolation thermique et acoustique.

Notre mission est claire : **transformer un déchet local en une ressource durable**, tout en **connectant les citoyens, entreprises et acteurs du bâtiment** autour d'un projet à fort impact environnemental et social.

À travers notre plateforme, **nous facilitons la mise en relation entre les donneurs de verre (particuliers ou entreprises)** et les **acheteurs de laine de verre écologique**, contribuant ainsi à bâtir une **Algérie plus propre, plus responsable et plus résiliente**. Accessible à tous, notre service digital vise à **sensibiliser, simplifier l'action écologique** et offrir une solution locale aux enjeux globaux du développement durable.

#### . Explication :

- C'est une **accroche** qui résume le projet.
- Elle insiste sur le **côté écologique, algérien et connecteur de communauté**.
- Vocabulaire accessible, ton sérieux, mission claire.

**But** : Donner immédiatement au visiteur une idée précise de l'utilité du site.

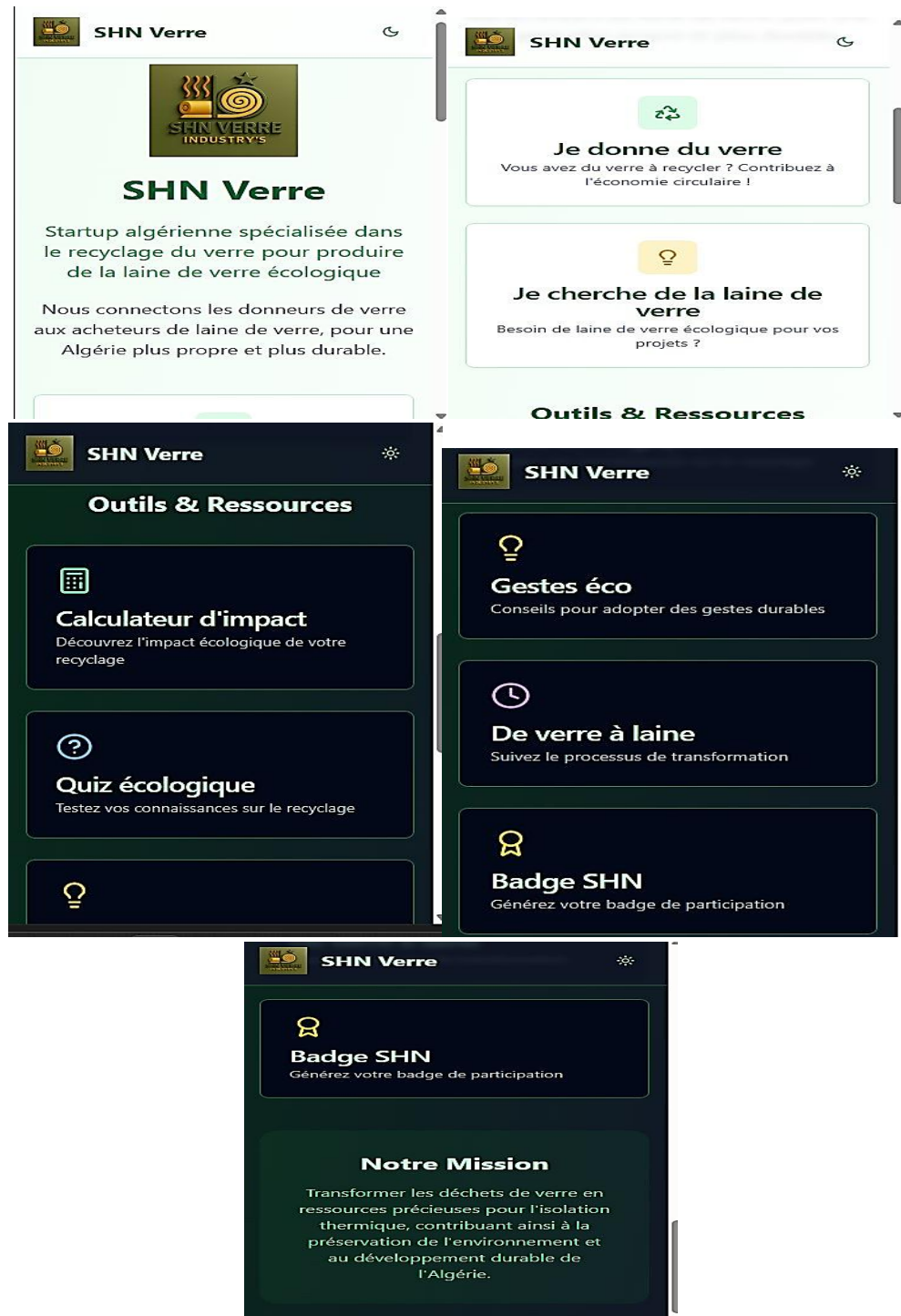


Figure IV. 1: Aperçu des données extraites de l'application de gestion du projet

1. En-tête / Header

- **Logo** : "SHN Verre Industry's Logo"
- **Nom du projet** : "SHN Verre"

**Objectif** : Affirmer l'identité visuelle de la startup avec un logo unique et un nom clair, facilement identifiable.

### 3. Choix d'action : Donner ou Chercher

#### "Je donne du verre"

"Vous avez du verre à recycler ? Contribuez à l'économie circulaire !"

The image displays two screenshots of the SHN Verre mobile application. The left screenshot shows the 'Je donne du verre' (I give glass) form. It features a green recycling icon and the title 'Je donne du verre'. Below the title, it says 'Remplissez ce formulaire pour proposer votre verre au recyclage'. The form includes a dropdown menu for 'Type de verre \*' with the placeholder 'Sélectionnez le type de verre', a text input field for 'Quantité estimée (kg) \*' with the example 'Ex: 50', a dropdown menu for 'Ville/Wilaya \*' with the placeholder 'Sélectionnez votre ville', and a text area for 'Message optionnel'. The right screenshot shows a similar form but with a green button at the bottom labeled 'Envoyer ma demande'.

Figure IV. 2: formulaire à remplir pour les donateurs de verre

#### "Je cherche de la laine de verre"

"Besoin de laine de verre écologique pour vos projets ?"

The image shows a screenshot of the SHN Verre mobile application. It features a lightbulb icon and the title 'Je cherche de la laine de verre'. Below the title, it says 'Remplissez ce formulaire pour trouver la laine de verre écologique adaptée à vos besoins'. The form includes a text input field for 'Quantité désirée (m<sup>2</sup>) \*' with the example 'Ex: 100' and the instruction 'Indiquez la surface à isoler en mètres carrés'. Below this is a dropdown menu for 'Ville/Wilaya \*' with the placeholder 'Sélectionnez votre ville'. The bottom of the form is partially cut off, showing the start of a 'Description de l'usage' field.

Figure IV. 3: formulaires à remplir pour acheter la laine de verre

**Analyse UX :**

- Deux blocs clairs qui correspondent aux deux **profils utilisateurs** : les donneurs et les chercheurs.
- Boutons **cliquables** pour accéder à des **formulaire**s.
- Utilisation d'icônes simples (recyclage, ampoule) pour rendre l'action visuelle.

**Avantage** : Navigation simplifiée, le visiteur s'oriente facilement.

**4. Outils & Ressources**

Liste des outils proposés :

- **Calculateur d'impact** : Pour connaître l'effet écologique du verre recyclé.
- **Quiz écologique** : Pour sensibiliser de manière ludique.
- **Gestes éco** : Conseils pratiques pour adopter des comportements écoresponsables.
- **De verre à laine** : Description du processus de transformation.
- **Badge SHN** : Pour encourager l'engagement avec un badge symbolique.

**Objectif :**

- Éduquer et sensibiliser.
- Créer un lien avec l'utilisateur au-delà de l'échange matériel.
- Valoriser l'action écologique (ramification avec le badge).

**5. Notre Mission**

"Transformer les déchets de verre en ressources précieuses pour l'isolation thermique, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement et au développement durable de l'Algérie."

**Interprétation :**

- Une vision à long terme.
- Met l'accent sur l'impact environnemental positif et le développement durable local.
- Langage valorisant et mobilisateur.

## Résumé général

**Tableau IV. 1 :** Résumé des sections de la plateforme "SHN Verre"

Section	Rôle
Header	Identité visuelle et Branding
Présentation	Explication de la mission
Actions utilisateur	Navigation vers les services clés
Outils	Sensibilisation, éducation, engagement
Mission	Objectif global et philosophie de l'entreprise

### 1. Formulaire : Je donne du verre

#### Objectif :

Permettre à toute personne (particulier ou entreprise) de proposer du verre inutilisé à recycler.

#### Champs du formulaire :

**Tableau IV. 2:** Description des champs du formulaire "Je donne du verre"

Champ	Description
Type de verre	Menu déroulant (probablement) – bouteille, vitres, etc. Permet de classer le matériau.
Quantité estimée (kg)	Champ numérique – permet d'évaluer la logistique nécessaire. Exemple : 50 kg.
Ville/Wilaya	Sélection – utile pour organiser les collectes localement.
Message optionnel	Zone de texte libre – infos supplémentaires : "verre cassé", "accessible uniquement les week-ends", etc.

#### Bouton

« Envoyer ma demande »

→ Transmet les infos aux équipes logistiques du projet.

#### Importance de remplir ce formulaire est :

- La collecte organisée et géo localisée.

- Encourage l'économie circulaire à petite ou grande échelle.
- Évite le gaspillage de verre non trié ou jeté.

## 2. Formulaire : Je cherche de la laine de verre

Permettre aux clients ou professionnels de demander de la laine de verre écologique fabriquée à partir de verre recyclé.

### Champs du formulaire :

**Tableau IV. 3 :** Champs du formulaire "Je cherche de la laine de verre"

Champ	Description
Quantité désirée (m <sup>2</sup> )	Champ numérique surface à isoler (ex : 100 m <sup>2</sup> ).
Ville/Wilaya	Choix localisé pour faciliter les livraisons ou devis.
Description de l'usage	Zone de texte Pour mieux comprendre le projet : isolation de murs, toiture, rénovation, etc.

### Avantages (présentés après les champs) :

- 100% écologique issu du verre recyclé local
- Excellente isolation thermique et acoustique
- Prix compétitifs
- Production locale algérienne

### Bouton : « Soumettre ma demande »

→ Permet d'être recontacté avec une offre adaptée.

### Pour ce formulaire est utile pour

- Valorise l'usage de matériaux durables.
- Cible les professionnels du bâtiment, ou particuliers soucieux de l'écologie.
- Met en avant les avantages concurrentiels du produit SHN Verre.

## Résumé Visuel :

Tableau IV. 4:Résumé visuel des formulaires et leur objectif

Formulaire	Pour qui ?	Objectif	Résultat
<b>Je donne du verre</b>	Particuliers / entreprises	Proposer du verre au recyclage	Être contacté pour collecte
<b>Je cherche de la laine de verre</b>	Clients / pros du bâtiment	Demander une laine de verre écologique	Recevoir une offre personnalisée

**Chapitre V**  
**Présentation du projet STARTUP**

**Introduction**

Parmi les nombreuses possibilités de valorisation, la production de laine de verre se distingue par son utilité dans le secteur du bâtiment. Ce matériau isolant, prisé pour ses performances thermiques et acoustiques, est généralement issu de matières premières naturelles comme le sable, le calcaire ou encore le carbonate de sodium. L'incorporation de verre recyclé dans sa fabrication constitue une alternative innovante et écoresponsable, permettant de réduire significativement la consommation énergétique, les émissions de gaz à effet de serre ainsi que les coûts de production.

Le présent projet vise à développer une unité industrielle de production de laine de verre à partir de verre usagé collecté localement. Cette initiative s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire, où les déchets deviennent des ressources, tout en répondant à la demande croissante d'isolants écologiques et performants.

Au-delà de son intérêt environnemental, ce projet présente également un fort potentiel économique et social. Il permettra la création d'emplois directs et indirects dans les domaines de la collecte, du tri, de la transformation et de la distribution, tout en renforçant les capacités locales en matière de recyclage industriel et contribuer à une meilleure résilience économique nationale via la valorisation du verre usagé dans la production de laine de verre.

**V.1 Premier axe :****V.1.1 Idée de projet / Solution proposée**

Le projet propose la création d'une unité de transformation spécialisée dans la production de laine de verre en intégrant du verre usagé comme matière première principale. Cette approche innovante vise à remplacer partiellement les matières premières traditionnelles (sable, calcaire) par du verre recyclé, permettant ainsi une réduction significative de la consommation énergétique, des émissions de CO<sub>2</sub> et des coûts de fabrication.

La solution repose sur un modèle d'économie circulaire, où le verre usagé, collecté auprès de centres de tri, de décharges ou directement auprès des ménages et entreprises, est transformé en un matériau isolant écologique, économique et performant. L'unité industrielle utilisera des technologies modernes de fusion et de filage, adaptées à l'utilisation du calcin (verre broyé) dans la fabrication de fibres de verre.

Ce projet permet ainsi de :

- Réduire la quantité de déchets verriers non valorisés ;
- Produire un matériau d'isolation à haute valeur ajoutée ;
- Répondre à la demande croissante en solutions d'isolation écologiques ;
- Stimuler l'économie locale par la création d'emplois dans les secteurs du recyclage et de la construction durable.

**V.1.2 Valeurs proposées**

Le projet de production de laine de verre à partir de verre usagé propose une valeur multiple, à la fois environnementale, économique, sociale et technologique. Voici les principales valeurs ajoutées du projet :

**V.1.3 Valeur environnementale**

Le projet contribue directement à la protection de l'environnement en valorisant un déchet non biodégradable : le verre usagé. En le recyclant pour produire de la laine de verre, il permet de réduire la quantité de déchets mis en décharge, tout en limitant l'extraction de ressources naturelles comme le sable ou le calcaire. De plus, l'utilisation du verre recyclé dans le processus de fabrication permet de diminuer considérablement la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, participant ainsi à la lutte contre le changement climatique.

**V.1.4 Valeur économique**

Sur le plan économique, ce projet permet de produire un matériau isolant à moindre coût en tirant parti de matières premières secondaires, notamment le verre usagé, nettement moins coûteuses que les matières premières vierges. Il ouvre la voie à de nouvelles opportunités

économiques dans les secteurs de la collecte, du recyclage, de la transformation et de la commercialisation de la laine de verre. De plus, le produit final, qui se distingue par ses performances techniques, son caractère écologique et sa fabrication locale, bénéficie d'un fort potentiel commercial, tant sur le marché national qu'international. Sa compétitivité et sa conformité aux normes environnementales actuelles offrent en effet des perspectives intéressantes d'exportation vers des pays recherchant des solutions d'isolation durables.

#### **V.1.5 Valeur sociale**

Le projet a également une forte dimension sociale. Il permettra de créer des emplois à différentes étapes de la chaîne de valeur, notamment dans la collecte et le tri des déchets de verre, la production industrielle et la logistique. En plus de l'impact sur l'emploi, le projet contribuera à sensibiliser les citoyens à l'importance du recyclage et du tri sélectif, tout en développant des compétences locales dans le domaine des technologies propres et du développement durable.

#### **V.1.6 Valeur technologique**

Enfin, le projet introduit des solutions technologiques modernes dans le processus de fabrication de la laine de verre. Il repose sur l'intégration de techniques industrielles performantes permettant de fondre et de filer le verre recyclé de manière efficace et fiable. Cette démarche innovante améliore la qualité du produit fini tout en rendant le procédé adaptable à d'autres types de verre ou de matériaux recyclés. Elle renforce ainsi la capacité locale à adopter des technologies durables et évolutives.

### **V.2 Equipe de travail**

L'équipe de SHN verre industry est composée de 3 membres complémentaires, chaque un apporte son expertise et sa passion pour mener à bien ce projet ambitieux.

#### **Membres de l'équipe :**

**MESSAOUDENE Sophie :** cofondatrice de SHN verre industry, occupe le rôle de responsable marketing

- Titulaire d'une licence en écologie et environnement complétée par un master en protection des écosystèmes naturels, son parcours académique lui confère une expertise précieuse dans la compréhension des enjeux liés à la durabilité, à la gestion des milieux naturels et la préservation des équilibres écologiques aussi une expérience pratique comme laborantine ce qui lui permet une double compétence en science de l'environnement et en techniques biomédicales

- Son expérience pratique s'est forgée au travers de stages effectués à NAFTAL le a aussi suivie des formations en développement personnel, leadership et entrepreneuriat, lui permettant de développer ses compétences en gestion des projets en communication et en stratégie d'entreprises

**CHERIGUI Houa** : cofondatrice de SHN verre industry, occupe le rôle de l'étude de marché

- Titulaire d'une licence en Écologie et Environnement, actuellement étudiante en Master 2 « Protection des Écosystèmes », elle apporte une expertise précieuse dans la compréhension des enjeux liés à la durabilité, à la gestion des milieux naturels et à la préservation des équilibres écologiques. Son parcours universitaire, axé sur la biodiversité et la restauration écologique, renforce la dimension écoresponsable du projet.
- Elle possède également une formation en laborantine et analyses médicales, ce qui lui confère une double compétence à la fois en sciences de l'environnement et en techniques biomédicales. Cette polyvalence lui permet d'aborder les problématiques de santé et d'écologie de manière intégrée.
- Son expérience pratique s'est construite à travers plusieurs stages, où elle s'est familiarisée avec les protocoles de laboratoire médical, ainsi qu'à NAFTAL dans le cadre d'un stage HSE intitulé « diagnostique d'état de gestion des aspect environnementaux en vue d'une mise en place d'un système de management environnemental », où elle a pu appliquer ses connaissances en gestion des risques environnementaux en milieu industriel.
- La formation entrepreneuriales approfondies, qu'elle a suivie, combinées à ses compétences en communication font d'elle une ressource précieuse pour SHN verre industry.

**AOUDJ Massil** : Étudiant en Master TAL & Développeur web engagé

-Étudiant en Master 1 de Traitement Automatique des Langues à l'Université Sorbonne Paris Nord, Massil combine une solide formation en sciences du langage et en informatique avec une passion marquée pour l'innovation sociale et environnementale.

-Actuellement en stage au sein de la startup algérienne SHN Verre, il développe une application web/mobile destinée à faciliter la mise en relation entre les donneurs de verre usagé et les acheteurs de laine de verre, sans création de compte, avec des formulaires simplifiés et une interface intuitive. Ce projet intègre également des technologies NLP pour un chatbot intelligent facilitant les échanges.

-Massil maîtrise plusieurs langages et outils techniques essentiels à la réussite de projets digitaux :

- Python : scripts, extraction d'informations, analyse linguistique
- HTML/CSS/JavaScript : création de sites dynamiques
- PHP & MySQL : développement web back-end et gestion de bases de données
- R & Bash : traitement de données et automatisation
- XML & Unitex : structuration des données et TAL
- Praat : analyse phonétique et prosodique
- Polyvalent, rigoureux et créatif, il conçoit ses projets avec une approche à la fois technique et centrée sur l'utilisateur, et s'investit dans chaque étape, de la conception à la mise en ligne
- **Madame Hamedi Siad Nabila** est Maître de conférences de grade A à l'université, spécialiste de l'environnement et de la gestion des déchets. Grâce à son expertise pointue et à ses nombreuses années d'expérience dans le domaine, elle s'est imposée comme une référence académique et scientifique en matière de développement durable.
- Elle s'intéresse particulièrement aux problématiques liées à la valorisation des déchets, à la transition écologique, à l'économie circulaire et à la préservation des ressources naturelles. Passionnée par l'écologie, elle œuvre activement à sensibiliser les étudiants, les chercheurs et les acteurs du territoire à l'importance de repenser nos modes de production et de consommation pour bâtir un avenir plus durable.
- Son engagement se reflète aussi dans ses projets de recherche, ses publications et sa participation à divers colloques nationaux et internationaux portant sur la protection de l'environnement, la réduction de l'empreinte carbone et les innovations en matière de gestion des déchets

### V.3 Objectifs du projet

Dans un contexte où la gestion durable des ressources et la protection de l'environnement sont devenues des enjeux majeurs, ce projet de production de laine de verre à partir de verre usagé s'inscrit dans une démarche d'innovation écologique et économique. Il vise à valoriser un déchet abondant tout en répondant aux besoins croissants en matériaux isolants performants et respectueux de l'environnement. Les objectifs du projet se déclinent selon trois horizons temporels : court, moyen et long terme.

#### V.3.1 Objectifs à court terme (1 à 2 ans)

- Mettre en place l'unité industrielle de production de laine de verre intégrant le verre usagé comme matière première principale.
- Assurer la collecte, le tri et l'approvisionnement régulier en verre recyclé auprès des partenaires locaux.
- Lancer la production pilote et valider la qualité et la performance du produit fini.

- Sensibiliser les acteurs locaux (collectivités, entreprises, grand public) à l'importance du recyclage du verre et à l'utilisation de matériaux isolants écologiques.

### **V.3.2 Objectifs à moyen terme (3 à 5 ans)**

- Augmenter la capacité de production pour répondre à la demande croissante sur le marché national.
- Optimiser les procédés industriels pour améliorer le rendement énergétique et réduire les coûts.
- Développer un réseau commercial solide pour distribuer la laine de verre dans les secteurs du bâtiment et de l'industrie.
- Créer des emplois supplémentaires dans la collecte, la production et la distribution.
- Renforcer les partenariats avec les collectivités et les acteurs du recyclage pour garantir un approvisionnement stable et durable.

### **V.3.3 Objectifs à long terme (5 ans et plus)**

- Positionner l'entreprise comme un acteur majeur et référent dans la production de matériaux isolants écologiques à base de verre recyclé.
- Étendre la gamme de produits à d'autres matériaux isolants issus du recyclage.
- Contribuer significativement à la réduction des déchets verriers au niveau régional ou national.
- Promouvoir un modèle d'économie circulaire durable et réapplicable dans d'autres filières industrielles.
- Participer activement à la transition écologique et énergétique du secteur de la construction.

#### V.4 Calendrier de réalisation du projet (12 à 18 mois)

Tableau V. 1 : Calendrier de réalisation du projet

Phase	Tâches principales	Durée estimée
<b>1. Études et planification</b>	Étude de marché, faisabilité, planification détaillée	2 mois
<b>2. Montage administratif et financier</b>	Formalités légales, recherche de financements	2 mois
<b>3. Achat et installation des équipements</b>	Acquisition des machines, aménagement du site	6 mois
<b>4. Recrutement et formation</b>	Sélection du personnel, formation technique	1 mois
<b>5. Production pilote</b>	Mise en service, tests et ajustements	2 mois
<b>6. Contrôle qualité et validation</b>	Tests, certifications, validation finale du produit	1 mois
<b>7. Lancement production industrielle</b>	Démarrage de la production à grande échelle	2 mois
<b>8. Commercialisation et marketing</b>	Déploiement du réseau commercial, communication	6 mois (en parallèle)
<b>9. Suivi et optimisation</b>	Évaluation des résultats, amélioration continue	3 à 6 mois

#### V.5 Deuxième axe : Aspects innovants

##### V.5.1 Nature de l'innovation

###### V.5.1.1 Incertitude du marché

Le projet de production de laine de verre à partir de verre usagé s'inscrit dans un contexte national où la majorité des besoins en matériaux isolants, notamment en laine de verre, sont actuellement couverts par l'importation. Cette dépendance à l'étranger offre certes une opportunité stratégique de substitution par une production locale, mais elle soulève également plusieurs incertitudes liées à l'entrée d'un nouveau produit sur un marché dominé par des fournisseurs internationaux établis.

En premier lieu, l'une des principales incertitudes concerne la perception du produit local par les acteurs du secteur du bâtiment. En Algérie, les produits importés bénéficient souvent d'une image de qualité supérieure et d'une confiance acquise depuis des années. Introduire une laine de verre produite localement à partir de verre recyclé nécessitera donc un travail important de sensibilisation et de communication, appuyé par des certifications de conformité aux normes

internationales pour convaincre les professionnels de la construction, les distributeurs et les consommateurs finaux.

Par ailleurs, bien que la production locale permette de réduire les coûts liés au transport, aux droits de douane et aux délais d'approvisionnement, le marché algérien reste très sensible au facteur prix. Il est donc essentiel que le produit fini soit non seulement compétitif, mais également disponible en quantités suffisantes et de manière régulière. La mise en place d'un réseau logistique efficace, depuis la collecte du verre usagé jusqu'à la distribution du produit fini, constitue un autre défi à relever pour sécuriser l'approvisionnement du marché.

Un autre facteur d'incertitude réside dans les fluctuations de la réglementation et des politiques commerciales. L'Algérie met actuellement en œuvre plusieurs mesures pour encourager la production locale et réduire la facture d'importation. Toutefois, ces politiques peuvent évoluer selon les priorités économiques nationales. Un durcissement ou un assouplissement des règles douanières, des taxes sur les produits importés, ou encore des incitations fiscales à l'investissement local peuvent fortement influencer la compétitivité du projet. Il sera donc crucial de maintenir une veille réglementaire constante pour s'adapter rapidement aux éventuels changements.

En outre, la réussite du projet repose sur la mise en œuvre effective des normes d'efficacité énergétique dans le bâtiment, encore inégalement appliquées à l'échelle nationale. Si les réglementations thermiques deviennent plus strictes et mieux contrôlées, la demande en isolants de qualité – comme la laine de verre augmentera mécaniquement. En revanche, si ces normes restent peu appliquées, la demande pourrait stagner, et limiter le développement du marché.

Enfin, l'un des éléments clés concerne la disponibilité et la stabilité de la matière première, à savoir le verre usagé. La réussite du projet dépend directement de la capacité à collecter, trier et traiter localement le verre recyclé en quantité suffisante. Or, les filières de recyclage sont encore en phase de structuration dans de nombreuses régions d'Algérie, ce qui introduit une incertitude sur l'approvisionnement régulier à moyen terme.

#### **V.5.1.2 Innovation du marché**

Le projet de production de laine de verre à partir de verre usagé (verre plat, verre d'emballage) constitue une véritable innovation sur le marché algérien, tant par la nature du produit que par l'approche industrielle adoptée. Actuellement, la laine de verre disponible sur le marché national est presque exclusivement importée, produite à partir de matières premières vierges comme le sable ou le calcaire. Ce projet introduit une solution locale, durable et circulaire, en valorisant un déchet abondant : le verre usagé.

L'innovation réside d'abord dans le mode de fabrication, qui remplace une part importante des matières premières traditionnelles par du calcin (verre recyclé). Cela permet de réduire la consommation d'énergie, de limiter les émissions de CO<sub>2</sub>, et de préserver les ressources naturelles, tout en répondant aux exigences techniques de performance thermique et acoustique. En plus de ses bénéfices environnementaux, cette solution représente une innovation économique et stratégique pour le pays. Elle permet de réduire la dépendance aux importations, de stabiliser les prix sur le marché local et de stimuler l'économie circulaire par la création de filières de collecte, de tri et de transformation du verre.

Le projet apporte également une innovation sociale, en créant des emplois locaux, en sensibilisant les citoyens à la gestion des déchets, et en renforçant les capacités industrielles dans le domaine des matériaux écologiques.

Enfin, il répond aux nouvelles attentes du marché, de plus en plus tourné vers les solutions durables et les matériaux performants à faible impact environnemental, tout en anticipant les évolutions réglementaires en matière de construction et d'isolation.

#### **V.5.1.3 Innovation radicales :**

Le projet de production de laine de verre à partir de verre usagé constitue une innovation radicale dans le secteur des matériaux isolants, tant sur le plan technologique que stratégique. Cette innovation remet en cause les pratiques traditionnelles de fabrication, qui reposent sur l'utilisation exclusive de matières premières vierges comme le sable, le calcaire ou le carbonate de sodium.

La première innovation radicale réside dans la substitution de ces matières premières par du verre recyclé, un matériau jusqu'ici peu exploité dans ce domaine industriel en Algérie. Cette transformation implique une réorganisation complète du procédé de fabrication, avec l'adaptation des fours, des techniques de fusion et des contrôles qualité, afin d'assurer un produit final aux performances équivalentes, voire supérieures, aux standards existants.

Par ailleurs, ce projet intègre un modèle d'économie circulaire, en valorisant un déchet local abondant (le verre usagé) et en réduisant ainsi la dépendance aux importations massives de laine de verre. Cette rupture avec le modèle linéaire classique (extraction, production, consommation, déchets) est une innovation radicale qui participe activement à la transition écologique et énergétique du pays.

De plus, la production locale offre une nouvelle autonomie industrielle, en limitant les risques liés aux fluctuations des marchés internationaux, aux coûts logistiques élevés et aux variations

tarifaires des matériaux importés. Cette autonomie stratégique est essentielle dans un contexte économique mondial incertain.

L'innovation radicale s'étend aussi à l'impact social et territorial : le projet favorise la création d'emplois locaux dans la collecte, le tri et la transformation du verre, dynamise les filières de recyclage, et sensibilise les acteurs et consommateurs à des pratiques plus responsables et durables.

Ainsi, ce projet ne se contente pas d'améliorer un produit existant ; il propose une réinvention complète de la chaîne de valeur de la laine de verre, offrant un exemple concret d'innovation radicale à forte valeur environnementale, économique et sociale.

#### **V.5.1.4 Innovation croissantes**

Le projet de production de laine de verre à partir de verre usagé intègre plusieurs innovations croissantes, visant à améliorer progressivement les performances du procédé de fabrication et la qualité du produit final. Contrairement aux innovations radicales qui bouleversent le modèle, ces améliorations s'inscrivent dans une logique d'optimisation continue.

Parmi ces évolutions, on retrouve l'adoption de technologies modernes de fusion et de fibrage, permettant de mieux contrôler la consommation d'énergie et d'assurer une fabrication plus homogène et plus stable. Le projet prévoit également l'introduction de systèmes de contrôle qualité automatisés, pour garantir une laine de verre conforme aux normes internationales.

Sur le plan produit, des ajustements réguliers dans la composition du verre recyclé permettront d'améliorer les propriétés isolantes, tout en explorant des solutions plus durables comme l'utilisation de liants écologiques ou de matériaux complémentaires.

#### **V.5.1.5 Innovation technologique**

Le projet de production de laine de verre à partir de verre usagé repose sur une innovation technologique majeure, qui consiste à adapter un procédé industriel classique à une nouvelle matière première : le verre recyclé. Cette transformation nécessite l'intégration de technologies modernes et spécifiques, permettant à la fois d'optimiser la performance du produit fini et de réduire l'impact environnemental du processus de fabrication.

L'innovation technologique se manifeste d'abord au niveau des systèmes de fusion, qui doivent être modifiés pour accueillir le calcin (verre broyé) en remplacement des matières premières vierges. Ce changement implique une gestion fine des températures, de la viscosité et de la qualité du mélange afin de garantir une fibre de verre stable, légère et homogène.

De plus, le projet intègre des équipements automatisés de contrôle qualité en ligne, capables de détecter les défauts et d'assurer une régularité de production répondant aux standards

internationaux. Cela permet non seulement d'augmenter la productivité, mais aussi de limiter les rebuts et les pertes de matière.

L'aspect technologique s'étend également aux systèmes de traitement des émissions et de récupération d'énergie, qui rendent le processus plus propre et plus efficace. L'usage de filtres performants et de dispositifs de valorisation de la chaleur résiduelle permet de réduire l'empreinte carbone de l'usine.

#### **V.5.1.6 Incertitude technologique**

Le projet de production de laine de verre à partir de verre usagé, bien qu'innovant et prometteur, comporte certaines incertitudes technologiques qu'il convient de prendre en compte dès la phase de conception.

La principale incertitude réside dans la maîtrise du procédé industriel avec une matière première secondaire : le verre recyclé. Contrairement aux matières premières vierges (comme le sable ou le calcaire), le verre usagé peut présenter des variations importantes de composition chimique, de pureté et de granulométrie, ce qui peut impacter la qualité de la fusion et la stabilité des fibres produites. Il est donc nécessaire de développer des techniques de tri et de préparation du calcin très précises, ainsi que des ajustements continus du processus de fabrication.

Une autre incertitude concerne l'adaptation des équipements industriels. L'utilisation de verre recyclé peut entraîner une usure plus rapide de certains composants (fours, buses de fibrage, etc.), ou nécessiter des technologies spécifiques de filtration et de traitement des impuretés. Ces adaptations peuvent engendrer des coûts supplémentaires ou des retards si elles ne sont pas maîtrisées dès le départ.

En outre, les performances techniques de la laine de verre produite à partir de verre usagé doivent être rigoureusement testées afin de garantir qu'elles répondent aux normes d'isolation thermique, acoustique, de résistance au feu, etc. Il existe donc une incertitude liée à l'homogénéité et à la durabilité du produit final, surtout dans les premières phases de production.

#### **V.5.5 Domaine d'innovation**

Le projet s'inscrit dans le domaine de l'innovation environnementale et industrielle, en combinant des techniques de recyclage avancées et des procédés de fabrication d'isolants thermiques. Il relève principalement de l'éco-innovation, en valorisant un déchet courant (le verre usagé) pour produire un matériau à forte valeur ajoutée : la laine de verre.

Ce projet touche également à l'innovation technologique, par l'adaptation des procédés industriels à l'utilisation de matières premières secondaires, et à l'innovation sociale et

économique, en favorisant l'emploi local, en réduisant les importations et en sensibilisant les acteurs à l'économie circulaire.

#### **V.5.2.1 Nouveau processus : une formulation plus durable**

Dans le cadre de son engagement pour la durabilité, le projet de production de laine de verre à partir de verre usagé adopte un nouveau processus de formulation respectueux de l'environnement, reposant notamment sur l'utilisation de liants sans formaldéhyde.

Traditionnellement, la laine de verre est liée à l'aide de résines à base de formaldéhyde, un composé organique volatil (COV) reconnu pour ses effets nocifs sur la santé et l'environnement. Dans une optique de production plus saine et durable, le projet propose de remplacer ces liants conventionnels par des alternatives biosourcées ou à très faible émission, ne contenant pas de formaldéhyde.

Ce changement technologique présente plusieurs avantages majeurs :

- Il permet de réduire les émissions de polluants lors du processus de fabrication.
- Il améliore la qualité de l'air intérieur une fois le matériau installé dans les bâtiments.
- Il renforce la conformité aux normes environnementales nationales et internationales de plus en plus strictes.
- Il répond à une demande croissante du marché pour des matériaux écologiques, non toxiques et recyclables.

En parallèle, le projet s'appuie sur une formulation optimisée du mélange de verre recyclé, combinée à des additifs respectueux de l'environnement, permettant de maintenir voire d'améliorer les propriétés isolantes (thermiques et acoustiques) de la laine de verre.

Ce nouveau processus allie donc innovation technologique, performance environnementale et compétitivité économique, positionnant le produit comme une solution de référence pour le bâtiment durable en Algérie et dans la région.

#### **V.5.2.2 Nouvelles fonctionnalités**

Le projet introduit plusieurs nouvelles fonctionnalités dans l'utilisation de la laine de verre issue de verre recyclé. En plus de ses propriétés traditionnelles d'isolation thermique et acoustique, la nouvelle formulation sans formaldéhyde offre une meilleure qualité de l'air intérieur, une durabilité accrue et une compatibilité avec les bâtiments écologiques. De plus, le produit est plus léger, plus maniable à la pose, et peut être proposé sous différentes formes : rouleaux, panneaux rigides ou semi-rigides.

### V.5.2.3 Clients

La clientèle ciblée par ce projet est **diversifiée** :

- **Entreprises du bâtiment et de la construction**, notamment dans le résidentiel, le tertiaire et l'industriel.
- **Collectivités locales** et promoteurs publics, engagés dans des projets d'infrastructure durable.
- **Distributeurs de matériaux écologiques** et magasins de bricolage.
- **Clients finaux** soucieux d'éco-construction, notamment les auto-constructeurs et artisans.

L'orientation écologique du produit répond parfaitement aux attentes croissantes du marché en matière d'éco-responsabilité.

### V.5.2.4 Nouvelles offres

Le projet permettra de proposer une **nouvelle gamme d'offres** adaptées aux besoins du marché

- Isolants écologiques certifiés pour la construction verte.
- Solutions personnalisées (épaisseurs, densités, formats).
- Produits complémentaires comme des panneaux composites, accessoires d'installation ou services de pose.
- Offres groupées pour les promoteurs ou chantiers publics incluant la fourniture, la logistique et le conseil technique.

### II.5.2.5 Nouveau modèle : fabrication de matelas de couchage à base de laine de verre recyclée

Dans une logique de diversification et de valorisation optimale de la laine de verre issue de verre usagé, le projet prévoit le développement d'un nouveau modèle de production : la fabrication de matelas de couchage intégrant des propriétés isolantes thermiques et acoustiques. Ce modèle repose sur l'idée novatrice d'utiliser la laine de verre non seulement comme isolant pour le bâtiment, mais également comme matériau de rembourrage dans des matelas destinés à des usages spécifiques, notamment :

- Couchage temporaire pour situations d'urgence humanitaire ou militaire
- Matelas pour hébergements collectifs, logements d'appoint ou abris mobiles
- Solutions de couchage pour les centres d'accueil, refuges ou chantiers isolés

La laine de verre, grâce à sa résistance au feu, sa stabilité dimensionnelle, sa capacité à réguler la température et à isoler des bruits, constitue une alternative innovante aux mousses

synthétiques classiques. Elle est enfermée dans une enveloppe textile technique (imperméable, respirant ou traitée selon l'usage), garantissant confort, sécurité et durabilité.

Ce modèle s'inscrit dans une démarche de production locale à faible impact, créatrice d'emplois, tout en répondant à une demande sociale croissante de produits utiles, économiques et responsables.

Par ailleurs, ce type de produit peut faire l'objet de commandes institutionnelles, notamment de la part de collectivités locales, organismes de secours ou ministères, ce qui renforce la viabilité économique du projet.

### **V.5.3 Etapes de fabrication de la laine de verre**

#### **V.5.3.1 Collecte et tri du verre usagé**

Le verre usagé est collecté à partir de différentes sources (déchets ménagers, industriels, emballages). Un tri rigoureux est effectué pour retirer :

- Les matières non vitrifiables (plastiques, métal, céramique)
- Les impuretés (papier, étiquettes)

Ce tri peut être manuel et/ou mécanisé avec des équipements comme des séparateurs optiques et des aimants.

#### **V.5.3.2 Broyage et tamisage (production du calcin)**

Le verre trié est broyé en fragments appelés calcin (taille < 10 mm). Un tamisage élimine les fragments trop gros ou trop fins, garantissant une granulométrie uniforme, essentielle pour une fusion homogène.

#### **V.5.3.3 Préparation du mélange vitrifiable**

Le calcin est mélangé à d'autres matières premières (sable siliceux, carbonate de sodium, calcaire) pour ajuster la composition chimique. Cette préparation est cruciale pour :

- Optimiser la température de fusion
- Garantir la qualité et la stabilité du verre fondu
- Assurer les performances isolantes finales

#### **V.5.3.4 Fusion dans le four**

Le mélange est fondu dans un four à haute température (1400-1550 °C). Le calcin abaisse la température de fusion, ce qui réduit la consommation énergétique. Le résultat est une masse vitreuse homogène, prête pour la fibrillation.

### V.5.3.5 Fibrage

Le verre fondu est projeté à grande vitesse à travers des disques rotatifs ou des filières, combinées à des jets d'air, pour créer des fibres très fines (2-10 microns de diamètre).

Cette étape est contrôlée précisément pour garantir :

- Uniformité des fibres
- Contrôle de la longueur et de la densité de la nappe

### V.5.3.6 Pulvérisation et incorporation d'un liant sans formaldéhyde

C'est l'étape clé qui distingue ce procédé durable.

- Un liant **écologique** est appliqué sur les fibres : ce liant est exempt de formaldéhyde, un composé toxique et cancérigène souvent utilisé dans les liants traditionnels.
- Ces liants alternatifs peuvent être à base de résines biosourcées, de polymères à faible émission ou d'autres formulations innovantes.
- Ce liant assure la cohésion des fibres tout en garantissant une absence totale d'émission de COV (composés organiques volatils).
- Le liant est conçu pour résister à la polymérisation sans se dégrader, maintenant ainsi les performances mécaniques et la flexibilité du produit.

### V.5.3.7 Formation de la nappe et polymérisation

Les fibres traitées sont déposées sur un tapis vibrant formant une nappe continue. Cette nappe passe dans un four à basse température (200-250 °C), où le liant durcit par polymérisation sans dégager de substances toxiques.

Cela permet de :

- Fixer définitivement la structure du matelas isolant
- Garantir une excellente tenue mécanique
- Préserver les propriétés écologiques du liant

### V.5.3.8 Refroidissement, découpe et emballage

Le produit refroidi est découpé selon les dimensions demandées (rouleaux, panneaux, matelas). L'emballage utilise des films recyclables, parfois avec des additives anti-humidités pour préserver la qualité pendant le stockage et le transport.

### V.5.3.9 Contrôles qualité rigoureux

Des contrôles continus sont effectués pour :

- Vérifier l'absence de formaldéhyde et de COV dans l'air ambiant autour du produit fini
- Tester la résistance thermique (valeur R), mécanique et au feu
- S'assurer de la conformité aux normes internationales et certifications environnementales (exemple : certification ISO, labels écologiques, normes REACH)
- Garantir la durabilité et la stabilité dimensionnelle du produit dans le temps
  4. Avantages de l'utilisation de liants sans formaldéhyde
- **Santé et sécurité** : absence de substances toxiques pour les ouvriers et utilisateurs finaux, réduction des risques allergiques et respiratoires.
- **Environnement** : réduction des émissions de gaz nocifs, contribution à la qualité de l'air intérieur et à la lutte contre la pollution.
- **Performance technique** : maintien ou amélioration des propriétés isolantes et mécaniques.
- **Marché** : accès facilité aux marchés sensibles à l'environnement (construction écologique).

#### V.5.4 Procédé de fabrication de base de la laine de verre à faible impact environnemental

**Tableau V. 2:** composition typique de la laine de verre à base de verre recyclé (calcin)

Composant	Pourcentage (% en masse)	Rôle dans la formulation
Calcin (verre recyclé)	60 – 85 %	Matière principale, remplace le sable
Sable siliceux (SiO <sub>2</sub> )	5 – 20 %	Fournit la silice, base du verre
Carbonate de sodium (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	5 – 10 %	Flux, abaisse la température de fusion
Calcaire (CaCO <sub>3</sub> )	5 – 10 %	Stabilisateur, évite la cristallisation
Additifs divers (oxydes de fer, alumine, borates, etc.)	0 – 5 %	Ajustent la viscosité, résistance thermique et chimique

- ✓ Le **calcin** réduit significativement la consommation d'énergie de fusion.
- ✓ Les proportions peuvent être ajustées selon la pureté du verre usagé utilisé.



**Figure V. 1 :** calcin de verre trié destiné à la fabrication de laine de ver

#### V.5.4.1 Formulation du liant sans formaldéhyde :

**Tableau V. 3:** formulation d'un liant sans formaldéhyde

Composant	Proportion approximative	Fonction
Acide polycarboxylique	40 – 60 %	Base polymère – adhésion des fibres
Polyols (glucose, saccharose, etc.)	20 – 40 %	Réactifs, durcissement par polymérisation
Catalyseurs (sels métalliques, ammonium)	1 – 5 %	Accélèrent la réticulation du liant
Eau	10 – 20 %	Solvant, facilite la pulvérisation
Agents antimoisissures / antifongiques	traces	Stabilité biologique du produit fini

**Tableau V. 4:** Paramètre technique de production de la laine de verre

Étape	Paramètre	Valeur typique
Température de fusion		1400 – 1550 °C
Diamètre des fibres		2 – 10 microns
Température de polymérisation du liant		200 – 250 °C
Teneur en humidité finale		< 1 %

## V.5.4.2 Paramètres de production recommandés :

Tableau V. 5: Paramètres de production recommandés étape par étape

Étape de production	Paramètre	Valeur typique recommandée	Remarques
<b>1. Fusion</b>	Température de fusion	1400 – 1550 °C	Dépend de la composition du mélange vitrifiable
	Durée de fusion	6 – 8 heures	Permet une homogénéisation complète du verre
<b>2. Fibrage</b>	Diamètre des fibres	2 – 10 microns	Plus les fibres sont fines, meilleure est l'isolation
	Vitesse de rotation des disques	3500 – 5000 tr/min	Pour projection du verre fondu et formation des fibres
	Température à la sortie du fibrage	500 – 600 °C	Pour éviter la casse des fibres
<b>3. Pulvérisation du liant</b>	température d'application	60 – 90 °C	Le liant est chauffé légèrement pour une bonne pulvérisation
	Débit de pulvérisation	50 – 150 g/m <sup>2</sup>	Ajusté selon le type de laine et densité souhaitée
<b>4. Polymérisation du liant</b>	Température de cuisson	200 – 250 °C	Assure le durcissement du liant sans émission toxique
	Durée de polymérisation	3 – 10 min	Selon l'épaisseur de la nappe
<b>5. Refroidissement</b>	Température finale avant découpe	< 60 °C	Pour éviter toute déformation ou dégazage
<b>6. Conditionnement</b>	Humidité résiduelle dans le produit	< 1 %	Favorise la conservation et évite le développement biologique
<b>7. Contrôle qualité</b>	Valeur lambda (conductivité thermique)	0,032 – 0,040 W/m·K	Plus la valeur est faible, meilleure est l'isolation
	Teneur en formaldéhyde	0 mg/m <sup>2</sup> (non détectable)	Conforme aux normes E0 / A+ / Eurofins

## V.6 Troisième axe : analyses stratégique du marché

Contexte national

L'Algérie est confrontée à plusieurs enjeux en matière de construction, d'efficacité énergétique et de gestion des déchets :

- Le secteur du bâtiment est en pleine expansion (logements sociaux, hôpitaux, écoles).

- La consommation énergétique des bâtiments est élevée, en raison d'un manque d'isolation thermique.
- Le pays importe la quasi-totalité des matériaux isolants, y compris la laine de verre.
- Le verre usagé (bouteilles, vitrages) est peu valorisé malgré sa disponibilité importante.

### V.6.1 Segment du marché

#### V.6.1.1 Marché potentiel

L'Algérie fait face à une **forte demande en logements** (sociaux, promotionnels, ruraux), ainsi qu'à un **besoin urgent d'efficacité énergétique** dans les bâtiments anciens pour répondre à ses engagements internationaux. De plus, la majorité des matériaux isolants, dont la laine de verre, sont actuellement **importés**, ce qui entraîne des coûts élevés et une dépendance importante vis-à-vis des marchés étrangers.

Dans cette perspective, une production locale de laine de verre représente une **opportunité stratégique** pour le pays, en particulier si elle s'appuie sur des matières premières disponibles localement, comme le verre usagé.

##### V.6.1.1.1 Une Ressource Locale Peu Exploitée

Chaque année, l'Algérie génère **des milliers de tonnes de verre usagé** (bouteilles, vitres, déchets de chantier). Or, ce verre est peu valorisé malgré ses **capacités de recyclage à 100 %**. Il s'agit d'une **matière première abondante et gratuite** qui peut être utilisée pour remplacer les matières vierges traditionnellement utilisées dans la fabrication de la laine de verre (sable, calcaire, carbonate de sodium).

L'exploitation de cette ressource contribuerait à **réduire l'impact environnemental** de la production tout en **créant de la valeur ajoutée locale**.

##### V.6.1.1.2 Une Demande Réelle et Croissante

La laine de verre est indispensable dans de nombreux secteurs :

- **Construction neuve** (logements, bâtiments publics)
- **Rénovation énergétique** (habitats anciens, écoles, hôpitaux)
- **Installations industrielles** (entrepôts, usines)
- **Applications innovantes** (matelas de couchage, panneaux préfabriqués, modules isolants)

**Avec l'augmentation du prix de l'énergie et la sensibilisation aux normes environnementales, les besoins en isolants thermiques et acoustiques vont continuer à croître.** Cette dynamique ouvre un large marché intérieur, **actuellement** mal desservi par l'offre locale.

### V.6.1.1.3 Un Vide Industriel à Comblé

À ce jour, il n'existe aucune unité de production locale de laine de verre issue du recyclage en Algérie. Le marché est donc dominé par des produits importés, notamment d'Europe. Cela constitue une occasion unique de substituer les importations par une production nationale, plus économique et écologiquement responsable.

Une telle initiative serait en cohérence avec les politiques publiques de soutien à la production nationale, à la réduction des importations et au recyclage des déchets.

#### V.6.1.1.4. Des Retombées Économiques et Environnementales

Le projet permettra de :

- Créer des emplois directs et indirects (collecte, tri, production, logistique)
- Structurer une filière locale de recyclage du verre
- Réduire les coûts de construction grâce à une production locale
- Répondre aux appels d'offres publics avec un produit écoresponsable et conforme aux normes

#### V.6.1.2 Segments du marché cible

Le marché algérien de l'isolation thermique et acoustique peut être divisé en plusieurs segments stratégiques, chacun représentant une opportunité spécifique pour la laine de verre écologique produite localement :

- ✓ Secteur du bâtiment résidentiel (neuf et rénovation)
- **Clients visés** : promoteurs immobiliers, entreprises de construction, propriétaires privés.
- **Besoins** : solutions d'isolation thermique efficaces, économiques et disponibles localement.
- **Opportunité** : répondre à la demande croissante de logements sociaux et à la rénovation thermique des logements existants.
- ✓ Bâtiments publics et infrastructures collectives
- **Clients visés** : ministères, collectivités locales, établissements publics (écoles, hôpitaux, administrations).
- **Besoins** : produits conformes aux normes environnementales, achetés dans le cadre d'appels d'offres publics.
- **Opportunité** : l'État algérien investit dans la modernisation énergétique des infrastructures publiques.
- ✓ Secteur industriel
- **Clients visés** : usines, entrepôts, zones industrielles.

- **Besoins** : isolation thermique et acoustique des locaux de production, protection contre la chaleur.
- **Opportunité** : nombreux bâtiments industriels construits sans isolation thermique efficace.
- ✓ Distribution spécialisée (bricolage et matériaux)
- **Clients visés** : quincaillerie, négociants en matériaux, artisans.
- **Besoins** : produits normalisés, faciles à stocker, à poser et à vendre en détail.
- **Opportunité** : proposer un produit local et durable en alternative aux produits importés.
- ✓ Produits dérivés innovants
- **Clients visés** : fabricants de matelas, de panneaux sandwichs, de modules préfabriqués.
- **Besoins** : matériaux d'isolation flexibles, non toxiques, avec bonnes propriétés thermiques.
- **Opportunité** : diversification vers le **matelas de couchage isolant**, solution innovante et locale.

### V.3.1.3 Possibilité de conclure des contrats d'achat avec plusieurs clients important

Le projet de production de laine de verre à partir de verre usagé présente un fort potentiel commercial, en raison de la demande importante et non satisfaite sur le marché national. Grâce à la qualité du produit, à sa conformité aux normes internationales, et à son avantage concurrentiel en matière de coût et de durabilité, il sera possible de négocier des contrats d'achat à long terme avec divers acteurs clés du marché.

Parmi les clients potentiels figurent :

- **Les entreprises de construction et de promotion immobilière**, engagées dans des programmes de logements sociaux et privés.
- **Les institutions publiques**, à travers des appels d'offres pour l'isolation de bâtiments administratifs, scolaires ou hospitaliers.
- **Les distributeurs de matériaux de construction** et grandes surfaces de bricolage, qui recherchent des produits locaux et compétitifs.
- **Les industriels**, notamment dans les domaines de la préfabrication ou de la fabrication de produits dérivés (matelas, panneaux isolants).

La **signature de contrats d'approvisionnement avec ces clients** permettra d'assurer une stabilité commerciale au projet, de garantir une rentabilité rapide et de renforcer la crédibilité de la production locale sur le marché algérien.

## V.6.2 Mesure de l'intensité de la concurrence

### V.6.2.1 Concurrent directs

Sur le marché algérien de la laine de verre, les concurrents directs sont principalement les entreprises importatrices qui approvisionnent le pays en produits d'isolation thermique et acoustique. En l'absence de producteurs locaux de laine de verre à partir de verre recyclé, la concurrence actuelle repose essentiellement sur l'importation de produits finis, notamment en provenance d'Europe, de Turquie et de Chine.

Parmi les marques les plus présentes sur le marché, on peut citer :

- **ISOVER (Groupe Saint-Gobain)** : acteur mondialement reconnu, très implanté dans la région MENA, et souvent distribué par des entreprises algériennes.
- **KNAUF Insulation** : également présent via des distributeurs locaux.
- **URSA** ou d'autres marques asiatiques, qui pénètrent le marché par des prix compétitifs.

Ces concurrents bénéficient de la notoriété de marque et d'une offre technique éprouvée, mais leurs produits sont soumis à :

- Des frais d'importation élevés,
- Des délais de livraison longs,
- Et une vulnérabilité aux fluctuations du taux de change.

Le projet de production nationale de laine de verre à partir de verre usagé vient donc répondre à une niche inexploitée, en proposant un produit écologique, local, compétitif en coût, et facilement disponible, tout en réduisant la dépendance aux importations.

Ce positionnement constitue un avantage stratégique majeur, qui permet de se différencier des concurrents actuels tout en répondant aux attentes du marché en matière de durabilité et de souveraineté industrielle.

### V.6.2.2 Concurrent indirect

Les concurrents indirects du projet sont les autres matériaux isolants utilisés sur le marché algérien, qui peuvent être choisis en substitution à la laine de verre, selon les besoins, les habitudes des professionnels ou la disponibilité.

Parmi ces produits concurrents, on retrouve notamment :

**La laine de roche** : isolant minéral également importé, utilisé pour ses propriétés thermiques et surtout sa résistance au feu. Elle est toutefois plus coûteuse et plus lourde à manipuler.

**Le polystyrène expansé (PSE) et le polystyrène extrudé (XPS)** : isolants thermiques synthétiques largement utilisés, produits localement en Algérie, mais présentant des limites en termes d'isolation acoustique, de résistance au feu et de durabilité environnementale.

**La mousse polyuréthane** : très performante thermiquement, mais plus chère, et avec un impact environnemental plus élevé.

**Les isolants naturels (liège, chanvre, laine de mouton)** : encore très peu présents en Algérie, souvent chers et peu disponibles.

Ces produits représentent une concurrence indirecte car ils ciblent le même besoin (l'isolation), mais avec des caractéristiques techniques, des prix et des impacts environnementaux différents.

### V.6.2.3 Forces et faiblesse des concurrents

L'analyse des concurrents actuels – qu'ils soient directs (importateurs de laine de verre) ou indirects (producteurs d'isolants alternatifs) – permet de mieux cerner les avantages compétitifs de ces acteurs ainsi que leurs limites, afin d'identifier les opportunités pour le projet de production locale de laine de verre à partir de verre usagé.

#### V.6.2.3.1 Forces des concurrents :

- **Notoriété de marque internationale** : Des groupes comme ISOVER, KNAUF ou URSA bénéficient d'une solide réputation à l'échelle mondiale, gage de confiance pour les professionnels.
- **Qualité éprouvée des produits** : Leurs produits sont conformes aux normes européennes et bénéficient d'un retour d'expérience technique.
- **Réseau de distribution établi** : Présence sur le marché algérien via des importateurs ou distributeurs bien implantés.
- **Large gamme de produits** : Offres diversifiées répondant à des besoins variés (isolation thermique, acoustique, résistances mécaniques...).

#### V.6.2.3.2 Faiblesses des concurrents :

- **Forte dépendance à l'importation** : Les produits doivent franchir les frontières, ce qui engendre des délais, des coûts logistiques et une dépendance au taux de change.
- **Prix élevés** : Les coûts de transport, taxes douanières et marges d'intermédiaires augmentent les prix finaux.
- **Offre peu adaptée au marché local** : Certains produits standards ne tiennent pas toujours compte des spécificités climatiques ou budgétaires du marché algérien.
- **Absence d'impact local positif** : Aucun apport en matière d'emplois, de développement local ou de valorisation des ressources nationales.

### V.6.3 Opportunité pour le projet local

Face à ces faiblesses, le projet de production nationale de laine de verre à base de verre usagé peut se positionner comme une alternative compétitive, durable et adaptée au marché local. Il offre :

- Une **réduction des coûts** grâce à l'utilisation de matières premières locales,
- Une **réactivité commerciale** accrue (délais de livraison plus courts),
- Une **dynamique écologique** et économique alignée avec les politiques nationales,
- Et un **impact social positif** (emplois, collecte, recyclage).

#### V.6.4 Stratégie de Marketing

La réussite commerciale du projet repose sur une stratégie marketing cohérente et adaptée au marché algérien, combinant positionnement produit, communication, distribution et politique tarifaire. L'objectif est de pénétrer un marché dominé par les importations, en valorisant les avantages concurrentiels d'un produit écologique, local et économique.

##### V.6.4.1 Partenaires stratégiques

Pour assurer la réussite du projet et renforcer sa viabilité à long terme, la mise en place de partenariats stratégiques est essentielle. Ces partenaires joueront un rôle clé dans l'approvisionnement, la technologie, la distribution, le financement et le soutien institutionnel.

**Tableau V. 6 : rôle et intérêt du partenaire stratégique**

<b>Partenaire</b>	<b>Rôle et intérêt</b>
Entreprises de BTP et promoteurs immobiliers	Accord pour intégration de laine de verre dans leurs projets
Collectivités locales / communes	Fournir des solutions d'isolation pour les bâtiments publics
Entreprises de recyclage	Approvisionnement continu en verre usagé
Organismes écologiques (ex : AND, CDER)	Appui institutionnel et crédibilité environnementale
Universités et écoles d'ingénierie	Collaboration R&D + stage + tests techniques

##### V.3.4.2 Publicité en ligne ciblée

Afin de toucher efficacement les segments de marché les plus pertinents, le projet adoptera une stratégie de publicité digitale ciblée, centrée sur la sensibilisation aux **avantages** écologiques,

à la qualité du produit local, et à son rapport qualité/prix attractif. L'objectif est de générer de la visibilité, des contacts commerciaux qualifiés et un engagement durable.

✓ **Définition des cibles**

La communication sera orientée vers des publics spécifiques :

- **Professionnels du bâtiment** : architectes, ingénieurs, entreprises de construction, bureaux d'études.
- **Acheteurs publics** : organismes publics du logement, écoles, hôpitaux.
- **Distributeurs de matériaux** : revendeurs, quincailleries, enseignes spécialisées.
- **Particuliers engagés** dans des projets d'isolation ou de rénovation.
- **Jeunes entrepreneurs** (NASDA, CNAC) dans le secteur du bâtiment ou du recyclage.

✓ **Canaux de diffusion**

La campagne publicitaire utilisera les plateformes suivantes :

- **Facebook & Instagram Ads** : ciblage géographique (grandes villes, zones industrielles), intérêts (construction, écologie, innovation), âge et profession.
- **Google Ads** (réseau de recherche et display) : pour apparaître lors de recherches liées à l'isolation thermique, aux matériaux de construction ou au recyclage.
- **LinkedIn Ads** : pour toucher les professionnels, décideurs et responsables d'achat.
- **YouTube & TikTok** : pour diffuser de courtes vidéos de démonstration ou témoignages clients, ciblées selon l'intérêt du public.
- **Emailing ciblé** : envoi de brochures, fiches techniques et promotions aux entreprises et professionnels inscrits dans des bases de données sectorielles.

#### V.6.4.3 Contenu publicitaire

Le contenu mettra en avant :

- Les **avantages techniques** de la laine de verre (isolation thermique, phonique, sécurité incendie).
- Les **bénéfices économiques** (prix compétitif, production locale).
- Les **valeurs écologiques** (recyclage, réduction des déchets, fabrication sans formaldéhyde).
- Des **témoignages clients**, vidéos de chantier, études de cas et comparatifs avec les produits importés.

Des **visuels modernes, infographies claires et vidéos courtes** seront privilégiés pour capter l'attention et renforcer l'impact.

## V.7 Quatrième axe : plan de production et d'organisation

### Processus de production

Le plan de production détaille les étapes techniques, les besoins en équipements et les flux de matières nécessaires à la fabrication de la laine de verre.

#### V.7.1 Approvisionnement des matières premières

- ✓ Verre usagé (calcin recyclé)
  - Sources : décharges, centres de tri, industries verrières, chantiers BTP.
  - Type : verre plat ou ménager trié (sans métaux ni plastiques).
  - **Transport** : Benne à verre, camion à grappin ou sacs big-bag.
- ✓ *Matières complémentaires*
  - **Silice** ( $\text{SiO}_2$ ), **carbonate de sodium** ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), **calcaire** ( $\text{CaCO}_3$ ) : pour ajuster la composition chimique.

#### V.7.2 Préparation des matières premières

- ✓ **Tri et nettoyage du verre**
  - Retrait des céramiques, métaux, papiers, plastiques.
  - Lavage du verre pour éliminer poussières et résidus.
- ✓ Broyage
  - Broyage du verre usagé jusqu'à une granulométrie  $< 5$  mm.
- ✓ Mélange des matières
  - Dosage précis du calcin + additifs minéraux.
  - Mélange homogène en silo ou en malaxeur.

#### Fusion

- ✓ Four de fusion
  - Type : four à bassin continu ou four électrique.
  - Température : 1 300–1 600 °C.
  - **But** : liquéfier le mélange pour préparer la mise en fibre.



Figure V. 2: le four de fusion

**Fibrage et formage**

- ✓ Fibreuse (fiberizer)
- Verre fondu projeté sur des disques rotatifs → formation de fibres.
- Air chaud et gaz comprimé pour allonger les fibres.



**Figure V. 3:**fibreuse

**Injection de liant**

- Résine pulvérisée sur les fibres en formation pour créer un matelas cohésif.

**Chambre de formation**

- Les fibres tombent sur un tapis roulant avec aspiration → création du matelas de laine.

**Durcissement et découpe****a. Four de polymérisation (curing oven)**

- Chauffe à 200–250 °C pour durcir la résine et stabiliser le produit.

**b. Refroidissement**

- Refroidissement du produit en sortie de four par convection.

**c. Découpe**

- Lame rotative longitudinale + guillotine transversale → panneaux ou rouleaux.

**Finition et conditionnement****a. Contrôle qualité**

- Vérification de densité, conductivité thermique, épaisseur, liant.

**b. Empilage ou enroulement**

- Empilage automatique pour panneaux ou enroulement pour rouleaux.

**c. Emballage**

- Sous film plastique, sac, ou carton, avec étiquetage et code de lot.

## Recyclage interne

- Les chutes de découpe ou poussières de verre sont recyclées en début de chaîne.

### V.7.3 Étapes de fabrication

1. **Préparation du verre** : tri, nettoyage, broyage en granulés fins.
2. **Fusion** : chauffage à haute température (1 200 à 1 400°C) dans un four spécifique.
3. **Filage** : la matière fondue est transformée en fibres grâce à des centrifugeuses ou filières rotatives.
4. **Liaison** : pulvérisation d'un liant sans formaldéhyde sur les fibres.
5. **Polymérisation** : passage dans un four pour durcir le liant.
6. **Refroidissement et découpe** : les rouleaux ou panneaux sont formés puis découpés à la dimension standard.
7. **Conditionnement et stockage** : emballage hermétique et stockage en entrepôt avant expédition.

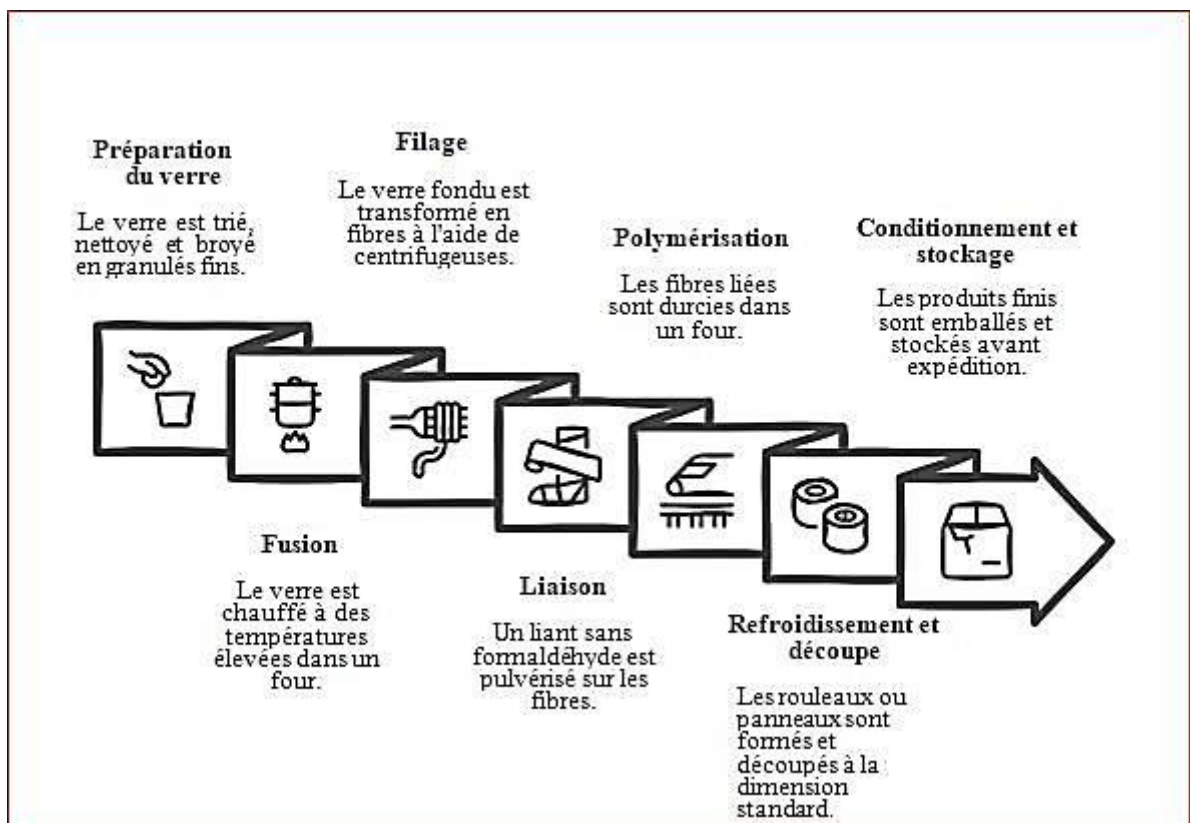


Figure V. 4: Processus de fabrication de la laine de verre

### V.7.4 Équipements principaux

#### Four de fusion (Melting Furnace)

- **Fonction** : Fait fondre les matières premières (verre recyclé, sable, calcaire, etc.) à environ 1 400–1 600 °C.

- **Type** : Four à bain de fusion (soit à gaz, électrique, ou à induction).

**Fibreuse (Fiberizing Machine / Fiberizer)**

- **Fonction** : Transforme le verre fondu en fibres grâce à la centrifugation rapide (disques perforés ou tambours rotatifs).
- **Principe** : Centrifugeuse à fibres, souvent associée à des brûleurs pour maintenir la viscosité idéale.

**Chambre de formation (Forming Chamber)**

- **Fonction** : Les fibres sont soufflées dans une chambre fermée et se déposent sur un convoyeur en formant un matelas de laine.
- **Éléments intégrés** : Ventilation d'aspiration, convoyeurs vibrants.

**Pulvérisateur de liant (Binder Spraying Unit)**

- **Fonction** : Applique un liant (résine phénolique ou organique) sur les fibres pour assurer cohésion et rigidité après durcissement.

**Four de polymérisation / durcissement (Curing Oven)**

- **Fonction** : Chauffe le matelas de fibres à 200–250 °C pour polymériser le liant et donner la forme finale à la laine.
- **Type** : Four tunnel à convection forcée.

**Section de refroidissement (Cooling Section)**

- **Fonction** : Refroidit le produit après durcissement pour stabiliser ses propriétés physiques.

**Machine de découpe (Cutting Unit / Slitter & Guillotine Cutter)**

- **Fonction** : Coupe le produit selon les dimensions souhaitées (panneaux, rouleaux, etc.).
- **Type** :
  - Lame rotative pour coupes longitudinales
  - Guillotine pour coupe transversale

**Empileuse automatique (Stacker)**

- **Fonction** : Empile les panneaux de laine de verre en piles régulières pour faciliter l'emballage.

**Enrouleuse (Roll-Up Machine)**

- **Fonction** : Enroule la laine de verre souple (en rouleaux) avant emballage.
- **Utilisée** : Principalement pour la laine souple à faible densité (isolation des combles, toitures, etc.)

**Unité d'emballage (Packing/Packaging Machine)**

- **Fonction** : Comprime, emballe et filme les produits finis. Peut inclure :
  - Film thermorétractable
  - Étiquetage
  - Impression de codes de lot

**Système de récupération/recyclage (Recycling System)**

- **Fonction** : Récupère les chutes de production (coupes, poussières de fibres) pour les réintroduire dans la chaîne.

**V.7.4 Plan d'organisation**

Le plan d'organisation définit la structure humaine et les responsabilités internes de l'unité industrielle

**Ressources humaines (structure type)****Tableau V. 7** : Composition de l'équipe de production

Poste	Nombre de personnes	Missions principales
<b>Chef d'unité / Responsable de production</b>	1	Supervision globale, gestion des approvisionnements, planning, suivi qualité, sécurité
<b>Opérateurs de production</b>	2 à 3	Alimentation de la ligne, contrôle visuel, emballage, surveillance des machines
<b>Technicien maintenance</b>	1	Entretien courant, dépannage, réglages mécaniques et électriques
<b>Agent logistique / magasinier</b>	1	Réception du verre usagé, stockage, préparation des matières premières, expédition
<b>Assistant administratif / commercial (polyvalent)</b>	0 à 1 ( <i>optionnel</i> )	Suivi des ventes, gestion des documents, facturation, relation client (si besoin)

**Localisation de l'unité**

- Privilégier une **zone industrielle** proche d'un centre urbain avec :
  - Accès au transport routier
  - Disponibilité en énergie industrielle
  - Proximité des zones de collecte de verre

**Fournisseurs et partenaires principaux**

Le succès du projet repose sur l'identification de **fournisseurs fiables** pour les matières premières et équipements, ainsi que sur des **partenariats stratégiques** dans les domaines de la logistique, de la distribution et du soutien technique. Ces collaborations sont essentielles pour garantir la **qualité, la régularité de la production et la compétitivité du produit sur le marché.**

**Fournisseurs de matières premières**

- **Fournisseurs de verre usagé :**
  - Entreprises de **collecte et de gestion des déchets** (Netcom, Extranet...)
  - **Centres de tri** municipaux ou régionaux
  - **Associations écologiques** impliquées dans le recyclage
  - **Particuliers ou coopératives locales** (via des systèmes de collecte incitative)
- **Fournisseurs de liants écologiques (sans formaldéhyde) :**
  - Producteurs étrangers spécialisés (ex : BASF, Knauf Chemical)
  - Fournisseurs locaux de produits chimiques adaptés à l'isolation
- **Autres intrants :**
  - Additifs et agents de liaison : à importer ou acheter localement selon la disponibilité
  - Emballages : fournisseurs algériens de films plastiques, cartons, étiquetage

**Fournisseurs d'équipements et machines**

- **Machines de broyage, fusion et filage :**
  - Entreprises spécialisées en **équipements industriels pour la fabrication de laine minérale**
  - Possibilité d'importation depuis l'Europe ou l'Asie (ex : Allemagne, Italie, Turquie, Chine)

**Systèmes de filtration et traitement des fumées :**

- Fournisseurs d'équipements de sécurité environnementale et industriels
- **Matériel de contrôle qualité et d'automatisation :**
  - Laboratoires ou entreprises de fourniture industrielle

**Partenaires de soutien**

- **Partenaires institutionnels :**
  - **Ministère de l'Environnement :** appui réglementaire et subventions
  - **AND (Agence Nationale des Déchets) :** pour les flux de matières recyclées
  - **Ministère de l'Industrie / CNRC / ANDI :** accompagnement administratif et financier
  - **Banques ou organismes de crédit (BEA, BADR, BNA, CNEP...)**
- **Partenaires logistiques :**
  - Sociétés de transport routier et logistique pour le verre collecté et la distribution des produits finis
- **Partenaires académiques et techniques :**
  - **Laboratoires universitaires** pour le développement de formulations innovantes
  - **Centres techniques ou bureaux d'étude** pour l'optimisation industrielle

**Partenaires commerciaux**

- **Distributeurs de matériaux de construction :**
  - Quincailleries, enseignes spécialisées
  - Plateformes de distribution en ligne ou physique
  - Négociants en gros du secteur BTP
- **Clients institutionnels :**
  - **Entreprises de construction et bailleurs sociaux publics (AADL, ENPI, LPP)**
  - **Administrations locales** pour des projets de rénovation énergétique

## V.8 Cinquième axe : plan financier prévisionnel

### V.8.1 couts et charge

**Tableau V. 8:** répartition des couts des charges

Catégorie	Montant estimatif (DA)	Commentaires
<b>Coûts de développement</b>	<b>1 000 000</b>	Études de base, dossier technique
<b>Coûts d'infrastructure</b>	<b>2 500 000</b>	Location + aménagement léger
<b>Équipements industriels</b>	<b>4 000 000</b>	Machines de petite capacité, d'occasion ou locales
<b>Marketing &amp; communication</b>	<b>500 000</b>	Lancement minimal (pub en ligne, logo, flyers)
<b>Frais opérationnels initiaux</b>	<b>1 700 000</b>	Matières premières, salaires, énergie pour 3 mois
<b>Frais administratifs</b>	<b>300 000</b>	Enregistrement légal, RC, assurance

**TOTAL GLOBAL : 10 000 000 DA**  Budget plafonné respecté

**Tableau :** les couts de développement et de la réalisation d'une unité de production de laine de verre

#### Coûts de développement – 1 000 000 DA

**Tableau V. 9:** détail des couts de développement

Poste	Montant (DA)
Étude technique simplifiée	500 000
Business plan + faisabilité	300 000
Dossier de normalisation (fiche produit, sécurité)	200 000

#### Coûts d'infrastructure 2 500 000 DA

**Tableau V. 10:** détail des couts d'infrastructure

Poste	Montant (DA)
Location d'un local (6 à 12 mois)	1 200 000
Aménagement intérieur (sol, électricité, ventilation)	800 000
Réseaux eau, sécurité de base	500 000

**Équipements industriels 4 000 000 DA****Tableau V. 11:** détail des équipements industriels

Équipement	Option	Coût estimé
Broyeur de verre (petite capacité)	Local ou d'occasion	1 200 000
Mini-four de fusion	Local, capacité réduite	1 500 000
Filage manuel ou semi-automatisé	Méthode artisanale	800 000
Table de formation + découpe manuelle	Sur mesure	500 000

**Marketing 500 000 DA****Tableau V. 12:** budget marketing et communication

Poste	Montant
Création logo, flyers	100 000
Page Facebook + publicité sponsorisée	150 000
Mini site vitrine	150 000
Participation locale à une foire/stand	100 000

**Coûts opérationnels 1 700 000 DA (pour les 3 premiers mois)****Tableau V. 13:** couts opérationnels pour les 3 premiers mois

Poste	Montant
Verre usagé, liants, additifs	600 000
Salaires (4 employés)	600 000
Énergie (électricité, gaz)	300 000
Transport, logistique	200 000

**Frais administratifs 300 000 DA****Tableau V. 14:** Frais administratifs

Poste	Montant
Enregistrement entreprise (RC, notaire)	100 000
Assurance équipement + local	100 000
Frais bancaires, comptable	100 000

**5.8.2 Démarrage avec un atelier semi-artisanal : Production 10–20 kg/h**

Mettre en place une unité de petite capacité viable, locale et évolutive, permettant de :

- Réutiliser le verre usagé localement
- Fournir de l'isolant à bas coût pour artisans et auto-constructeurs
- Acquérir une première expérience avant industrialisation

**Configuration technique****Tableau V. 15:** configuration technique de l'atelier semi artisanal

Équipement	Description	Prix estimatif
<b>Broyeur de verre</b>	Capacité réduite (100 kg/h). Alimente le four avec du verre broyé.	1 000 000 DA
<b>Mini-four de fusion</b>	Four à gaz ou électrique (1300–1400°C), volume limité (100–150 kg/jour)	1 200 000 DA
<b>Filage manuel/semi-automatisé</b>	Filage par système de rotation manuelle ou électrique (principe centrifuge ou étirement)	800 000 DA
<b>Pulvérisation de liant (manuel)</b>	Pulvérisateur basse pression, réservoir pour résine sans formaldéhyde	200 000 DA
<b>Séchage</b>	Chambre de séchage artisanale (type four à convection ou boîte ventilée)	400 000 DA
<b>Table de découpe</b>	Table en inox + scie thermique ou manuelle	300 000 DA
<b>Poste d'emballage</b>	Pistolet de film étirable ou sac thermosoudé	200 000 DA

**Total équipement de production estimé environ 4 000 000 DA**

**Capacité de production et rendement****Tableau V. 16 :** Paramètre de production et rendements estimé

Paramètre	Valeur
Débit horaire	10 à 20 kg/h
Temps de production par jour	6 à 8 h
Production journalière moyenne	60 à 150 kg/jour
Production mensuelle (25 jours)	1,5 à 3,5 tonnes/mois
Rendement	1 tonne de verre usagé = 800 kg de laine de verre

**Matières premières****Tableau V. 17:** besoin en matière première

Composant	Source	Quantité
Verre usagé	Recyclage local, coopératives, centres de tri	2 – 5 tonnes/mois
Additifs (carbonate de sodium, sable)	Fournisseurs chimiques	En petites quantités
Liant (résine sans formaldéhyde)	Importation ou fournisseurs locaux	3–5% du poids final

**Main d'œuvre nécessaire (5 personnes)****Tableau V. 18:** Répartition du personnel nécessaire

Poste	Nombre	Fonction
Chef de production	1	Supervision, qualité
Opérateurs four/filage	2	Chauffe et fibrage
Aide polyvalent	1	Broyage, transport
Emballleur / magasinier	1	Découpe, stockage, livraison

**Salaires estimés :** de 150 000 à 250 000 DA/mois (total)

## Local et aménagement

Tableau V. 19: exigences lies au local et aménagement

Élément	Requis
Superficie	100 à 200 m <sup>2</sup> suffisent pour débiter
Zone	Zone artisanale ou industrielle périphérique
Installations	Ventilation, sécurité incendie, énergie triphasée

**Solution économique** : location ou partenariat avec une coopérative ou une zone d'activité communale

## Positionnement marché

Tableau V. 20: positionnement du marché

Critère	Détail
Cible	Artisans, petits chantiers, auto-constructeurs, collectivités locales
Prix de vente estimé	300 – 500 DA/kg (compétitif et écologique)
Avantages concurrentiels	Recyclage local, prix réduit, bonne isolation thermique

## Approche évolutive

Tableau V. 21: phases d'évolution du projet (échelle temporelle)

Phase	Objectif
Phase 1 (0–12 mois)	Démarrage, fidélisation des clients, test du marché
Phase 2 (12–24 mois)	Augmentation du volume, semi-automatisation du filage et séchage
Phase 3 (>24 mois)	Industrialisation, certifications, vente B2B nationale

## Exemple de chiffres mensuels (production = 2,5 tonnes/mois)

Tableau V. 22: chiffres mensuels projeté dans une situation normal

Poste	Valeur approximative
Coût de production/kg	200 DA
Prix de vente moyen	400 DA
Chiffre d'affaires	1 000 000 DA/mois
Marge brute estimée	400 000 – 500 000 DA/mois

## **. Modes de financement**

### **1. Fonds propres**

Capital personnel ou familial

- Argent personnel ou épargne
- Aide de la famille ou d'associés proches
- Apports en nature (local, véhicule, machines personnelles)

**Avantage :**

- pas de dette
- Crédibilité accrue vis-à-vis des partenaires

**Limite :**

- Peut-être insuffisant pour un démarrage industriel complet

### **2. Financement mixte (fonds propres + externe)**

Le plus réaliste pour un projet à 10 millions DA

- Vous apportez 20–30 % du capital
- Le reste via prêt ou subvention

#### **Financement externe**

Par des **organismes publics, banques, ou aides à l'entrepreneuriat**

#### **NESDA (ex-ANSEJ)**

- Pour les jeunes de 18 à 40 ans
- Projets innovants ou écologiques sont prioritaires
- Jusqu'à 10 millions DA financés
- Composé de prêt à taux 0%, crédit bancaire, et subvention

#### **CNAC (Chômeurs de 30 à 55 ans)**

- Pour les porteurs de projet sans emploi
- Financement similaire à ANSEJ
- Possible différé de remboursement (jusqu'à 1 an)

**Banques algériennes (avec ou sans garantie étatique)****Tableau V. 23:** mode de financement disponible pour le projet

Banque	Produit	Détails
<b>BEA, BADR, BNA</b>	Crédit d'investissement PME	Taux : 5–7 %, remboursement sur 5–7 ans
<b>Banques islamiques</b>	Financement participatif	Sans intérêt classique

**Programmes internationaux / subventions vertes****Tableau V. 24:** sources de financement institutionnel et accès aux aides

Source	Type d'aide	Comment y accéder
<b>PNUD – Climat &amp; Environnement</b>	Subventions pour projets verts	Via ministère de l'environnement
<b>UNIDO – Eco-entrepreneuriat</b>	Appui technique + fonds	Appel à projets
<b>Union Européenne (ENPARD, SWITCHMED)</b>	Financement de projets circulaires	À travers ONG ou partenaires techniques algériens

**Autres alternatives****Tableau V. 25:** autres sources de financement alternatifs et observation

Source	Commentaire
<b>Associés (partenariat privé)</b>	Investissement en échange de parts sociales
<b>Crowdfunding local/international</b>	Possible mais encore rare en Algérie
<b>Prêts d'honneur (ONG, fondations)</b>	Faible intérêt, sans garantie souvent

**Hypothèses de base de production****Tableau V. 26:** hypothèse de base de production

Élément	Valeur
Capacité de production	<b>15 kg/h</b> (moyenne entre 10 et 20 kg/h)
Temps de production	<b>8 h/jour, 22 jours/mois</b>
Production mensuelle	$15 \text{ kg} \times 8 \text{ h} \times 22 \text{ j} = \mathbf{2\ 640 \text{ kg/mois}}$
Production annuelle	$2\ 640 \text{ kg} \times 12 \text{ mois} = \mathbf{31\ 680 \text{ kg/an}}$

**Prix de vente estimé****Tableau V. 27:** prix de vente moyen selon le segment du marché

Segment	Prix de vente moyen (DA/kg)
Prix de gros (BTP, distributeurs)	<b>350 – 400 DA/kg</b>
Prix public (détail, éco-construction)	<b>450 – 500 DA/kg</b>

**Calcul du chiffre d'affaires****Mensuel :**

$2\,640 \text{ kg/mois} \times 400 \text{ DA} = 1\,056\,000 \text{ DA/mois}$

**Annuel :**

$31\,680 \text{ kg/an} \times 400 \text{ DA} = 12\,672\,000 \text{ DA/an}$

**Tableau récapitulatif (sur 1 an)**

Mois	Production (kg)	CA estimé (DA)
Janvier	2 640	1 056 000
Février	2 640	1 056 000
Mars	2 640	1 056 000
Avril	2 640	1 056 000
Mai	2 640	1 056 000
Juin	2 640	1 056 000
Juillet	2 000	800 000 (mois ralenti)
Août	2 000	800 000 (mois ralenti)
Septembre	2 640	1 056 000
Octobre	2 640	1 056 000
Novembre	2 640	1 056 000
Décembre	2 640	1 056 000
<b>TOTAL</b>	<b>31 280 kg</b>	<b>12 648 000 DA</b>

### V.8.3 Scénario Optimiste : Objectif de Croissance et Rentabilité

#### V.8.3.1 Hypothèses clés

**Tableau V. 28:** hypothèse de croissance

Élément	Détail
Capacité utilisée	90 % (production régulière, peu de pannes)
Volume de production	17 kg/h, soit 2 992 kg/mois
Prix de vente moyen	450 DA/kg (positionnement éco haut de gamme)
Canaux de vente	BTP local + éco-distribution + partenariats
Stratégie	Bon référencement, communication ciblée, précommandes

#### Chiffre d'affaires projeté

##### Mensuel :

- $2\,992 \text{ kg} \times 450 \text{ DA} = 1\,346\,400 \text{ DA/mois}$

##### Annuel :

- $1\,346\,400 \text{ DA} \times 12 = 16\,156\,800 \text{ DA/an}$

#### Structure des charges (approximative)

**Tableau V. 29:** chiffre d'affaires projeté

Poste	Montant annuel (DA)
Matières premières (verre usagé, liants)	2 000 000
Énergie + eau	1 200 000
Salaires (3 personnes)	3 600 000
Entretien machines	400 000
Emballage & logistique	800 000
Marketing & distribution	600 000
Frais généraux (taxes, locaux)	600 000
<b>Total des charges</b>	<b>9 200 000 DA/an</b>

#### Résultat brut (avant impôts)

- **Chiffre d'affaires - Charges = Résultat brut**

$$16\,156\,800 - 9\,200\,000 = 6\,956\,800 \text{ DA/an}$$

- **Résultat net** : environ 6,95 millions DA/an

#### ✓ Stratégies à adopter pour atteindre ce scénario

##### 1. Optimisation de la chaîne d'approvisionnement :

- Verre usagé à très bas coût grâce à un partenariat avec centres de tri

2. Création d'un réseau de distributeurs :
  - Magasins de matériaux, entreprises d'isolation
3. Communication verte / RSE :
  - Mettre en avant l'impact environnemental positif pour toucher de nouveaux clients
4. **Amélioration continue de la qualité** :
  - Tests en laboratoire, conformité normes algériennes & internationales
5. **Diversification** :
  - Produits complémentaires (panneaux, rouleaux, doublage acoustique)

#### V.8.4 Scénario Pessimiste : Contexte de difficultés

##### V.8.3.1 Hypothèses de base

**Tableau V. 30:** hypothèse en cas de difficulté

Élément	Hypothèse pessimiste
Capacité utilisée	40 % seulement (pannes, manque de main-d'œuvre, problèmes techniques)
Production effective	6 kg/h, 6 h/jour, 15 jours/mois = 540 kg/mois
Ventes difficiles	Faible notoriété, faible pouvoir d'achat local
Prix de vente moyen	350 DA/kg (pression concurrentielle)
Ventes limitées à quelques clients locaux	Pas de contrats à long terme

#### 1. Chiffre d'affaires estimé

**Tableau V. 31:** chiffre d'affaire estimé

Période	Calcul	Résultat
Mensuel	540 kg × 350 DA	<b>189 000 DA</b>
Annuel	189 000 × 12 mois	<b>2 268 000 DA/an</b>

## 2. Charges minimales incompressibles

**Tableau V. 32:** charge minimal incompressible en cas de difficulté

Poste	Montant annuel (DA)	Commentaire
Matières premières	500 000	Verre + liants
Énergie	800 000	Électricité four, ventilation
Salaires (2 employés)	2 400 000	Salaire modeste
Entretien	200 000	Imprévus techniques
Emballage, livraison	200 000	Clients locaux
Marketing & communication	100 000	Limité (réseaux sociaux)
Frais généraux (loyer, taxes)	400 000	Atelier modeste
<b>Total des charges</b>	<b>4 600 000 DA/an</b>	—

## 4. Résultat brut (avant impôt)

**Chiffre d'affaires – Charges = Résultat brut**

2 268 000 DA – 4 600 000 DA = –2 332 000 DA/an

- **Perte annuelle estimée :** –2,33 millions DA

## 3. Conséquences possibles

**Tableau V. 33:** risque opérationnels et financiers de l'unité de production

Risques	Impacts
Perte financière	Besoin urgent de refinancement ou réduction d'activité
Stocks invendus	Immobilisation de trésorerie
Usure des machines	Pannes fréquentes, arrêts prolongés
Perte de motivation	Difficultés à maintenir l'équipe
Difficulté d'accès aux crédits	Faible rentabilité dissuade les banques

**4. Mesures d'atténuation possibles****Tableau V. 34:** solutions stratégiques et objectifs visés

<b>Solution</b>	<b>Objectif</b>
Réduction des charges fixes	Réduire salaires, sous-traitance logistique
Vente de sous-produits ou services (ex : broyage de verre)	Générer des revenus alternatifs
Vente directe via marchés / foires locales	Écouler les stocks rapidement
Campagnes de sensibilisation environnementale	Attirer le public « vert »
Microcrédit ou soutien associatif / ONG	Rechercher un appui externe

# **BUSINESS MODEL CANVA**

<p><b>Partenariats clés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Municipalités, entreprises de recyclage (collecte de verre)</li> <li>- Ministère de l'Environnement (soutien écologique)</li> <li>- BTP, promoteurs immobiliers</li> <li>- Laboratoires de certification</li> <li>- Investisseurs, incubateurs écotech</li> </ul>	<p><b>Activités clés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Collecte, tri et traitement du verre usagé</li> <li>- Production de laine de verre</li> <li>- Contrôle qualité et respect des normes</li> <li>-Commercialisation et distribution</li> <li>- Recherche et développement (produits sans <b>formaldéhyde</b>)</li> </ul>	<p><b>Propositions de valeur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolation thermique et acoustique efficace</li> <li>- Produit écologique et durable (fabriqué à partir de verre recyclé)</li> <li>- Prix compétitif par rapport aux produits importés</li> <li>- Réduction des déchets (valorisation du verre usagé)</li> <li>- Respect des normes environnementales</li> </ul>	<p><b>4. Relations clients</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Service après-vente technique (application, conseils d'installation)</li> <li>- Formation pour les poseurs et distributeurs</li> <li>- Engagement RSE et image écoresponsable</li> <li>- Fidélisation via des remises pour gros volumes</li> </ul>	<p><b>1. Segments de clients</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprises de construction</li> <li>- Distributeurs de matériaux isolants</li> <li>- Promoteurs immobiliers</li> <li>- Organismes publics (logements sociaux, écoles, hôpitaux)</li> <li>- Export (Afrique du Nord, Sahel)</li> </ul>
<p><b>Structure des coûts</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Achat/verre usagé et logistique</li> <li>- Coûts d'énergie (fusion, production)</li> <li>- Salaires et charges sociales</li> <li>- Maintenance des machines</li> <li>- Coûts marketing et commerciaux</li> <li>- Amortissement des investissements</li> </ul>	<p><b>6. Ressources clés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Approvisionnement en verre usagé (collecte, partenariats avec déchetteries, collectivités)</li> <li>- Usine de transformation</li> <li>- Équipements de fusion et fibrage</li> <li>- Équipe technique et commerciale</li> <li>- Certifications qualité et environnement</li> </ul>		<p><b>3. Canaux de distribution</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vente directe (chantier, entreprises)</li> <li>- Distributeurs de matériaux de construction</li> <li>- Plateformes en ligne B2B</li> <li>- Salons professionnels et foires du bâtiment</li> </ul>	
		<p><b>Sources de revenus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vente de laine de verre en vrac ou en rouleaux</li> <li>- Fourniture de solutions d'isolation clé en main</li> <li>- Revenus secondaires (formation, conseil technique, partenariats RSE)</li> </ul>		

## **Collaboration avec Knauf Insulation**

Dans le cadre de ce mémoire intitulé « *La production de laine de verre à partir du verre usagé* », nous avons eu l'opportunité d'effectuer un stage à distance en collaboration avec Knauf Insulation, l'un des leaders mondiaux dans le domaine de l'isolation thermique et acoustique, spécialisé notamment dans la production de laine de verre à base de verre recyclé.

Ce stage, bien qu'organisé en ligne en raison de contraintes logistiques, a été d'une grande richesse sur les plans technique, environnemental et professionnel. Il nous a permis d'accéder à une documentation technique spécialisée, à des supports internes de formation ainsi qu'à des sessions animées par des experts du secteur.

Dans le cadre de ce partenariat, **Madame Hamedi Siad Nabila**, maître de conférences et promotrice du présent mémoire, s'est fortement impliquée. En notre nom, elle a pu se déplacer sur plusieurs sites de production partenaires, assister à des visites techniques, et suivre des formations spécifiques dispensées par les ingénieurs de Knauf Insulation. Grâce à sa spécialisation dans les domaines de l'environnement et des déchets, et à sa passion pour les solutions écologiques innovantes, elle a su recueillir des informations de terrain précieuses, qui ont enrichi considérablement notre projet.

Nous souhaitons également remercier chaleureusement le formateur de Knauf Insulation pour sa disponibilité, sa pédagogie et la clarté de ses explications. Son accompagnement nous a permis de mieux comprendre les éléments suivants :

- Les différentes étapes du processus industriel de fabrication de la laine de verre à partir de verre recyclé ;
- Les exigences de qualité pour le calcin utilisé comme matière première dans ce procédé

- Le rôle des liants sans formaldéhyde, qui représentent une avancée majeure pour la santé et l'environnement ;
- Les enjeux énergétiques et environnementaux associés à cette filière industrielle.

Cette expérience, combinant un accompagnement à distance et une présence de terrain assurée par notre promotrice, a grandement contribué à renforcer nos compétences dans la valorisation des déchets verriers, tout en nous offrant une vision concrète de l'application industrielle de l'économie circulaire dans le secteur des matériaux isolants.

En conclusion, cette collaboration avec Knauf Insulation a représenté un apport majeur dans la réalisation de ce mémoire. Elle nous a permis de bénéficier d'un encadrement de qualité, d'un accès privilégié à des données techniques fiables, et d'une immersion professionnelle indirecte mais significative, grâce à l'engagement sur le terrain de notre promotrice.

# **Conclusion générale**

Dans un contexte de crise environnementale mondiale, la préservation des écosystèmes et la gestion durable des ressources naturelles représentent des enjeux majeurs pour l'humanité. La pollution, la surconsommation et la production massive de déchets compromettent l'équilibre fragile de notre planète. Face à ces défis, l'économie circulaire émerge comme une alternative crédible au modèle linéaire traditionnel, en promouvant la réduction, la réutilisation et le recyclage des matériaux.

Parmi les ressources stratégiques à valoriser, le verre usagé occupe une place de choix en raison de sa recyclabilité infinie, de sa stabilité chimique et de son abondance. Sa transformation en laine de verre constitue une opportunité à la fois environnementale, technique et économique. Ce matériau isolant, essentiel pour l'efficacité énergétique des bâtiments, contribue non seulement à la réduction des besoins en chauffage et climatisation, mais aussi à la diminution des émissions de gaz à effet de serre. En intégrant des approches innovantes telles que l'élimination du formaldéhyde dans les liants, et en adoptant une démarche d'Analyse du Cycle de Vie (ACV), la production de laine de verre peut s'inscrire dans une véritable logique de développement durable.

La seconde partie de ce mémoire, consacrée au business plan du projet, a permis d'approfondir la faisabilité technico-économique de cette initiative. L'étude de marché, l'analyse des coûts, les prévisions de rentabilité, ainsi que l'identification des partenaires et des circuits d'approvisionnement en verre usagé ont démontré le potentiel réel de ce projet en Algérie. Il s'agit d'un modèle innovant à forte valeur ajoutée, capable de générer des emplois, de dynamiser l'industrie du recyclage local, tout en répondant aux enjeux climatiques et énergétiques du pays.

Ainsi, la production de laine de verre à partir de verre recyclé s'impose comme une réponse concrète aux problématiques contemporaines. Elle illustre comment l'économie circulaire peut transformer un déchet en ressource, tout en conciliant performance économique, bénéfice environnemental et responsabilité sociale. Ce projet représente une voie exemplaire vers une industrie algérienne plus verte, plus résiliente et tournée vers l'avenir.

- (1) ADEME. (2017, 2021). Pour les définitions globales.
- (2) ADEME. (2018). Réduire les déchets à la source
- (3) ADEME. (2019). Réemploi et réutilisation : définitions et enjeux.
- (4) ADEME. (2020). Économie circulaire : comprendre pour agir.
- (5) ADEME. (2020). L'analyse du cycle de vie & FDES des matériaux de construction.
- (6) ADEME. (2020, 2021). Recyclage du verre & économie circulaire.
- (7) ADEME. (2021). L'éco-conception au service de la transition écologique.
- (8) Agence Nationale des Déchets (AND). (2020, 2021, 2022).
- (9) AND. (2022, 2023). Rapports annuels de l'Agence Nationale des Déchets.
- (10) AND. (2023). Rapport sur la valorisation des déchets en Algérie.
- (11) Buildsite. (2023). Thermafiber SAFB™ FF Product Data Sheet.
- (12) Citeo. (2022). Le recyclage du verre en France.
- (13) CNES. (2020). Conseil National Économique et Social.
- (14) Commission Européenne. (2020). Plan d'action pour une économie circulaire, Technical Guidelines on the Préparation of Waste Glass, 2017 »). .
- (15) CSTB. (2020). Matériaux secondaires dans le BTP, (« CSTB, Performances énergétiques des isolants, 2020 »).
- (16) ECOSE Technology. (s. d.). ECOSE® Technology characteristics.
- (17) Ellen MacArthur Foundation. (2015). Circular Economy: An Introduction.
- (18) Ellen MacArthur Foundation. (2019). Circular Economy Principles.
- (19) Eurostat. (2023). Municipal waste statistics.
- (20) European Automotive Glass Association. (2023). Glass and Sustainability.
- (21) European Commission. (2020). Glass recycling in the EU.
- (22) FAO. (2020). Valorisation des déchets agricoles en Afrique du Nord.
- (23) FAO. (2022). Bioplastiques et agriculture durable.
- (24) FEVE. (2022). The European Container Glass Federation Reports.
- (25) Glass Alliance Europe. (2021). Typologie du verre.
- (26) Glass for Europe. (2021). Flat glass recycling opportunities.
- (27) Glass Futures. (2022). Innovations in glass manufacturing.
- (28) GIZ. (2021). Rapport sur la gestion des déchets en Algérie.
- (29) IARC. (2022). Formaldehyde and its health risks.
- (30) IEA – International Energy Agency. (2023). Energy Efficiency 2023.
- (31) IEA. (2023). Energy Efficiency Report.

- (32) ISO. (2006). ISO 14040:2006 – Principles and framework; ISO 14044:2006 – Requirements and guidelines.
- (33) ISOVER. (2022). Production de laine de verre et calcin.
- (34) Journal Officiel de la République Algérienne. (2025). Loi n° 25-02.
- (35) Knauf Insulation. (2019, 2024). Celebrating ECOSE Technology & Product Data.
- (36) Knauf Insulation. (2021). Environmental Product Declaration (EPD) – Laine de verre ECOSE® Technology.
- (37) Ministère de l'Environnement. (2024). Stratégie nationale déchets & REP.
- (38) Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables. (2021, 2022).
- (39) Ministère de la Transition Écologique. (2020). Stratégie nationale de transition vers l'économie circulaire.
- (40) Ministère de la Transition Écologique. (2021). Construction durable et matériaux recyclés.
- (41) Mohamed, A. A., et al. (2024). Comparative Life Cycle Assessment of Building Insulation Materials (Égypte).
- (42) OIT. (2021). Recyclage et inclusion sociale.
- (43) Owens Corning. (2023). Thermafiber FormaldehydeFree Product Data.
- (44) PNUE Maghreb. (2021). Initiatives pour l'économie circulaire au Maghreb.
- (45) PNUD. (2021, 2023). Gestion durable des déchets en Algérie.(« PNUD – MEAT, Rapport national sur la gestion des déchets, 2021 »).
- (46) Schott. (2021). Borosilicate Glass: Technical Data Sheet.
- (47) SNEDD (2020–2035). Stratégie nationale pour le développement durable en Algérie.
- (48) UNIDO. (2020). Circular economy for electronic waste.
- (49) UNEP. (2021). Waste Management in Africa.
- (50) WHO. (2022). Lead and public health.
- (51) Zero Waste France. (2022). Réparer pour moins jeter.
- (52) INERIS, Étude sur les impacts des matériaux inertes, 2018
- (53) Banque Mondiale, Waste Management in Emerging Economies, 2020
- (54) UNESCO, Vers une société durable, 2021
- (55) Ellen MacArthur Foundation, Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change, 2019
- (56) AQC, Guide des matériaux isolants, 2019
- (57) ISO 11654, Sound absorption coefficients, 2018
- (58) ADEME, L'efficacité énergétique dans le bâtiment, 2018
- (59) APRUE, Rapport annuel sur la maîtrise de l'énergie, 2020

- (60) Arezki CHENANE, “Analyse des coûts de la gestion des déchets ménagers en Algérie à Travers la problématique des décharges publiques : Cas des Communes de la wilaya de Tizi-Ouzou. “
- (61) Radio Algérienne : article sur de Nouvelle loi sur la gestion des déchets : Redéfinir la notion des déchets en matière première à valoriser
- (62) Article du 22 juin 2021 “Gisement pour l'attractivité de l'industrie nationale”
- (63) Economie circulaire : Nécessité et Opportunité. (2023). Journal De l’Economie Circulaire Et Développement Durable, article 1(01). <https://jecdd.org/index.php/jecdd/article/view/1>
- (64) article TAIEX Workshop sur « l’Economie circulaire et stratégie innovante des déchets en Algérie » organisé par Le Centre de Recherche en Environnement (CRE), les 6, 7 et 8 février 2023, des Ateliers sur les Déchets Ménagers, leur gestion et leur intégration dans une économie circulaire. Un sujet qui depuis des décennies n’a pas manqué de soulever de nombreuses interrogations et qui reste d’actualité
- (64) Article de Wassila B du 5 janvier 2025 intitulé “l’économie circulaire en vogue en Algérie “ sur le journal électronique CAPDZ.
- (65) Article de « Hamedi Siad, N. (2025). Interview dans El Watan, « La création d’un financement vert doit être prise en charge », juin 2025)

## **Résumé**

Ce mémoire porte sur la valorisation du verre usagé à travers la production de laine de verre, dans une perspective d'économie circulaire. Il analyse les aspects liés à la typologie du verre, les procédés de transformation, et l'impact environnemental de cette production via l'analyse du cycle de vie (ACV). L'étude propose également un business plan démontrant la faisabilité technique et économique du projet dans le contexte algérien, avec l'objectif de proposer une solution durable, sans formaldéhyde, au service de l'industrie et de l'environnement.

### **Mots-clés:**

Économie circulaire – Verre usagé – Typologie du verre – Laine de verre – Recyclage – Analyse du cycle de vie (ACV) – Valorisation – Environnement – Liant sans formaldéhyde – Algérie – Industrie verte

## **Abstract**

This thesis focuses on the recovery of waste glass through the production of glass wool, within a circular economy framework. It analyzes the typology of glass, the transformation processes, and the environmental impact of this production using Life Cycle Assessment (LCA). The study also presents a business plan demonstrating the technical and economic feasibility of the project in the Algerian context. The objective is to offer a sustainable, formaldehyde-free solution that benefits both industry and the environment.

### **Keywords :**

Circular economy – Waste glass – Glass typology – Glass wool – Recycling – Life Cycle Assessment (LCA) – Recovery – Environment – Formaldehyde-free binder – Algeria – Green industry

## **Collaboration avec Knauf Insulation**

Dans le cadre de ce mémoire intitulé « *La production de laine de verre à partir du verre usagé* », on a eu l'opportunité d'effectuer un stage à distance en collaboration avec l'entreprise Knauf Insulation, l'un des leaders mondiaux dans le domaine de l'isolation thermique et acoustique, notamment par la production de laine de verre.

Ce stage en ligne, bien que réalisé à distance en raison de contraintes logistiques, a été d'une grande richesse sur le plan technique et professionnel. Il nous a permis d'accéder à des ressources internes, à des documents techniques et à des sessions de formation animées par des experts du domaine. En particulier, On souhaite remercier chaleureusement le formateur de Knauf Insulation, pour sa disponibilité, sa pédagogie et la qualité de ses explications. Grâce à lui, on a pu mieux comprendre :

- Les différentes étapes du processus industriel de fabrication de la laine de verre à base de verre recyclé ;
- Les critères de qualité du calcin utilisé comme matière première ;
- Le rôle des liants sans formaldéhyde dans la formulation moderne des produits isolants ;
- Les enjeux énergétiques et environnementaux de la filière.

Ce stage a renforcé nos compétences dans le domaine de la valorisation des déchets verriers, en m'apportant une vision concrète de l'application industrielle de l'économie circulaire dans le secteur de l'isolation. Il a également permis de faire le lien entre les connaissances théoriques acquises durant notre formation académique et la réalité du terrain industriel.

En conclusion, cette expérience avec Knauf Insulation a été un apport majeur à la réalisation de ce mémoire, en nous offrant à la fois un encadrement de qualité et un accès privilégié à des données techniques fiables et à jour