

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قلمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



## Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Ecologie et environnement

**Spécialité/Option:** Biodiversité et Environnement

**Département :** Ecologie et Génie de l'Environnement

### Thème

## Le recyclage du verre et autres déchets urbains dans la wilaya de Guelma

### Présenté par :

- Oulbani Chaima
- Ourlali Hadjer

### Devant le jury composé de :

- Président : M<sup>r</sup> Guettaf. M      MCA      Université 8 Mai 45 Guelma
- Examinatrice : M<sup>me</sup> YALLES. A      MCA      Université 8 Mai 45 Guelma
- Encadreur : M<sup>r</sup> NEDJAH. R      PR      Université 8 Mai 45 Guelma

**Juin 2023**

# *Remerciements*

**Nous remercions Allah, Dieu le  
Miséricordieux qui nous a éclairé la voix  
de la science et de la connaissance et par  
sa grâce on a réussi à achever ce travail**

Toute gratitude à notre promoteur monsieur **NEDJAH RIYAD** d'avoir accepté d'être l'encadreur de ce modeste travail, pour les efforts, les conseils, la patience et les heures qu'il a sacrifié pour nous et nous tenons à leur remercier infiniment.

Mr **GUETTAF. M** chargé de cours au département de biologie, pour nous avoir honoré de présider le jury.

Mme **YALLES. A** chargé de cours au département d'écologie, d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements vont également à tout les professeurs et les enseignants qui nous ont beaucoup encouragé et soutenu depuis le début de nos premiers cycles d'étude jusqu'à la cinquième année universitaire en particulier les enseignants du département d'écologie et génie de l'environnement

Enfin, nos sincères gratitudes à tous nous collègues et amis de la promo de Biodiversité et Environnement et tous

les promo de SNV

# DÉDICACE



## **Je dédie mon travail :**

A mes très chers parents pour leur encouragement, conseils et efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

A mes sœurs Meriem et ma jumelle Abir.

A mon frère Chamssou et mon petit Dhiaa Eddine.

A mes amies Roufaida et Teyma, Yousra, Dhikra, Khadija

A toute ma grande famille et à notre promo.

Sans oublier ma binôme Hadjer pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension.

***Oulbani Chaima***

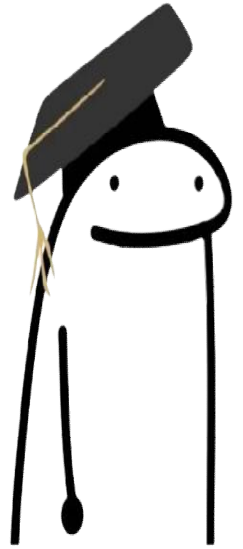
**Dédié à :**

Mon héros "mon père "

Ma reine "ma mère "

Mes sœurs, amis , et ma binôme Chaima

Et à la personne la plus forte que je connaisse : Moi.



***Ourlali Hadjer***

## Liste d'Abréviation

<b>%</b> : Pourcentage	<b>CET</b> : Centre d'Enfouissement Technique
<b>°A</b> : Angström	<b>CNFE</b> : conservatoire national des Formation à l'environnement
<b>°C</b> : Degré Celsius	<b>CO<sub>2</sub></b> :Dioxyde de carbone
<b>Ag<sub>2</sub>S</b> : Sulfure d'argent	<b>COO</b> : Oxyde de cobalt
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> :Alumine	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> : Oxyde de chrome
<b>AlF<sub>3</sub></b> :Fluorure d'aluminium	<b>CuO</b> : Oxyde de cuivre
<b>AND</b> : Agence nationale des déchets	<b>DEW</b> : Direction de l'Environnement de Wilaya
<b>As</b> :Arsenic	<b>EPIC</b> :Établissement public à caractère industriel et commercial
<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> :Trioxyded'arsenic	<b>Eu<sup>3+</sup></b> : Cation d'Europium
<b>As<sub>2</sub>S<sub>3</sub></b> :Sulfured'arsenic	<b>F-</b> :Fluorure
<b>As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub></b> :Triséleriure d'arsenic	<b>Fe</b> : Fer
<b>Av. J-C</b> : Avant Jésus-Christ	<b>Ge</b> : Germanium
<b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> : oxyde de bore	<b>GeO<sub>2</sub></b> : Dioxyde de gallium
<b>B<sub>2</sub>S<sub>3</sub></b> :Sulfure de bore	<b>GeO<sub>2</sub></b> : Dioxyde de gallium
<b>BaF<sub>2</sub></b> :Fluorure de baryum	<b>GeO<sub>4</sub></b> : Tétraédrique germanate
<b>BeF<sub>2</sub></b> :Fluorure de béryllium	<b>GeS<sub>2</sub></b> : Disulfure de germanium
<b>CaCO<sub>3</sub></b> :Carbonate de calcium	<b>IR</b> : Infra Rouge
<b>CaF<sub>2</sub></b> :Fluorure de calcium	
<b>CaO</b> : Oxyde de calcium	

**K** : Température en kelvin

**K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** :Carbonate de potassium

**K<sub>2</sub>O** : Oxyde de potassium

**K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** :Sulfate de potassium

**Kg /m<sup>3</sup>** : Kilogramme par mètre cube

**Kg** : Kilogramme

**KO<sub>2</sub>** : Superoxyde de potassium

**Li<sub>2</sub>S** : Sulfure de lithium

**MgO** : Oxyde de magnésium

**mm** : Millimètre

**Mn** :Manganèse

**MnO<sub>2</sub>** : Dioxyde de manganèse

**MPa** : Mégapascal

**Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** : Carbonate de sodium

**Na<sub>2</sub>O** :Oxyde de sodium

**Na<sub>2</sub>O** : Oxyde de sodium

**Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** :Sulfate de sodium

**NiO** : Oxyde de nickel

**O<sup>2-</sup>** :Superoxyde

**ONG** :Organisation non gouvernementale

**ONEDD** : Observatoire national de l'environnement et du développement durable

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : Pentoxyde de phosphore

**Pa** : Pascale

**PbI<sub>2</sub>** :Iodure de plomb

**PbO** : Oxyde de plomb

**PEBD** : Polyéthylène basse densité

**PEHD** : Polyéthylène haute densité

**PP** :Polypropylène

**PS** : polystyrène

**PVC** :Polychlorure de vinyle

**R20** : Regions of Climate Action

**RMQ** :Le responsable management qualité

**S** : Soufre

**Sb** :Antimoine

**Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Trioxyde antimoine

**Se** : Sélénium

**Si** : Silicium

**SiO<sub>2</sub>** : Dioxyde de silicium

**SiO<sub>2</sub>** :Dioxyde de silicium

**Sn** : Etain

**SO<sub>2</sub>** :Dioxyde de soufre

**SrO<sub>2</sub>** : Strontium peroxide

**T/j** : Tonne par jour

**Te** : Tellure

**TeO<sub>3</sub>** : Tellurique

**Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Oxyde de titane

**UV** : Ultraviolet

**UV** : Ultraviolet

**VO<sub>2</sub>** : Oxyde de vanadium

**WO<sub>3</sub>** : Trioxyde de tungtène

**ZnBr<sub>2</sub>** : Bromure de zinc

**ZnCl<sub>2</sub>** : Chlorure de zinc

**µm** : Micromètre

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Propriétés physiques du verre .....	17
<b>Tableau 2:</b> Composition chimique des principaux types de verres.....	21
<b>Tableau 3:</b> Couleur de verre obtenue selon l'oxyde métallique introduit.....	22
<b>Tableau 4:</b> les quantités des verres produites dans le monde en milliers de t.....	39
<b>Tableau 5:</b> Principaux pays exportateurs en tonnes, en 2021 .....	39
<b>Tableau 6:</b> Principaux pays exportateurs, en 2021 .....	40
<b>Tableau 7:</b> Les différents types de sigles de recyclage .....	47
<b>Tableau 8:</b> Coûts et répartition du recyclage du verre, 1996 (francs par tonne).....	52
<b>Tableau 9:</b> La Répartition de la population par Daira dans la wilaya de Guelma pour les années 2008, 2009, 2010 et 2011 .....	57
<b>Tableau 10:</b> Questionnaire N°01 pour le CET de Guelma. ....	67
<b>Tableau 11:</b> Questionnaire N°02 pour le CET de Guelma. ....	68
<b>Tableau 12:</b> Questionnaire pour la DE de Guelma. ....	69
<b>Tableau 13:</b> Questionnaire N°01 pour la DGF de Guelma. ....	70
<b>Tableau 14:</b> Questionnaire N°02 pour la DGF de Guelma. ....	71
<b>Tableau 15 :</b> présentation des déchets admis en déchèterie.....	71
<b>Tableau 16:</b> estimation des quantités de déchets Destinés à l'enfouissement a horizon de 20 ans.....	72
<b>Tableau 17:</b> Composition des DMA produits par la commune .....	72



## La liste des figures

<b>Figure 1:</b> : Marchands phéniciens .....	6
<b>Figure 2:</b> Vase de Portland, I er siècle av. J.-C .....	8
<b>Figure 3:</b> Bracelet en perles de verre V <sup>e</sup> siècle av. J.-C .....	8
<b>Figure 4:</b> Représentations schématiques (a) de l'état cristallin et (b) de l'état vitreux.....	10
<b>Figure 5:</b> Evolution de la dilation thermique en fonction de la température d'un verre.....	18
<b>Figure 6:</b> Calcin.....	23
<b>Figure 7:</b> Verre en fusion dans un four .....	27
<b>Figure 8 :</b> Coupe latérale d'un four pour verre plat .....	27
<b>Figure 9:</b> Coupe latérale d'un four pour verre plat .....	28
<b>Figure 10:</b> Schéma du procédé de laminage .....	29
<b>Figure 11:</b> Schéma de la débiteuse.....	30
<b>Figure 12:</b> Principe du procédé .....	30
<b>Figure 13:</b> schéma du procédé float .....	31
<b>Figure 14:</b> Représentation schématique de fabrication de fibres de verres par étirage mécanique.....	32
<b>Figure 15:</b> Recuison des produits en verre .....	33
<b>Figure 16:</b> Contrôle de bouteilles.....	34
<b>Figure 17:</b> Exemple du verre plat.....	35
<b>Figure 18:</b> Les différentes étapes de fabrication du verre d'emballage.....	35
<b>Figure 19:</b> exemple d'infusible : bouchon mécanique de bouteille .....	36
<b>Figure 20:</b> Le verre dans les déchets ménagers.....	38
<b>Figure 21:</b> Carte des usines de production du verre d'emballage en Europe.....	40
<b>Figure 22:</b> Taux de recyclage du verre d'emballage en 2012 .....	49
<b>Figure 23:</b> Les étapes de recycler le verre.....	51
<b>Figure 24:</b> : Localisation de la wilaya de Guelma.....	56
<b>Figure 25:</b> Le nombre des entreprises de recyclage en Algérie. ....	64
<b>Figure 26:</b> Répartition des entreprises de recyclage en Algérie.....	65
<b>Figure 27:</b> Nombre des entreprises de recyclage par type de déchet en Algérie .....	65
<b>Figure 28:</b> Nombre d'entreprises de recyclage par type de déchet en Tunisie.....	66
<b>Figure 29:</b> Nombre d'entreprises de recyclage par type de déchet en France.....	67
<b>Figure 30:</b> Quantité de déchets total du CET en tonne par mois pour l'année 2022 .....	68
<b>Figure 31:</b> : Représentation typologie des plastiques existants.....	69

<b>Figure 32:</b> Le pourcentage des gens qui font le tri sélectif. ....	74
<b>Figure 33:</b> La quantité de verre jeté par mois. ....	74
<b>Figure 34:</b> les différents types de verre jeté. ....	74
<b>Figure 35:</b> le pourcentage de personne ayant conscience du recyclage verre.....	75

## Table des matières

**Remerciement :**

**Dédicace :**

**Dédicace**

**Liste d'Abréviation**

**Liste des tableaux**

**La liste des figures**

**Table des matières**

**Introduction**

**Chapitre I : Généralité sur le verre ..... 5**

1 Histoire ..... 6

2 Définition du verre ..... 8

3 Classification des différents types de verre ..... 11

4 Les propriétés du verre ..... 16

4.1 Propriétés physiques ..... 16

4.2 Propriétés chimiques ..... 17

4.3 Propriétés thermique ..... 17

4.4 Propriétés électrique ..... 19

4.5 Propriétés optiques ..... 19

5 Les élaborations des verres ..... 19

5.1 Les matières de base ..... 19

5.1.1 Les matières premières naturelles ..... 19

5.1.1.1 Les oxydes formateurs ..... 20

5.1.1.2 Les oxydes modificateurs ..... 20

5.1.1.3 Les oxydes secondaires ..... 22

5.1.2 Le verre récupéré : le calcin ..... 23

5.2 La préparation de lit de fusion ..... 25

5.3 L'élaboration du verre ..... 26

5.3.1 La fusion ..... 26

5.3.2 L'affinage et l'homogénéisation ..... 28

5.3.3 La braise ..... 28

5.4 Mise en forme ..... 28

5.4.1 La mise en forme du verre plat ..... 29

5.4.2 La mise en forme du verre creux ..... 31

5.4.3 Fibres de verre ..... 32

5.5 La recuisson ..... 33

5.6 Les contrôles de qualité des produits finis ..... 34

6 Les problèmes rencontrés lors de la fabrication et leurs solutions ..... 36

6.1 La nature du calcin .....	36
6.2 Les infusibles.....	36
6.3 Les métaux et alliages métalliques.....	37
6.4 Les solutions à retenir : .....	37
7 Le verre dans les déchets ménagers et assimilés.....	38
8 Les producteurs et les lieux de production des verres.....	39
8.1 Production de l'Union européenne.....	41
8.2 Principaux producteurs mondiaux.....	41
9 Les avantages et les inconvénients du matériau verre.....	42
9.1 Les avantages .....	42
9.2 Les inconvénients .....	43
<b>Chapitre II :Le recyclage de verre.....</b>	<b>44</b>
1 Histoire de recyclage .....	45
1.1 Définition de recyclage .....	45
1.2 Technique de recyclage.....	46
1.3 Le sigle de recyclage .....	46
2 La valorisation et recyclage des déchets en Algérie .....	47
2.1 La production des déchets en Algérie .....	47
3 Pourquoi recyclé le verre.....	48
4 Les produits vitreux recyclé .....	49
5 Le verre ne pas recyclé.....	49
6 Cycles de recyclages: .....	50
7 Le processus de recyclage de verre .....	50
7.1 Pré-tri.....	50
7.2 Collecte: .....	50
7.3 Tri et conditionnement .....	50
7.4 Transformation .....	51
8 Les avantages de recycler le verre .....	51
8.1 Écologique.....	51
8.2 Économique.....	52
8.3 Un engagement collectif.....	53
9 Impact de recyclage de verre sur l'environnement .....	53
10 Domaines de recyclage des déchets de verre: .....	53
<b>Chapitre III : Matériel et méthodes.....</b>	<b>53</b>
1 Description de site d'étude .....	56
1.1 Situation géographique.....	56
1.2 Situation démographique.....	57
2 La situation économique .....	58
2.1 L'activité industrielle .....	58
2.1.1 Les unités Industrielles.....	58
2.2 Zones d'activités .....	58

2.3 Zones industrielles.....	58
2.4 Activité agricole .....	59
2.5 Activité touristique.....	59
3 Méthodologie adoptée .....	60
3.1 Élaboration du questionnaire.....	61
3.1.1 Direction de l'Environnement, Wilaya de Guelma.....	61
3.1.2 Centre d'enfouissement technique de la wilaya (CET).....	61
3.1.3 Direction générale des forêts DGF .....	62
<b>Chapitre IV : Résultat et discussion .....</b>	<b>60</b>
1 Les entreprises de recyclage en Algérie.....	64
2 Répartition des entreprises de recyclage en Algérie .....	64
3 Le nombre des entreprises de recyclage en Algérie en fonction de nature des déchets	65
4 Comparaison entre le recyclage en Algérie et la Tunisie.....	66
5 Comparaison entre le recyclage en Algérie et en France .....	66
6 Traitement et analyse des résultats de l'enquête des différentes structures administratives traitant ou fréquentent les déchets urbains.....	67
6.1 Résultats des questionnaires de CET de Guelma .....	67
6.2 Quantité de déchets total du CET.....	68
6.3 Résultats des questionnaires de la direction de l'environnement (DE) de Guelma	69
6.4 Le Questionnaire de direction générale des forêts (DGF) de Guelma .....	70
6.4.1 Type de déchet trouvés dans les forêts de la W de Guelma Quantité .....	70
6.4.2 Les déchets admis en déchetterie .....	71
6.4.3 Estimation et évolution des capacité requise de traitement des déchets .....	72
6.4.4 Données sur la caractéristique des déchets .....	72
6.5 Résultats des questionnaires orientés vers les gens.....	73
6.6 Résultat de Questionnaire orienté vers entreprise Alver .....	75
<b>Conclusion</b>	
<b>Bibliographie</b>	
<b>Annexes</b>	
<b>Résumé</b>	

# *Introduction*

## Introduction générale

L'environnement est tout ce qui nous entoure. C'est l'ensemble des éléments naturels et artificiels au sein duquel se déroule la vie humaine.

L'environnement serait donc à un moment donné le milieu dans lequel l'individu et/ou le groupe évoluent, ce milieu incluant l'air, l'eau, le sol, leurs interfaces, les ressources naturelles, la faune, la flore, les champignons, les microbes et les êtres humains, les écosystèmes et la biosphère **(Belabed, 2021)**.

L'accroissement de la population d'une part, le développement des techniques agricoles et industrielles de production rendant accessibles au plus grand nombre les produits agricoles et manufacturés d'autre part, ont eu pour effet de générer des quantités de déchets toujours plus importantes. Les déchets produits en faibles quantités que la nature pouvait dégrader à l'origine, sont devenus des masses colossales qu'il a fallu progressivement réglementer tant au niveau de la collecte du traitement **(Damien, 2013)**.

La pollution environnementale est l'un des problèmes les plus importants qui méritent d'être étudiés et pris en compte, car il est devenu une réalité imposée dans nos sociétés et nos villes sous toutes ses formes et ses normes **(Khair, 2009)**.

A ce jour, la principale voie de traitement des déchets en Algérie est la mise en décharge. Cette technique est souvent utilisée dans les pays en développement, mais elle aboutit souvent à des décharges incontrôlées et à ciel ouvert, où tous les types de déchets sont rejetés, à l'état brut et mélangés : ménagers et assimilés, industriels, hospitaliers et agricoles **(Kihal, 2015)**.

Aujourd'hui, notre pays connaît une augmentation de sa population, bien sûr, avec l'augmentation de la production de déchets urbains.

Nous avons constaté que ce type de déchets est sauvagement rejeté dans la nature sans traitement naturel à grande échelle, ce qui constitue une menace pour la santé humaine, la flore et la faune, la qualité des plantes et de l'environnement. Cela tient en grande partie à une mauvaise gestion des déchets. Cette situation nécessite des moyens de contrôle, et résout de manière appropriée les problèmes liés à la réduction des déchets en fonction de notre situation.

Une des solutions à ce type de problèmes peut être la technique de recyclage. L'industrie de recyclage est chargée de nous aider à préserver et à protéger notre monde.

## Introduction générale

Le verre est l'un des déchets solides dangereux qui menace la sante publique et l'environnement. Ce matériau riche en silice demande des milliers d'années pour se dégrader, est malheureusement non exploité en Algérie.

Le recyclage du verre consiste simplement à convertir les déchets de verre en produits utilisables. Il s'agit bien d'une activité très importante dans plusieurs pays développés tels que la France, les États-Unis d'Amérique, l'Allemagne ... Pourquoi pas chez nous en Algérie

Dans le cadre de notre formation au sein de la filière écologie et environnement de Guelma nous sommes amenés à réaliser un projet de fin d'étude.

Ce projet consiste à créer une entreprise industrielle de recyclage du verre, à élaborer le besoin plan et à mettre en pratique nos connaissances théoriques pour déterminer la faisabilité du projet.

L'objectif de notre entreprise est d'optimiser la collecte de tous les types de verre utilisé d'après le tri de déchet urbain, et de les recycler pour leur donner une autre vie.

Ce travail s'organise donc autour de quatre chapitres

Le rapport démarre par une introduction générale qui est surtout destinée à décrire et exposer le problème considéré et préciser l'objectif de cette étude.

- ✓ Le premier temps, Nous allons parler sur le verre en général et sa composition et les Caractéristiques de chaque type et nous parlons sur les différents procédés de fabrication du verre (verre Plat, creux, fibres de verre).
- ✓ Dans la deuxième partie, nous présenterons le processus de recyclage du verre et leurs étapes, avantages et inconvénients.
- ✓ Le troisième chapitre qui est la partie expérimentale, elle est consacrée aux méthodes et matériel partie comporte une enquête dans la direction de l'environnement, le centre d'enfouissement technique (cet) et la direction générale des forêts de Guelma, l'entreprise de recyclage (Alver) et un questionnaire pour nos collègues.

Le dernier chapitre est réservé au traitement des résultats obtenus et discuter le conformément de ces valeurs aux normes algériennes, tunisienne, française.

Enfin, une conclusion générale résume les résultats obtenus au cours de ce travail.



*Chapitre I :*  
*Généralité sur le verre*

### Histoire

« On raconte que des marchands phéniciens, ayant relâché sur le littoral du fleuve Belus, préparaient, dispersés sur le rivage, leur repas, et que ne trouvant pas de pierres pour exhausser leurs marmites, ils employèrent à cet effet des pains de natron de leur cargaison. Ce nitre ayant été ainsi soumis à l'action du feu avec le sable répandu sur le littoral du fleuve, ils virent couler des ruisseaux transparents d'une liqueur inconnue, et telle fut l'origine du verre » (Pline l'ancien, 74apr. j.-c in Didier, 2017).



Figure 1 : Marchands phéniciens (Pline, 74).

#### a. Les origines : 3000 ans av. JC

Les plus anciens objets en verre produits par l'Homme ont été retrouvés en Egypte et datent de 3 000 ans avant Jésus-Christ. Leur fabrication reprend un procédé découvert par des marins en Mésopotamie environ 4 500 ans avant Jésus-Christ. Pour installer leur feu de camp sur une plage de sable, ils ont utilisé des blocs de soude naturelle qu'ils transportaient et ont remarqué la formation de perles de « verre » dans le foyer (Jonathan et al., 2008).

#### b. Le premier épanouissement : XV<sup>ème</sup> siècle av. JC

Tout d'abord utilisé en morceaux taillés comme objets d'ornementation, le verre est destiné à devenir un contenant alimentaire vers 1 500 ans avant Jésus-Christ. La technique de fabrication consistait à mouler les bols, carafes et autres coupes, autour d'une structure de sable ou d'argile. Cette technique est importée en Europe vers 900 avant Jésus-Christ par les empires romain et grec (Jonathan et al., 2008).

### c. L'apparition du verre soufflé : Ier siècle av. JC

On attribue cette invention à la Syrie grâce à l'invention de la canne à souffler. De là, cette méthode passa en Italie, puis en Gaule et en Espagne.

Au même moment, on inventa le verre transparent à la Sidon (Phénicie), probablement à cause de la pureté des sables de la région et de la présence de natron [1].

### d. Au Ier siècle av. JC

Cette découverte entraîne la naissance d'une forte industrie de verre creux. Grâce au soufflage à la canne, l'artisan est à bonne distance de la source de chaleur et il peut donner forme à des pièces de plusieurs dizaines de centimètres [1].

Le verre incolore apparut alors et se répandit à partir du siècle, il est obtenu par adjonction de manganèse, qui joue le rôle de purificateur. La teinte naturelle du verre, bleu verdâtre, est due à la présence d'oxydes métalliques contenus dans le sable qui sert à sa fabrication [1].

### e. Le verre plat soufflé : Vème et le Xème siècle

Deux techniques sont apparues conjointement :

- Le soufflage en couronne : produit dans l'ouest de la France et en Angleterre où sa production dure jusqu'au XIXème siècle. Le verre plat ne prit son essor qu'à partir de l'invention de ce nouveau procédé. Il s'agit d'abord d'un verre vase soufflé à fond plat que l'on fait ensuite tourner face à l'ouverture d'un four [1].

- Le soufflage en manchon : produit dans l'Est et dans l'Europe centrale. C'est un cylindre de verre obtenu par l'allongement de la paraison cueillie par la verrerie, puis fondu, ramolli et aplati. Ces procédés furent utilisés durant tout le Moyen âge pour la fabrication des viraux [1].

Le Moyen-Âge reste flou sur les données historiques liées au verre et à sa fabrication. Au XVe siècle, des Maîtres Verriers italiens s'installent en Haute-Normandie. C'est alors que peut commencer la fabrication de bouteilles, flacons et gobelets. En 1675, l'industrie anglaise du verre connaît une évolution notable avec l'ajout d'oxydes de plomb dans la composition de base afin de solidifier le matériau. Le XVIe siècle connaît en France un changement capable

de concurrencer la verrerie vénitienne. Colbert, via la Manufacture Royale des Glaces, encourage cette industrie pour le compte de la France (**Tristan, 2013**).

Au XXème siècle, le développement formidable de la science et la technologie a promu le verre à un rang d'un matériau noble pour plusieurs applications fines. La technologie verrière< utilisé actuellement a permis d'atteindre des performances remarquables dans tous les domaines connexes de l'optoélectronique : fibres optiques pour les télécommunications, revêtements anti-réfléchissant pour capteurs solaires, lasers médicaux et industriels, (**Jonathan et al., 2008**).

Les propriétés du verre et leur amélioration constante en font un matériau presque omniprésent. Incolore ou teinté, à l'état massif ou de fil, en plein jour ou à l'abri des regards, il est l'un des matériaux le plus utilisé par notre société de consommation (**Jonathan et al., 2008**).



**Figure 3:** Bracelet en perles de verre V<sup>e</sup> siècle av. J.-C (**Didier, 2017**)



**Figure 2:** Vase de Portland, I<sup>er</sup> siècle av. J.-C (**Didier, 2017**)

### Définition du verre :

Il n'y a pas de définition uniforme du verre, mais il en existe plusieurs, en fonction de l'aspect fonctionnel, structurel ou opérationnel. Selon ces normes, le verre peut être défini respectivement comme suit : Le verre est un matériau solide, transparent, homogène et cassant, il résister au feu, et au contact de tous les liquides, c'est un solide non cristallin, encore appelé solide amorphe, présentant le phénomène de transition vitreuse. L'état physique correspondant est l'état vitreux (**Zarzycki, 1982**).

Le verre peut être alors décrit comme un solide possédant une structure désordonnée dépourvue d'ordre à longue distance à l'inverse du cristal qui se caractérise par un arrangement structural, périodique et tridimensionnel (existence d'une maille cristalline) **(Jlassi, 2012)**.

Pour mieux comprendre de verre il faut passer à la définition du l'état vitreux et l'état cristallin.

### ❖ L'état vitreux

L'état vitreux ou amorphe des matériaux est caractérisé par l'absence d'ordre à grande distance (l'ordre à grande distance définit des macromolécules par rapport à leurs proches voisins, en termes de distance, arrangement et orientation). Il n'y a pas de distance constante entre les macromolécules et aucune régularité dans l'arrangement et l'orientation de celle-ci dans les zones su microscopiques, et ceci en raison de la structure et la disposition aléatoire des chaines individuelles. L'utilisation usuelle des concepts d'ordre à grande distance pour caractériser l'état solide et d'ordre courte distance pour l'état liquide **(Lafuma, 1962)**.

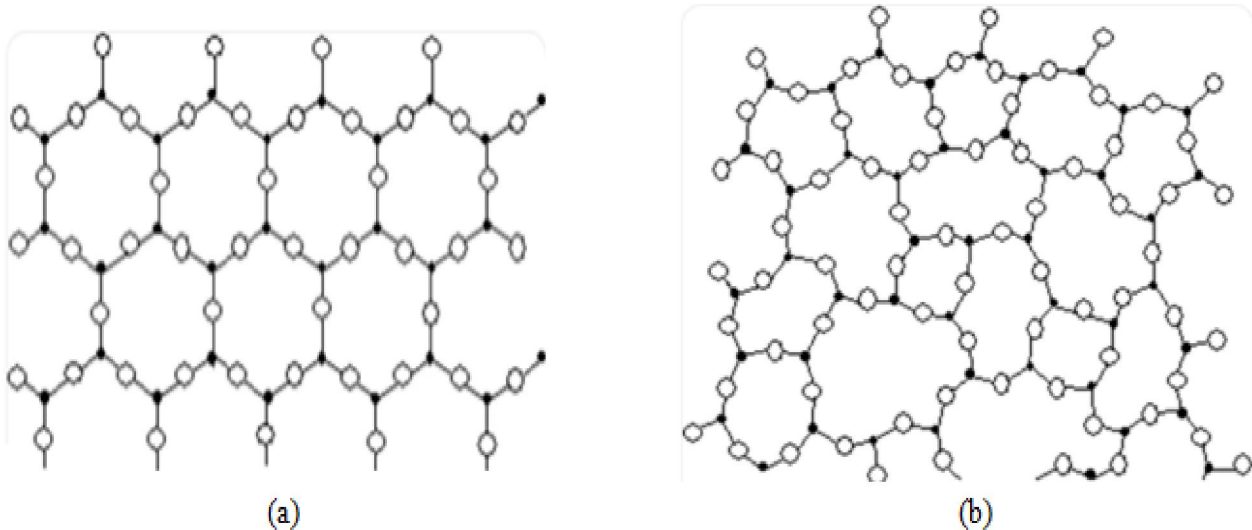
La structure des macromolécules dans les états physiques solide (vitreux) et liquide étant très semblable pour les matériaux amorphes, on parle également de liquide figé (des segments macromoléculaires entiers peuvent se mouvoir dans la matière fondue ; il s'agit des mouvements macro browniens. C'est ce qui différencie la matière fondue du liquide Figé, où ces mouvements sont impossibles) pour définir l'état vitreux obtenu ou refroidissement **(Lafuma, 1962)**.

### ❖ L'état cristallin

La caractéristique de l'état cristallin n'est pas seulement dans les formes extérieures ; elle réside dans l'arrangement des atomes qui constituent le solide. Les rayons X ont permis de vérifier et de préciser quantitativement que les atomes d'un cristal sont rangés de façon périodique **(Phalippo, 2001)**.

La matière cristallisée possède une structure triplement périodique ; les atomes sont distribués périodiquement, aux nœuds d'un réseau tridimensionnel. L'espace est alors divisé en parallélépipèdes qu'on appelle mailles, toutes identiques entre elles. Il suffit de connaître la nature et la position des atomes, contenue dans une maille et les conditions de translation, pour que l'ensemble du cristal soit déterminé **(Phalippo, 2001)**.

De l'arrangement périodique des atomes résultent l'existence de propriétés anisotropes discontinues, c'est-à-dire des propriétés variant d'une façon discontinue avec la direction, telles que les faces planes et les arrêtes rectilignes, les clivages (micas), les plans réflecteurs de rayons X, propriétés que caractérisent vraiment l'état cristallin (Phalippo, 2001).



**Figure 4:** Représentations schématiques (a) de l'état cristallin et (b) de l'état vitreux [2]

### ❖ La viscosité

La viscosité est l'un des paramètres les plus importants pour un traitement optimisé du verre. Par conséquent, il est important de connaître la relation de température de viscosité d'un verre [3].

La mesure de la viscosité est simple : une force est appliquée sur l'échantillon de verre, le gradient de vitesse résultant est mesuré et la viscosité est calculée [3].

La viscosité est une qualité qui peut résister à la résistance à l'écoulement du matériau sur une surface donnée. C'est le cas lorsque le verre est chauffé entre 1000 et 1400 ° C [3].

Les molécules sont reliées entre elles et ont la liberté de se déplacer les unes par rapport aux autres : c'est ce qu'on appelle la viscosité. Autrement dit, même un verre fortement chauffé ne coulera jamais, il deviendra progressivement malléable, puis de 1000 ° à 1400 ° C, il deviendra visqueux (consistance de miel). Dans le sens inverse, au fur et à mesure que le matériau refroidit, le matériau devient de plus en plus visqueux, redevient plastique (on peut le déformer car il peut encore se déformer), puis redevient finalement solide et rigide [1].

Par conséquent, le verre peut être considéré comme un liquide congelé (solide amorphe) obtenu après solidification d'un matériau surfondu de viscosité extrêmement élevée. Rappelez les trois états de base de la matière [1] :

- **L'état solide** : Les molécules sont organisées et les liaisons entre elles sont fixes (cristallisation).
- **L'état liquide** : Les positions et les distances entre les molécules varient constamment. La structure est désordonnée.
- **L'état gazeux** : les liaisons entre les molécules sont rompues, la matière occupe la totalité du volume qui lui est proposée [1].

**Classification des différents types de verre :**

### 3.1 Verres naturels

Des substances à l'état vitreux existent rarement dans la nature. La vitrification survient en général seulement lorsque la lave fondue arrive à la surface de la croûte terrestre et y subit un brusque refroidissement. Parmi les roches éruptives qui peuvent contenir des proportions plus ou moins élevées de phases vitreuses on peut citer plus particulièrement les obsidiennes qui sont des verres naturels ayant une composition voisine de celle des verres industriels courants (**Zarzycki, 1982**).

Les obsidiennes sont colorées en noir, gris, ou brun rouge, par des impuretés (Fe, Mn, etc.) et contiennent moins de 3% d'eau. Il est probable que les blocs de verre de silice que l'on trouve dans le désert de Libye proviennent des impacts météoritiques (**zarzycki, 1982**).

Toute fois presque tous les verres connus sont des matériaux produits artificiellement.

### 3.2 Verres artificiels

Il existe plusieurs substances pouvant former des verres, mais seuls certains d'entre eux ont acquis de par leurs applications et leurs propriétés, une importance pratique. Nous pouvons citer différents types de verres : Verres métalliques, Verres chalcogénures (sulfures, sélénures, tellures), Verres d'oxyde, Verres halogénés ou Verres fluorés, Polymères vitreux, etc.... (**Zarzycki, 1982**).

Dans ce qui suit, nous citons les principaux types de verres, leurs caractérisations principales et leurs domaines d'utilisation (**Zarzycki, 1982**).

### 3.2.1 Les verres d'oxyde

Les verres d'oxyde sont historiquement les plus anciens et industriellement les plus exploités. La plupart de verres sont constitués par des oxydes ou des mélanges d'oxydes tel que :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  (**Guezzoun, 2012**).

#### a. Verre de silice :

Les verres de silice sont le plus important et représentent plus de 9.5% de tonnage des verres produits industriellement. Ils sont des matériaux transparents compose de sable de silice ( $\text{SiO}_2$ ) fondant à une température très élevée (1750-2000°C), constitué par un assemblage désordonné de tétraèdre ( $\text{SiO}_4$ ). Ce matériau possède une excellente transparence dans le domaine ultraviolet. Les verres de silices possèdent aussi une bonne isolation thermique. Ainsi le coefficient de dilatation est de l'ordre de  $10^{-7}$  ( $\text{K}^{-1}$ ) qui lui confère une très bonne tenue au choc thermique (**Guezzoun, 2012**).

Les qualités optiques de la silice, le rend susceptible de réaliser des dispositifs sous former de guides d'onde ou de constituants de cœur de fibre optique pour les télécommunications. De nombreuses utilisations pour les synthèses chimiques : vaisselle, creusets, tubes, (**Guezzoun, 2012**).

#### b. Verre sodo-calciques :

Exemple de composition : Silice (72%) + soude (13%) + chaux (5%). C'est le plus commun des verres. Il a une bonne stabilité thermique. Il est utilisé pour la fabrication des verres plats et creux, des ampoules électriques et en bouteille (**James et Claude, 2005**).

La température de ramollissement pour 70% de silice = 700 °C. Son coefficient de dilatation est élevé :  $86 \times 10^{-7}$  (de 0 à 300°C) (**James et Claude, 2005**).

#### c. Verres de borates :

Les verres de borate sont constitués de l'anhydride borique  $\text{B}_2\text{O}_3$  qu'il est passant systématiquement à l'état vitreux au refroidissement. A cause de son hygroscopicité (le verre de  $\text{B}_2\text{O}_3$  est très soluble dans l'eau), le verre de borate n'est jamais utilisé seul dans la pratique mais entre la composition de nombreuse verre industriels. Les verres de borates ont fait l'objet de nombreux travaux à cause de leur température d'élaboration moins élevée que celle des silicates (**Mellaoui, 2014**).



Les boro-aluminates du système  $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  possèdent une isolation électrique élevée qu'ils trouvent lieu dans les applications électrotechnique (**Mellaoui, 2014**).

La famille de borosilicate du système  $80\text{SiO}_2\text{-15B}_2\text{O}_3\text{-5Na}_2\text{O}$  est la plus adoptée dans les verres de Pyrex, Simax ou Vycor. Ces verres sont utilisés essentiellement en chimie pour la verrerie de laboratoires à cause de leur faible coefficient de dilatation thermique (voisin de  $3.10^{-6}\text{K}^{-1}$ ) et leur bonne résistance chimique (**Mellaoui, 2014**).

### d. Verres de phosphate :

Les verres phosphatés se singularisent des silicates par leur faible température de fusion, leur grande transparence dans l'UV et leur faible transparence dans l'IR. Les verres phosphatés sont très performants surtout lorsqu'ils sont dopés aux ions de terres rares tels que l' $\text{Eu}^{3+}$ . Ils s'accompagnent d'une faible durabilité chimique (**Le. petit, 2002**).

### e. Verres de Germinâtes :

L'oxyde de germanium  $\text{GeO}_2$  forme un verre iso-structural de la silice à base de tétraèdres  $\text{GeO}_4$ . Du fait de son prix qui est très élevé, sa faible réfractivité et sa moindre résistance aux agents corrosifs, il est rarement utilisé dans les compositions verrières (**Stoitia, 2006**).

Cependant son importance est surtout d'ordre fondamental lorsqu'on l'ajoute comme dopant dans le verre de silice pour augmenter l'indice de réfraction, ce qui en fait un élément de choix pour la réalisation du cœur des fibres optique pour la télécommunication à longue distance (**Stoitia, 2006**).

### 3.2.2 Verre d'oxydes lourds :

Les verres d'oxydes lourds se composent essentiellement des oxydes:  $\text{PbO}$  ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{TeO}_3$ . Ils forment des verres avec des indices de réfractions plus élevé et une transmission dans l'infrarouge plus étendue jusqu'à  $8\mu\text{m}$ . Ils sont utilisés dans la mise en œuvre des instruments optiques de précision (lentilles objectifs), ils jouent aussi le rôle de filtre (verre de protection) ou guide d'onde pour la transmission des signaux (**Ghenimi et Hezil, 2017**).

On appelle un calogène les éléments S, Se et Te. Ils peuvent former de verre eux-mêmes à eux toute seul ou avec l'association d'autre éléments du groupe (Ge, Si, Sn) et le

groupe (Sb, As). Ils forment des verres binaires tels que :  $As_2S_3$ ,  $As_2Se_3$ ,  $GeS_2$  ou ternaires tel que :  $Ag_2S$ ,  $Li_2S$ ...etc (Ghenimi et Hezil, 2017).

### 3.2.3 Verre de Chalcogènes:

On appelle un calogène les éléments S, Se, Te. Ils peuvent former de verre eux-mêmes à eux tout seul ou avec l'association d'autres éléments du groupe IV (Ge, Si, Sn) et le groupe V (Sb, As). Ils forment des verres binaires tel que  $As_2S_3$ ,  $As_2Se_3$ ,  $GeS_2$  ou ternaires tel que  $As_2S_3-Ag_2S$ ,  $Sb_2S-Ag_2S$ ,  $B_2S_3-Li_2S$ . Dans un domaine de vitrification plus étendu. La plupart des verres chalcogènes sont opaques dans le domaine de visible et transparents dans l'infrarouge (jusqu'à  $30\mu m$ ). Ils possèdent également une température de ramollissement entre  $100-300C^\circ$  et une faible résistance chimique. De ce fait ils sont utilisés principalement au domaine d'optique infrarouge (lentilles, capteurs infrarouge, xérographie),(Kharchi et Hafayed, 2020).

### 3.2.4 Verre Organique :

Il existe des polymères vitreux comme les poly méthacrylates qui forment des verres sous l'appellation commerciale "Plexiglas" "Altuglas". Il y a des nombreux composants organiques qui conduisent à des verres tel que : le Salol et le Glycérol. Les verres organiques ont l'avantage de présenter un bon facteur de mérite au-dessus de  $2\mu m$ . En revanche, ils sont à exclure pour des applications dans le domaine de télécommunications ( $1,5\mu m$ ) du fait de leur absorption résiduelle et à leur basse température de transition vitreuse (Ghenimi et Hezil., 2017).

### 3.2.5 Verre métallique :

Les verres métalliques sont des alliages amorphes obtenus par trempe depuis la phase liquide. Ces alliages peuvent aussi être obtenus par d'autres techniques telles que : le broyage, le laminage, le dépôt en couche mince, ou le dépôt électrochimique. Ces verres métalliques se distinguent des métaux cristallisés par l'absence de microstructures (pas de joints de grain, ni de grain), et l'absence d'ordre atomique à longue distance. Les verres métalliques se présentent le plus souvent sous formes de rubans ou tiges. Ces verres se distinguent des métaux cristallisés par l'absence de microstructures et l'absence d'ordre atomique à longue distance (Largot, 2020).

L'utilisation de ces verres est limitée car ils ne peuvent être obtenus qu'à l'état de fils ou de rubans, par exemple dans la fabrication des cadrans de montres, des bijoux, des boîtiers de téléphones portables, ou de clés USB... **(Inoue et Takeuchi, 2004)**.

Les caractéristiques structurales (absence d'ordre atomique, présence d'une température de transition vitreuse, isotropie idéale) confèrent aux verres métalliques un ensemble original de propriétés, qui diffèrent des alliages et métaux cristallisés. Nous pouvons citer en premier lieu les propriétés mécaniques. Les verres métalliques présentent un comportement super élastique. D'autres propriétés comme leurs propriétés chimiques (bonne résistance à la corrosion en milieu acide de certains alliages), font des verres métalliques des matériaux très attractifs, ou leurs propriétés magnétiques. Ces verres sont aussi exploités pour la fabrication de transformateurs, d'aimants doux, de têtes de lecture pour disques magnétiques, ou d'antivols, dans la fabrication des cadrans de montres et des bijoux **(Orveillon, 2008)**.

### 3.2.6 Verre d'Halogénures :

C'est une grande famille de verres composée essentiellement des éléments halogènes tels que le chlore, le bromure, l'iodure ou le fluor. On connaît les verres chlorés comme :  $ZnCl_2$ ,  $BiCl_3$ ,  $CdCl_3$ , ou d'autres verres halogénés comme :  $ZnBr_2$ ,  $PbI_2$ . Tous ces verres sont transparents dans l'infrarouge alors que leur application reste hypothétique **(Charef, 2010)**.

### 3.2.7 Verre de fluorures :

Comme les oxydes, les fluorures peuvent former des verres. En effet, le rayon ionique de l'ion  $F^-$  est très voisin de celui de l'ion  $O^{2-}$  ( $R_{F^-} = 1.285 \text{ \AA}$  ;  $R_{O^{2-}} = 1.35 \text{ \AA}$ ) malgré que les verres fluorobéryllés furent les premiers verres fluorés signalés par Goldschmidt, en 1926. Leur utilisation a resté limitée en raison de la toxicité du fluorure de béryllium mais aussi de leur hygroscopicité. Par la suite, les verres dits ABF (Aluminium béryllium fluor), issus du système  $BaF_2$ - $CaF_2$   $AlF_3$ - $BeF_2$  ont été proposés **(Frederick, 1957)**.

La révolution des verres fluorés, fut enclenchée en 1975 par la découverte d'une nouvelle série, dont le formateur est le fluorure de zirconium. Le parrain de cette découverte fut Michel Poulain. Depuis, ces verres ont fait l'objet de nombreuses études en raison de leur bonne transparence dans l'infrarouge (jusqu'à l'ordre de  $10 \mu\text{m}$ ) ; ces matériaux sont de sérieux candidats pour la réalisation de fibres optiques pour télécommunications. Signalons

aussi que d'autres verres fluorés à base de fluorure d'aluminium ou de fluorure d'indium ont été découverts (Nye, 1957).

### 4 Les propriétés du verre :

Un optimum et une utilisation d'un matériel exige une excellentes et profondes connaissance et compréhension de leurs propriétés. Les verres ont quelques propriétés qui ne sont pas trouvées en d'autres matériaux de technologie, en particulier transparent. La structure interne et par conséquent les propriétés d'un verre dépendent de sa composition et du taux de refroidissement (Largot, 2020).

La composition chimique joue un rôle important dans la détermination des plusieurs propriétés des verres. L'intérêt fondamental des verres par rapport aux matériaux cristallisés réside dans la possibilité de les obtenir dans très larges domaines de compositions (Largot, 2020).

#### 4.1 Propriétés physiques [1] :

- **La transparence** : il peut être opaque ou opalescent.
- **La dureté** : seuls les diamants et le carbure de tungstène le rayent. Le verre le plus dur est le verre de Bohême et le cristal est le plus tendre.
- **La densité** : elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5. Cela signifie qu'un mètre cube pèse environ deux tonnes et demie ou qu'une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur pèse 2,5 kg.
- **La résistance et l'élasticité** : la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord. Contrairement, sa résistance à la compression est importante : il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre.
- **L'imputrescibilité** : il ne se putréfie pas.
- **L'imperméabilité** : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le kérosène ; on dit « qu'il sue ».

Tableau 1: Propriétés physiques du verre [1]

Propriété physique	Valeur	Unité
Masse volumique	2500 <sup>5</sup>	Kg /m <sup>3</sup>
Module de Young	69000 <sup>5</sup>	MPa
Coefficient de Poisson	0,25 <sup>6</sup>	-
Limite d'élasticité	3600 <sup>5</sup>	MPa
Résilience	De 1500 à 2500 <sup>7</sup>	Pa
Coefficient de dilatation linéaire	De 0,5 à 15×10 <sup>-67</sup>	1/°C
Conductibilité thermique	1 <sup>6</sup>	W/m/°C

#### 4.2 Propriétés chimiques [1] :

- **L'action de l'eau** : l'eau agit sur les silicates qui en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.
- **L'action de l'air** : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce que donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.
- **L'action de la lumière** : exposés aux UV, certains verres se colorent où se décolorent.
- **L'action des acides** : ils décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout

#### 4.3 Propriétés thermique :

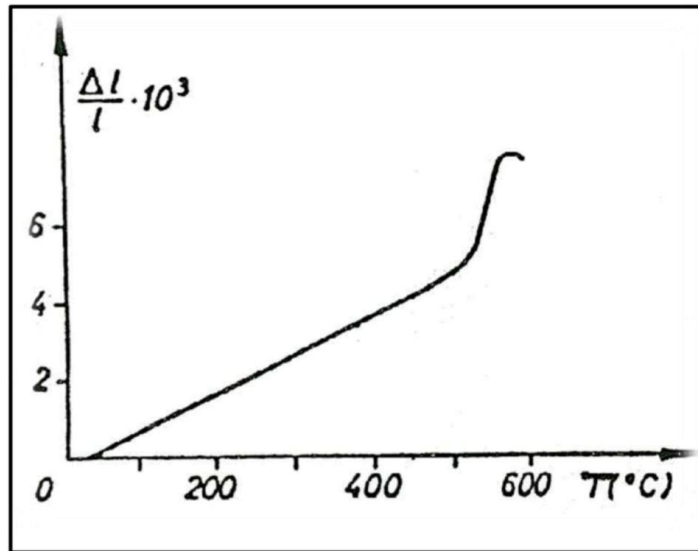
Les propriétés thermiques des verres sont des grandeurs qui caractérisent le comportement de verres lorsqu'ils sont soumis à une variation de température. Elles sont très importantes pour la solidification, traitement thermique et couche extérieure de verre optique, et sont (Largot, 2020):

- **Dilatation thermique :**

La dilatation thermique est un phénomène engendré par une variation de température. Au niveau microscopique, les atomes qui constituent la matière s'écartent ou se rapprochent en fonction de la température. Dans chaque particule de matière oscille par suite de l'énergie thermique. Lorsque la température augmente, l'énergie thermique augmente et il en résulte un accroissement de l'amplitude de vibration des particules. Ainsi deux atomes liés l'un à l'autre par des forces (non harmoniques) voient leur distance s'accroître à cause de ce processus : cela

signifie que, lorsque la température augmente, il se produit une dilatation. La dilatation thermique nous renseigne sur les réactions du verre aux chocs thermiques (Rehouma, 1994).

La variation de la dilatation en fonction de la température est représentée dans la Figure (05), le point d'inflexion de la courbe correspond à la température de transformation vitreuse ( $T_g$ ) (Fig. 5)(Rehouma, 1994).



**Figure 5:** Evolution de la dilatation thermique en fonction de la température d'un verre (Ohara, 2010).

Il est visible que le coefficient de dilatation augmente d'une manière continue avec la température de transformation (Rehouma, 1994).

Le coefficient de dilatation présente un grand intérêt pratique car il lui est associé une résistance aux chocs thermiques. La dilatation thermique dépend largement de la composition du verre (Rehouma, 1994).

- **La conductivité thermique :**

Le verre a une faible conductivité thermique, où nous constatons une conductivité moyenne dans le verre et inférieur au reste des minéraux quel que soit un changement important dans la composition du verre, la conductivité thermique ne changera pas beaucoup (Slatnia et Oumane, 2020).

### 4.4 Propriétés électrique (Bouziane, 2013) :

Le verre est peu conducteur d'électricité à des températures normales et est considéré dans cet aspect comme faisant partie des matériaux isolants, La résistance du verre à l'électricité varie selon ses différentes compositions, le verre de silicium a d'excellentes propriétés électriques et la résistance du verre au courant électrique diminue à une température élevée car la surface rugueuse du verre réduit la résistance du courant.

### 4.5 Propriétés optiques (Devorcine et Galilee, 2002) :

La plupart des verres sont transparents, mais tous interagissent avec la lumière. Les principales propriétés optiques sont :

**La réflexion :** changement de direction des ondes lumineuses qui rencontrent un corps interposé.

**La transmission :** passage et déviation d'un rayon lumineux au travers d'un matériau.

**L'absorption :** capacité d'un matériau à absorber un faisceau lumineux et diminuer son intensité (exemple de lunettes de soleil qui absorbent une partie de la lumière).

**La diffusion :** dissémination des rayons produits par transmission au travers d'un milieu (exemple ; la diffusion d'un rayon lumineux dans l'eau).

**La dispersion :** décomposition de la lumière en plusieurs faisceaux lumineux.

Toutes ces propriétés expliquent que le verre reste un matériau inégalable qui est utilisé dans de nombreux domaines industriels.

## 5 Les élaborations des verres :

### 5.1 Les matières de base :

Le verre peut être produit à partir des matières premières naturelles et/ou de verre récupéré (le calcin).

#### 5.1.1 Les matières premières naturelles :

Les matières premières naturelles mélangées pour former le lit de fusion se présentent sous la forme d'oxydes de sulfures ou de carbonates à l'état naturel. Nous pouvons les différencier en trois groupes, selon leur rôle dans la préparation du verre (**Jonathan et al., 2008**):

- les oxydes formateurs ;
- les oxydes modificateurs ;
- les oxydes secondaires

### 5.1.1.1 Les oxydes formateurs :

#### ❖ **La silice** (dioxyde de silicium $\text{SiO}_2$ ) (**Pérez, 2001**).

C'est le composant principal du verre qui représente environ 70% de la masse. Elle est l'élément formateur de réseau. Si l'on augmente sa quantité, on augmente la dureté du verre. Son point de fusion est à  $1730^\circ\text{C}$ . Elle entre dans la fabrication sous forme de sable dont les plus purs en contiennent 99,5 % (les sables quartzeux). Le sable de Fontainebleau, du fait de sa qualité, est très recherché pour la fabrication de verres d'optique et de cristal. Plus le pourcentage de silice est élevé et plus le coefficient de dilatation est faible ; donc, plus le verre est résistant.

#### ❖ **L'anhydride borique** : (le bore ou borax anhydre $\text{B}_2\text{O}_3$ ) (**Falcy, 2002**).

Il diminue le coefficient de dilatation et améliore la résistance aux chocs thermiques, il est aussi plus résistant à l'eau. Son point de fusion est à  $2300^\circ\text{C}$ . Il sert pour le travail de laboratoire (verre thermorésistant comme le Pyrex). Il possède aussi les propriétés d'un fondant.

#### ❖ **L'anhydride phosphorique** : (le phosphore $\text{P}_2\text{O}_5$ ) (**Bailon et Dorlot, 2000**).

Employé dans le domaine de l'optique. La principale source au Moyen Age est les cendres de bois.

### 5.1.1.2 Les oxydes modificateurs :

La caractéristique majeure de ces composés est de modifier les propriétés de la pâte de verre afin d'en faciliter la fabrication, et aussi de rendre le verre inaltérable.

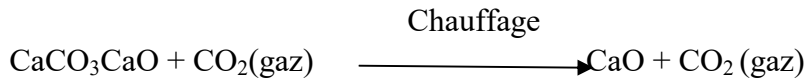
**L'oxyde de sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ )** et **l'oxyde de potassium ( $\text{K}_2\text{O}$ )** sont « les fondants » nécessaires pour abaisser de plusieurs centaines de degrés la température d'élaboration et de vitrification de la silice. Ces oxydes sont introduits sous forme de carbonates ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  et  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) et de sulfates ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ). Les principales sources de pollution



## Chapitre I : généralité sur le verre

atmosphérique des verreries sont l'émission de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) émis lors de la décomposition des carbonates et des sulfates (**Jonathan et al., 2008**).

**La chaux (CaO)** est un composant important qui assure l'inaltérabilité des verres. Elle est introduite par le carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) de la craie selon la réaction suivante :



**L'oxyde de baryum (BaO)** est introduit dans la composition des verres d'écrans avec **l'oxyde de strontium (SrO<sub>2</sub>)** pour former un bouclier contre les radiations (**Jonathan et al., 2008**).

**Tableau 2:** Composition chimique des principaux types de verres (**Matthes et al., 2010**)

Types de verre	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	KO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PbO
Verre plat	72,5		1.15	13	0.3	9.3	3	
Verre à bouteilles	73		1	15		10		
"pyrex"	80.6	12.6	2.2	4.2		0.1	0.05	
Fibre de verre	54.6	8.0	14.8	0.6		17.4	4.5	
"cristal"	55.5				11			33
Verre de lampes	73		1	16	1	5	4	

5.1.1.3 Les oxydes secondaires :

Quelques oxydes, dont le total n'excède pas 1 % en masse, sont ajoutés pour modifier la teinte ou les conditions d'élaboration du verre. Il s'agit de :

- ❖ **L'oxyde d'arsenic ( $As_2O_3$ ) et l'oxyde d'antimoine ( $Sb_2O_3$ )** : utilisés pour faciliter l'affinage :
- ❖ **L'oxyde de manganèse ( $MnO_2$ )** : utilisé pour atténuer les résidus de coloration dus aux traces d'oxydes de fer ;
- ❖ **Les oxydes métalliques** : utilisés pour teinter le verre.

Le tableau suivant détaille les couleurs obtenues selon le métal ajouté au verre (Jonathan et al., 2008).

**Tableau 3:** Couleur de verre obtenue selon l'oxyde métallique introduit (Jonathan et al., 2008).

Oxyde métallique introduit		Couleur(s) obtenue(s)
Oxyde de fer	$Fe_2O_3$	Jaune brun
	$FeO$	Bleu vert
Oxyde de cuivre	$CuO$	Bleu
Oxyde de cobalt	$CoO$	Bleu ou rose
Oxyde de manganèse	$Mn_2O_3$	Violet
	$MnO$	Jaune pâle
Oxyde de vanadium	$VO_2$	Bleu
	$V_2O_3$	Vert
Oxyde de nickel	$NiO$	Bleu ou jaune brun
Oxyde de chrome	$Cr_2O_3$	Vert clair
Oxyde de titane	$Ti_2O_3$	Violet brun

### 5.1.2 Le verre récupéré : le calcin

Le calcin est du verre récupéré à partir de déchets (ménagers et assimilés, etc.) ou directement à partir de chutes de fabrication. Il est d'abord trié et nettoyé pour éliminer toutes les impuretés. C'est du débris de verre ajouté aux matières premières mises en œuvre pour fabriquer le verre (**Jonathan et al., 2008**).

Le calcin, parfois appelé groisil, son emploi à une grande importance car la fusion de ce dernier consomme moins d'énergie que le mélange vitrifiable (**Jonathan et al., 2008**).

C'est la matière première la plus importante en volume devant le sable et la seconde en cout derrière le carbonate (**amirouche, 2021**).



Figure 6: Calcin [4].

De plus, la nature du calcin est très importante car elle détermine son intégration dans la composition de certains verres [4].

#### 5.1.2.1 Le calcin de cave

Calcin ramassé sur le sol sous le niveau de la machine. Il s'agit fréquemment de calcin coulé obtenu lorsqu'on laisse le verre fondu couler directement à la cave [1].

### 5.1.2.2 Le calcin de récupération

Il est obtenu en broyant les emballages en verre collecté, après consommation, auprès du public. [1].

### 5.1.2.3 Le calcin d'usine

Dit aussi calcin domestique ou calcin interne, provenant exclusivement de la fabrication et se trouvant à l'intérieur de l'usine. [1].

### 5.1.2.4 Le calcin de retour

Verre stocké immédiatement à la sortie de l'arche de recuisons, par exemple les récipients ne répondant pas aux normes de qualité requise [1].

❖ L'utilisation du calcin présente de nombreux avantages pour l'environnement, ainsi que pour le verrier. En effet :

- elle ne nécessite pas l'extraction de matières premières naturelles et évite la consommation de 60 Kg de fuel par tonne de calcin utilisé pour l'extraction des matières premières naturelle (**Barton et Guillement., 2005**).

- elle évite le transport de matières premières naturelles sur de longues distances pour transporter le calcin sur de plus courtes distances. Elle limite donc la pollution atmosphérique due au déplacement (**Barton et Guillement., 2005**).

- elle limite le rejet dans l'atmosphère de polluants (dioxyde de carbone et dioxyde de soufre) causé par la fabrication du verre à partir de matières premières naturelles, les matières se trouvant déjà sous la forme d'oxyde (moins 200 kg de CO<sub>2</sub> rejeté par tonne de calcin utilisé) (**Garton et Guillement., 2005**).

- elle diminue la température de fusion<sup>7</sup> (le calcin doit être chauffé à une température plus basse que les matières premières naturelles pour être fondu). Elle permet donc l'économie de 40 kg de fuel par tonne de calcin utilisé (**Barton et Guillement., 2005**).

• Cependant, l'industrie ne peut pas fabriquer de verre uniquement à partir de calcin. Il est nécessaire d'introduire des matières premières naturelles afin de corriger les propriétés du lit de fusion (couleur, propriétés optiques, mécaniques, etc.) et ainsi obtenir une homogénéité dans la qualité du produit fabriqué (**Amrous et Belkada, 2015**).

## 5.2 La préparation de lit de fusion :

On appelle lit de fusion, le broyage puis le mélange de granulométrie homogène des différentes matières premières qui compose le verre [5].

Le verre est un silicate complexe c'est à dire un réseau irrégulier de silice (sable) auquel on ajoute des agents modificateurs. Ce qui suit est un exemple, il faut savoir que les proportions d'introduction du calcin et des matières premières naturelles sont différentes pour chaque type de verre (coloré, incolore, à vitre, techniques, etc...) [5].

### 5.2.1 Pour le verre coloré :

Le verre d'emballage coloré est le verre qui admet actuellement la plus grande part de calcin dans sa fabrication. Le système de fabrication du verre permet d'introduire jusqu'à 90 % de calcin dans le lit de fusion. La quantité de calcin incorporée dépend de la teinte désirée pour le verre (**Jonathan et al., 2008**) :

-**verre « vert »** (bouteilles de vins, de bières, etc.) peut accepter jusqu'à 90 % de calcin mixte ou de couleur verte.

-**le verre « feuille morte »** (bouteilles d'apéritifs anisés, etc.) peut accepter jusqu'à 50 % de calcin coloré mixte et jusqu'à 25 % de calcin incolore contenant moins de 5 % de verre coloré.

-**le verre « brun jaune »** (bouteilles d'apéritifs, de bières, etc.) peut accepter 20 % de calcin coloré mixte et 30 % de calcin incolore contenant moins de 2 % de verre coloré.

Il est donc indispensable de compléter les 10 %, ou plus, du lit de fusion par des matières naturelles introduites.

### 5.2.2 Pour le verre incolore :

Le verre d'emballage incolore peut contenir 10 % de calcin incolore contenant moins de 0,5 % de verre coloré. Le restant du lit de fusion est composé de matières premières naturelles

Les matières premières utilisées doivent être d'une plus grande pureté que celles utilisées pour la fabrication de verre coloré (**Jonathan et al., 2008**)

### 5.2.3 Pour le verre à vitre :

Le verre à vitre peut contenir entre 20 et 35 % de calcin incolore. Le restant du lit de fusion est composé de matières premières naturelles.

La composition des matières premières atteint 99,7 % de la masse totale des matières premières naturelles introduites. Elle sera complétée par des oxydes secondaires pour permettre le travail de la pâte de verre (**Jonathan et al., 2008**).

### 5.3 L'élaboration du verre :

L'élaboration du verre représente l'ensemble des opérations au cours desquelles le lit de fusion (matières premières naturelles et calcin broyé) est transformé en verre fondu, apte à être mis en forme [5].

Ces étapes d'élaborations sont :

#### 5.3.1 La fusion :

Le mélange vitreux est stocké dans la cellule journalier, et fondu dans un four s'élevant jusqu'à de température proche de 1550°C. Entre l'introduction des matières premières et la sortie du verre en fusion, il fonctionne à feu contenu 24/24 heure (**Guezzoun, 2012**).

Le four fonctionne jour et nuit, avec un niveau de verre en fusion constant. Des flammes alimentées par bruleurs assurent, avec le rayonnement de la voute de briques en silice, une température de 1550°C nécessaire à la fusion du verre. Au cours de cette montée en température, le mélange enfourné subit diverses transformations complexes : déshydratation (évaporation de l'eau résiduelle), dissociation des carbonates et des sulfates avec dégagement de CO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub>, fusion de certains composants et dissolution des composants les plus résistants (**Guezzoun, 2012**).



Figure 7: Verre en fusion dans un four [6].

La transformation du mélange vitrifiable en verre est réalisée dans un four dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

- Four de fusion à récupération de chaleur.
- Surface de fusion :  $55\text{m}^2$
- Capacité : 80 T/j sans électrode.
- Chauffage : Gaz et/ou fuel + électricité.

Il existe deux types de fours à bassin :

❖ **Le four pour verre plat :**

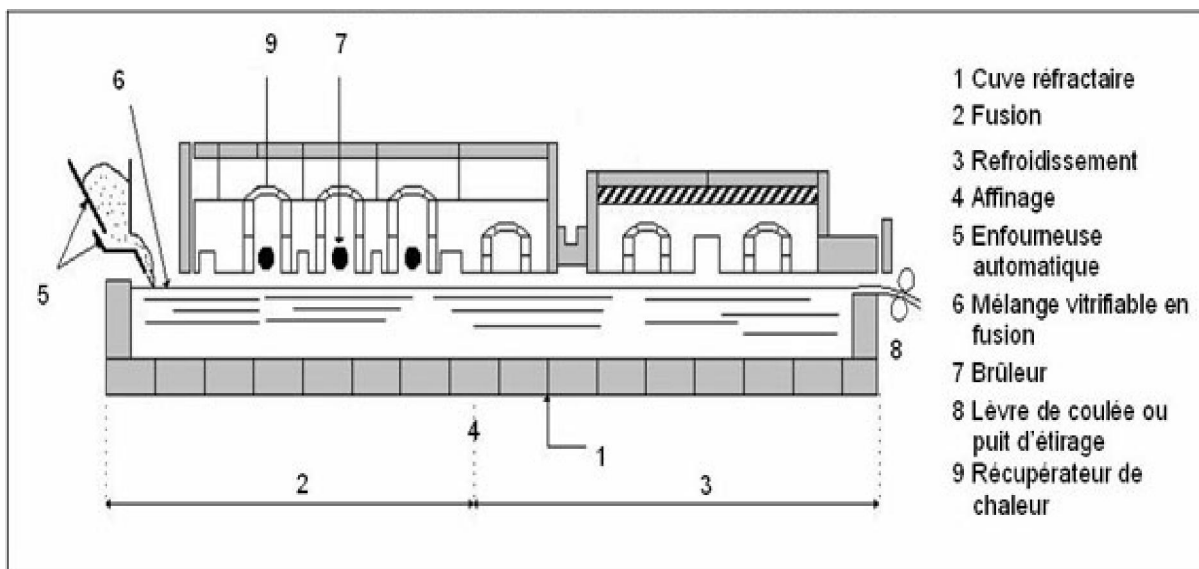


Figure 8 : Coupe latérale d'un four pour verre plat (Jonathan et al., 2008).

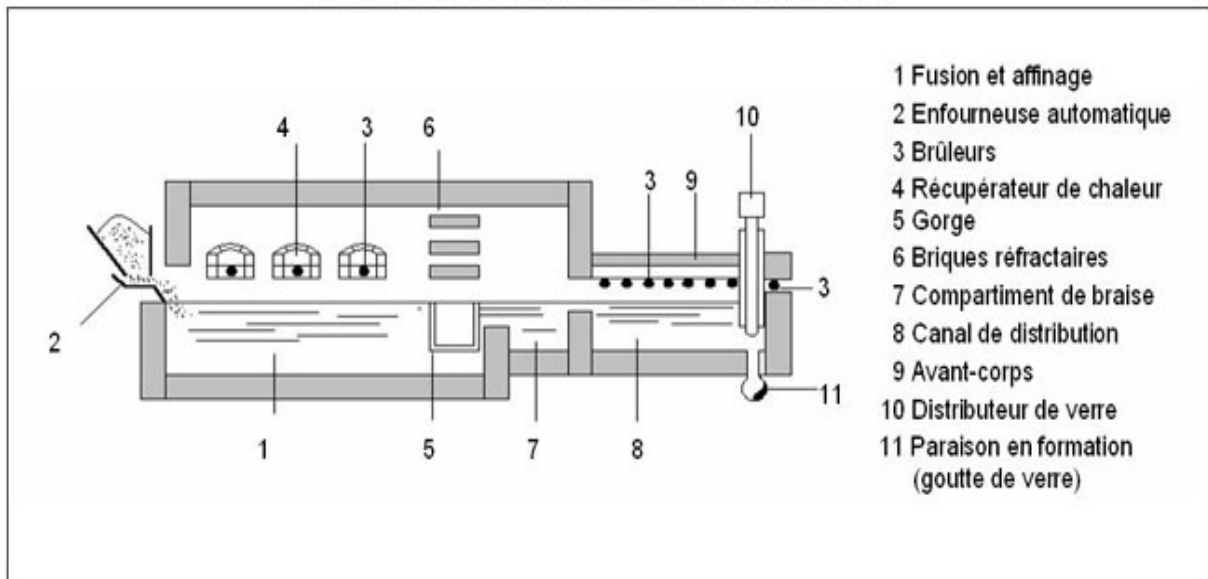


Figure 9: Coupe latérale d'un four pour verre plat (Jonathan et al., 2008).

❖ **Le four pour verre creux :**

**5.3.2 L'affinage et l'homogénéisation :**

Afin d'éliminer les bulles de gaz présentes dans le verre fondu, la température est élevée à 1450-1600°C pour diminuer sa viscosité. L'ajout de sulfate de sodium améliore l'affinage. Une agitation mécanique ou l'insufflation d'air sont parfois utilisées pour homogénéiser [7].

**5.3.3 La braise :**

Avant la mise en forme, la viscosité du verre est augmentée en diminuant la température vers 1000-1200°C. Au cours de son élaboration le cheminement d'un verre dure plusieurs jours. Cette dernière phase de l'élaboration est appelée la braise. Cette expression date de l'époque où les fours étaient chauffés au bois et les braises étaient maintenues sur le foyer [7].

**5.4 Mise en forme :**

La mise en forme du verre est désormais entièrement mécanisée. Des procédés différents sont utilisés selon le type de verre (plat ou creux) mis en forme (Jonathan et al., 2008).

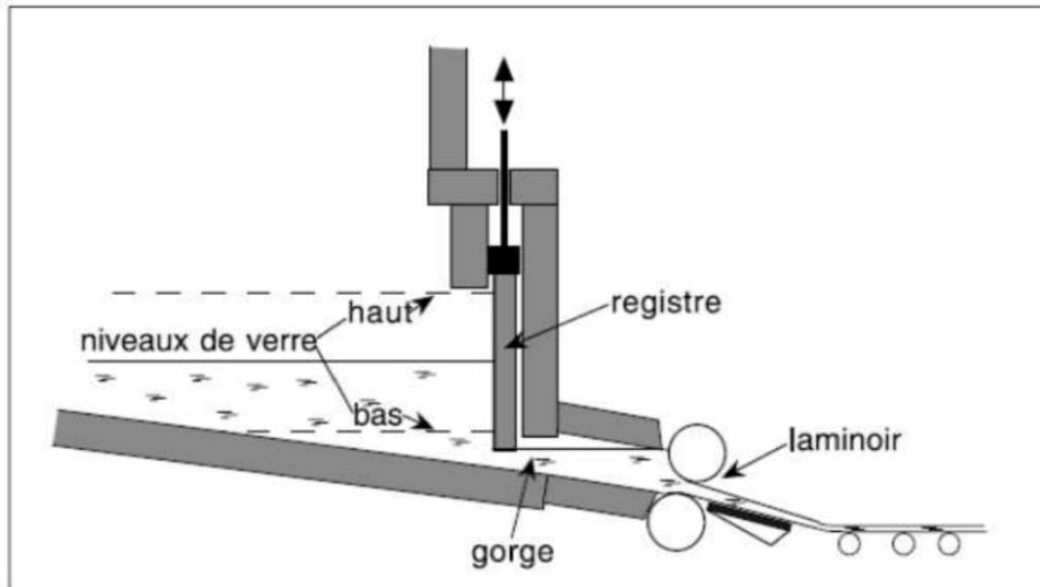


### 5.4.1 La mise en forme du verre plat :

Plusieurs procédés sont employés :

- **Procédé du laminage (Jonathan et al., 2008).**

Le laminage consiste à laisser couler la pâte de verre pour la mettre en forme.



**Figure 10:** Schéma du procédé de laminage (Amrouni., 2021).

Le verre s'écoule du four sur un déversoir, passe entre des rouleaux métalliques refroidis, écartés selon l'épaisseur de verre désirée, qui le figent en un ruban continu. Puis il est débité en plaques dont la longueur dépend du produit voulu. Il est dirigé vers un tunnel de recuisson pour relâcher les tensions internes qui empêcheraient le découpage.

La feuille brute n'est ni parfaitement plane, ni transparente. Elle doit obligatoirement subir après refroidissement des opérations de doucissage et de polissage.

- L'étirage (Amrouni, 2021)

L'étirage : (le premier brevet date de 1901 " procédé Foucault ")

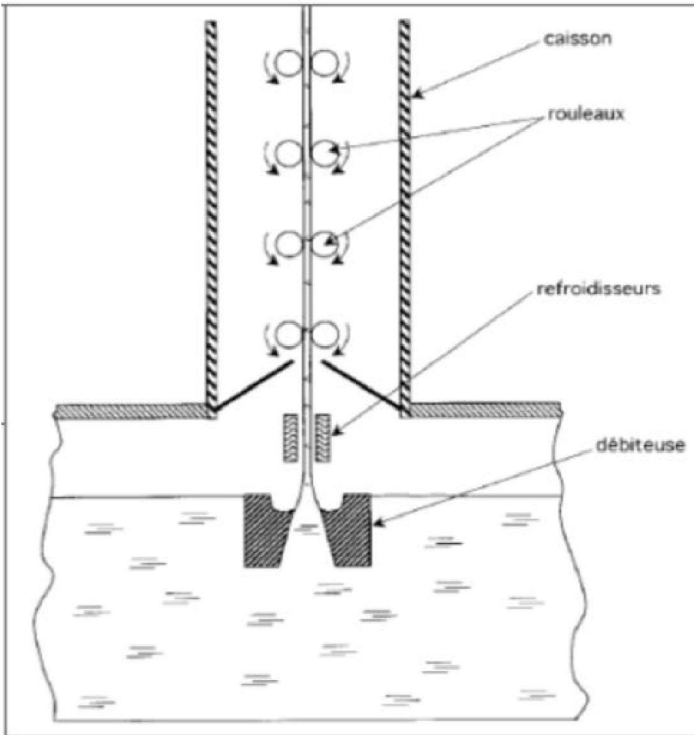


Figure 12: Principe du procédé (Amrouni, 2021)

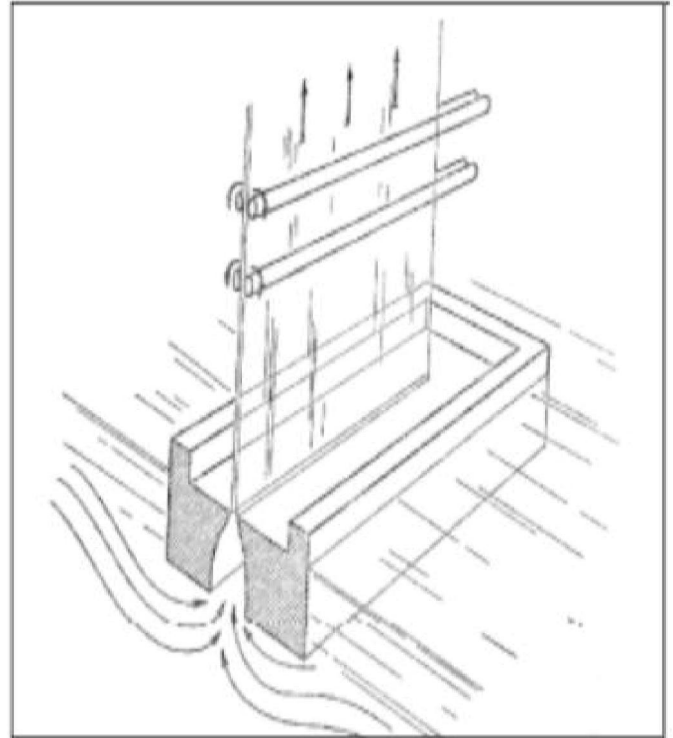


Figure 11: Schéma de la débiteuse (Amrouni, 2021)

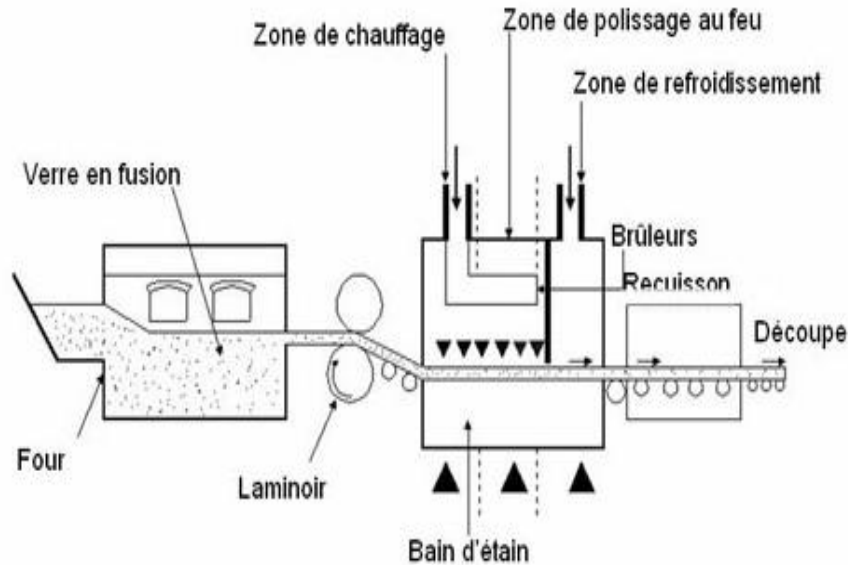
- L'étirage d'un ruban (feuille) de verre par immersion d'une pièce réfractaire appelée « Débiteuse ».
- Le verre liquide ensuite passe à travers la fente longitudinale de la débiteuse sous l'effet de la pression hydrostatique.
- A l'aide des refroidisseurs qui sont des boîtes métalliques ou circule de l'eau et qui sont situées au-dessus de la débiteuse, le verre est refroidi fortement.
- Au-dessus des refroidisseurs, des rouleaux métalliques entraînent verticalement le ruban de verre d'une longueur de 7 m environ.

Les largeurs de la feuille de verre, sont comprises entre 2 m - 2,5 m et les épaisseurs entre 0,5 et 10 mm. La vitesse d'étirage en 2 mm est d'environ 90 m/h (elle varie en fonction de l'épaisseur voulue).

-L'inconvénient major du procédé de Fourcault, est les défauts de surface dus au contact de la débiteuse.

-L'avantage du procédé de verre flotté (Floaglass): obtention de meilleur polissage des surfaces (élimination des défauts de surface) (Brahim, 2014 *in* Amrouni, 2021).

- **Le procédé Float**



**Figure 13:** schéma du procédé float [4].

Dans le procédé « float » inventé par Sir Alastair Pilkington en 1952, un mélange de matières premières est chargé en continu dans le four de fusion. À la sortie du four le verre forme un ruban flottant à la surface de l'étain fondu. La surface de l'étain fondu est extrêmement lisse, donnant au verre une planéité de surface parfaite. Le ruban de verre est ensuite lentement refroidi jusqu'à complet durcissement et recuit. Le ruban ainsi obtenu est d'épaisseur régulière et présente des surfaces parfaitement polies. Le ruban est ensuite découpé en plaques pour livraison (Zeroub et larbi, 2000).

### 5.4.2 La mise en forme du verre creux :

Les verres creux sont utilisés pour fabriquer les bouteilles, les flacons, les tubes, les ampoules, les briques et les pavés. La composition du verre est différente suivant le produit fabriqué. Pour un contenant de produits alimentaires, on emploie un verre sodico-calcique (Shaybany, 1948).

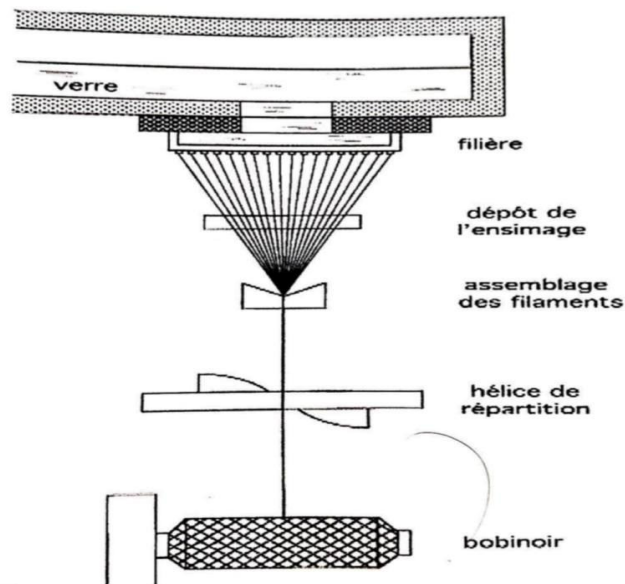
Une quantité déterminée de verre fondu ou « paraison » est introduite dans un moule et pressée vers 400-450°C. Les moules sont en acier spécial et leurs surfaces souvent chromées. Les presses à main permettent de fabriquer jusqu'à 300 pièces/heure et les presses automatiques (comportent une série de moules) jusqu'à 1000 pièces/heure (Shaybany, 1948).

Le procédé primitif de soufflage à la bouche, encore pratiqué dans la verrerie d'art ou scientifique a été mécanisé pour augmenter les rendements (Shaybany, 1948).

### 5.4.3 Fibres de verre

Ils sont obtenus par l'étirage verre fondu jusqu'à ce qu'il présente un diamètre compris entre 0,5 et 15  $\mu\text{m}$ . Il est possible de fabriquer des fils longs, continus et multifilaires aussi bien que des fibres courtes de 25 à 30 cm de long. Tissées dans certains textiles, les fibres de verre constituent d'excellentes étoffes et de très bons matériaux d'ameublement grâce à leur stabilité chimique, leur solidité et leur résistance au feu et à l'eau (Nye, 1957).

Parmi les procédés de fabrication des fibres de verres il y a l'étirage mécanique à grande vitesse, la vitesse déterminant le diamètre des fibres qui est compris entre 1 et 8  $\mu\text{m}$ . Ces fibres sont destinées à l'ameublement, au renforcement de matière plastique ou du caoutchouc, du plâtre, du papier, à l'isolement électrique ou à la fabrication de tissus industriels. (Nye, 1957).



**Figure 14:** Représentation schématique de fabrication de fibres de verres par étirage mécanique (journal of non-crystalline solids)

### 5.5 La recuisson :

Au cours de son élaboration, la bouteille a subi de nombreux chocs thermiques et mécaniques, ce qui crée des tensions dans la matière. Le but du recuit est d'éliminer ces tensions pour augmenter la solidité de la bouteille.

Une fois sortie de la machine les bouteilles sont acheminées vers un tunnel appelé Arche à recuire, dans lequel les bouteilles circulent à l'aide d'un tapis en inox et sont portées à une température voisine du point de relaxation des tensions (environ 600°C) puis refroidies très lentement (pendant une heure environ). Au bout d'arche, la bouteille arrive pratiquement à température (environ 50°C).



**Figure 15:** Recuisson des produits en verre [8].

Sur les convoyeurs qui véhiculent les bouteilles jusqu'aux palettiseurs, différents contrôles sont effectués. Tous les emballages sont contrôlés par des machines électroniques qui vérifient principalement leur dimension, leur résistance et leur aspect. Des mesures sont également effectuées sur des prélèvements statistiques.

## 5.6 Les contrôles de qualité des produits finis :

### 5.6.1 Pour le verre d'emballage (Jonathan et *al.*, 2008) :

**Le test de compression** : garantit la solidité de l'emballage.

**Le contrôle de la planéité de la bague** : évite tout problème lors du capsulage ou du bouchonnage.

**Le contrôle d'aspect** : détecte la présence de glaçures, de bulles, de grains infondus, etc., pouvant entraîner une fragilité à long terme de l'emballage.

**Le contrôle dimensionnel** : mesure la longueur totale, le diamètre intérieur et extérieur, etc., par vision automatique, sur l'ensemble de la production.

**Le contrôle du corps et du fond de la bouteille** : repère les défauts et fissures de l'emballage.



Figure 16: Contrôle de bouteilles [8].

### 5.6.2 Pour le verre plat :

Un premier test est effectué sur la matière en fusion afin de contrôler la transparence, de la même manière que pour les verres creux. Puis, des contrôles dimensionnels et d'aspect sont effectués sur le produit fini, afin de garantir sa qualité et la constance de ces caractéristiques (Jonathan et *al.*, 2008)





Figure 17: Exemple du verre plat [9].

**5.6.3 Pour les autres verres (Jonathan et al., 2008):**

- Le test de transparence pour observer la conformité de teinte (spectrocolorimètre).
- Le test de compression pour garantir la solidité du verre.
- Le contrôle dimensionnel pour vérifier les dimensions et garantir l'adaptation du culot.
- Le contrôle du corps pour repérer les éventuels défauts.
- Le contrôle de l'aptitude du verre à arrêter les rayons X.
- Les autres tests demandés spécifiquement par le client.

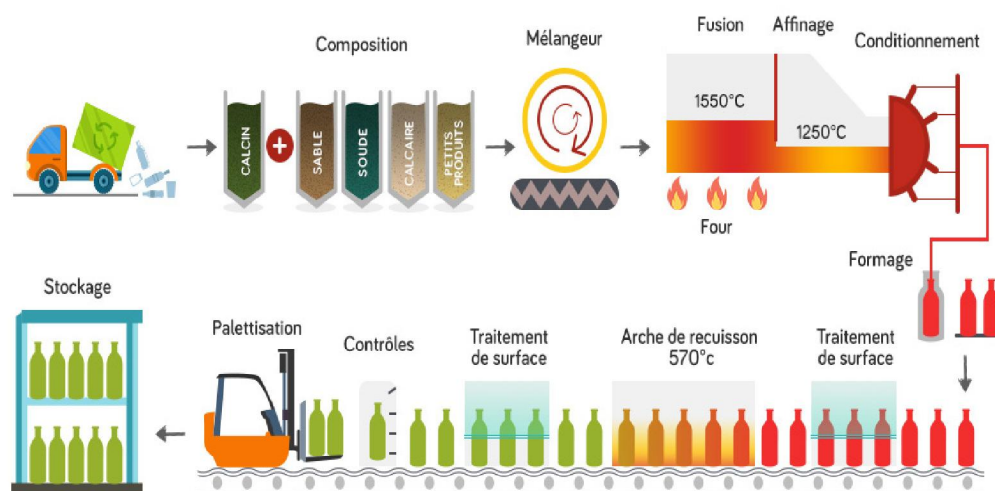


Figure 18: Les différentes étapes de fabrication du verre d'emballage [10].

## 6 Les problèmes rencontrés lors de la fabrication et leurs solutions :

### 6.1 La nature du calcin

La nature du calcin utilisé dans la fabrication d'un verre est très importante. En effet, il faut qu'il ait une composition quasi similaire au verre produit afin de ne pas trop altérer les propriétés physiques ou chimiques attendues. C'est pourquoi, certains types de calcin doivent être exclus lors de la fabrication en raison de leur réactivité ou de leur composition [4].

Pour éviter que ces verres ne se retrouvent dans le calcin réutilisable, il faut tout d'abord effectuer une communication appropriée auprès des usagers. Il faut, en particulier, indiquer quels sont les verres qui ne doivent pas être jetés avec les verres ménagers [4].

De plus, les centres de traitements doivent se munir de toutes les technologies nécessaires afin d'extraire les « verres étrangers » du flux à traiter [4].

### 6.2 Les infusibles :

Les infusibles peuvent se présenter sous forme de bouchon, vaisselle, élément de décoration en porcelaine, faïence, grès, vitro cérame, céramique ou sous la forme de carrelage cailloux, graviers, ciments, etc [4].

Le principal inconvénient de ces matériaux est d'avoir une température de fusion plus élevée que celle du verre, d'où l'appellation d'infusible. La présence de ces matériaux dans le calcin génère des tensions dans le verre produit et le fragilise. Les infusibles augmentent le taux de casse dans l'industrie de fabrication et de sous-traitance (ex: lors de l'embouteillage) et introduisent un risque chez les consommateurs [4].

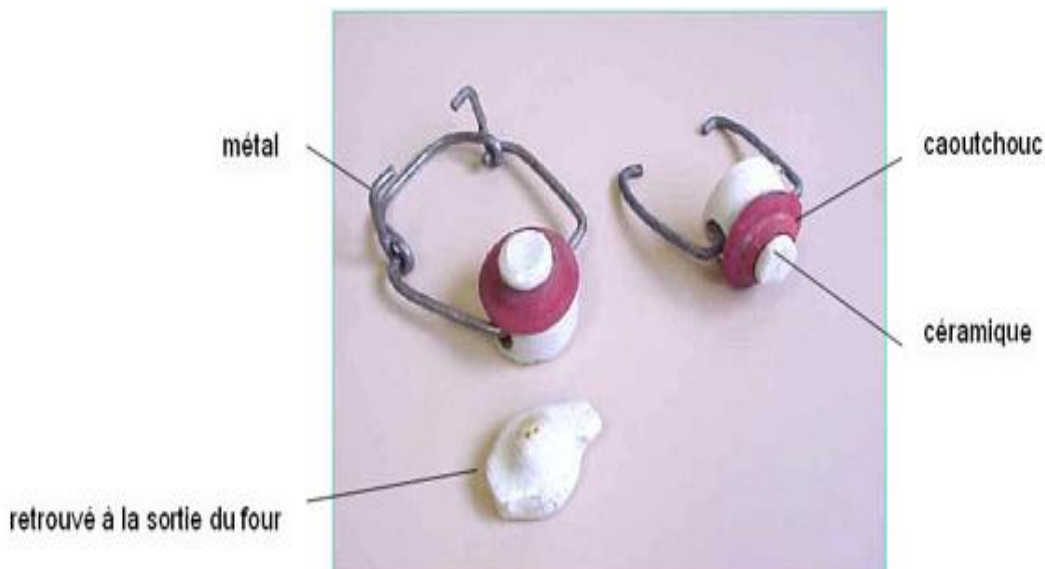


Figure 19: exemple d'infusible : bouchon mécanique de bouteille [6].



### 6.3 Les métaux et alliages métalliques (Jonathan et al., 2008) :

Trois catégories de métaux peuvent marquer leur présence lors de la fusion du verre et entraîner une modification du bain de fusion :

**Le fer, le cuivre, le nickel, etc...**Peuvent produire des traînées colorées ou modifier la teinte du bain de fusion.

**L'aluminium** fragilise le verre lors de sa mise en forme.

**Le plomb** est un vrai poison pour les fours verriers classiques. Il s'infiltré dans les joints du four, les casse et peut provoquer des coulées de verre accidentelles.

- Pour empêcher toutes ces réactions, il est donc indispensable que les centres de traitement mettent en place les moyens mécaniques (courants de Foucault, overband) nécessaires, ce qui est généralement le cas, à l'élimination de ces métaux.

### 6.4 Les solutions à retenir :

Afin d'éviter la présence de ces éléments totalement indésirables dans le flux de verre, un travail à chaque niveau s'impose :

- Les producteurs de biens emballés doivent limiter la commercialisation de produits en verre combinés à des matériaux considérés comme indésirables (bouchons en céramiques) **(Jonathan et al., 2008)**.

- Les collectivités locales doivent, en partenariat avec les industriels, communiquer de manière pertinente auprès des usagers afin de les sensibiliser à cette problématique, pour indiquer exactement les types de déchets qui ne doivent pas être mélangés avec le verre d'emballages ménagers. De plus, elles peuvent toujours introduire des consignes supplémentaires (par exemple de mettre les bouteilles de verre avec une capsule en céramique dans les ordures ménagères résiduelles) **(Jonathan et al., 2008)**.

- Les industriels doivent mettre en place dans les centres de traitement l'ensemble des technologies nécessaires pour éliminer la totalité des indésirables afin de répondre aux impératifs de qualité imposés par les verriers **(Jonathan et al., 2008)**.

7 Le verre dans les déchets ménagers et assimilés :

Les verres issus des déchets ménagers et assimilés peuvent se classer en différentes catégories distinguées principalement par la composition du verre. Ces trois catégories sont (Jonathan et al., 2008) :

- **Leverre creux:** il représente le plus gros tonnage de verre fabriqué (bouteilles, flacons, pots, bocaux).
- **Le verre plat :** vitrerie, miroiterie, automobile.
- **Les verres techniques :** écrans de télévisions et d'ordinateurs, ampoules électriques, tubes fluorescents, cristal, lunettes, assiettes et plats en pyrex, plaques vitrocéramiques, etc.

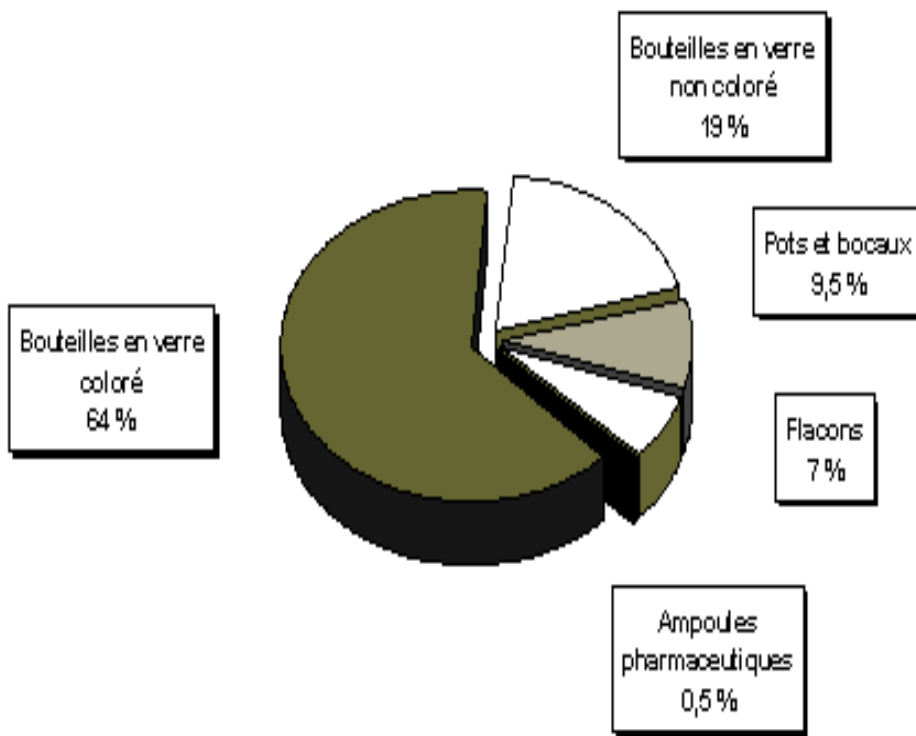


Figure 20: Le verre dans les déchets ménagers [4].

Concernant les ordures ménagères au sens strict et les déchets assimilés, les verres creux sont la fraction la plus importante. Ils représentent près de 13 % en masse, soit près de 2,9 millions de tonnes par an. Cependant Il n'est pas rare d'y retrouver certains verres plats et

techniques (miroirs brisés, ampoules électriques, etc.) mais en quantité considérée comme négligeable (**Jonathan et al., 2008**).

A ce jour, aucune estimation permettant de connaître la part exacte du verre dans les déchets encombrants des ménages n'existe. Cependant, les verres les plus fréquemment trouvés sont les verres plats (vitres, miroirs, etc.), et les verres d'écrans (télévisions, ordinateurs, etc (**Jonathan et al., 2008**).

## **8 Les producteurs et les lieux de production des verres [7]:**

Dans le monde il y a, en 2013, 435 lignes de floats en fonctionnement dont 243 en Chine et 55, en 2014, dans l'Union européenne.

En 2016, la production mondiale de verre est de 140 millions de t dont 72 millions de t de verre plat produit à 50 %, en Chine, 15 % en Europe, 10 % en Amérique du Nord, 7 % dans le Sud-Est asiatique, 5 % au Japon, 4 % en Amérique du Sud.

### **8.1 Productions de l'Union européenne :**

En 2021, sur un total de 38,026 millions de t, hors fibres d'isolation.

**Tableau 4:** les quantités des verres produites dans le monde en milliers de t [10].

<b>Verre creux</b>	<b>23458</b>	<b>Fibres de renforcement</b>	<b>1000</b>
<b>Verre plat</b>	11700	Verres spéciaux	522
<b>Verre de table</b>	1158	Autres verres	131

Commerce international du verre plat :

**Tableau 5:** Principaux pays exportateurs en tonnes, en 2021[7].

<b>Allemagne</b>	<b>1108373</b>	<b>Pologne</b>	<b>519229</b>
<b>Chine</b>	929669	<b>Belgique</b>	471034
<b>Iran</b>	649037	<b>Indonésie</b>	394444
<b>France</b>	571794	<b>Bulgarie</b>	330077
<b>Russie</b>	544552	<b>Italie</b>	301925

Commerce international du verre creux :

**Tableau 6:** Principaux pays exportateurs, en 2021 [7].

<b>Chine</b>	<b>1751610</b>	<b>Russie</b>	<b>634951</b>
<b>Allemagne</b>	1667768	<b>Pays bas</b>	580205
<b>Portugal</b>	1093275	<b>Pologne</b>	564062
<b>Espagne</b>	875381	<b>Italie</b>	519291
<b>France</b>	700986	<b>Turquie</b>	467827

Le verre d'emballage est le secteur le plus important des industries du verre de l'UE et représente environ 62 % de la production totale de verre de l'UE.

L'industrie européenne du verre d'emballage fournit une large gamme de produits d'emballage en verre pour les aliments et les boissons ainsi que des flacons pour la parfumerie, les cosmétiques et la pharmacie à une clientèle européenne et mondiale.

Avec ses 160 usines de fabrication réparties dans toute l'Europe, elle contribue de manière importante à l'économie réelle européenne et fournit des emplois directs à environ 50 000 personnes, tout en créant un grand nombre d'opportunités d'emploi tout au long de la chaîne d'approvisionnement [10].



**Figure 21:** Carte des usines de production du verre d'emballage en Europe [10].

**8.2 Principaux producteurs mondiaux :**

**Principaux producteurs de verre plat : en 2019.**

**AGC (Asahi Glass Company, Japon)**, n°1 mondial possède 13 % du marché du verre plat avec 36 floats, dont 3 en joint-venture et des usines en France à Boussois (59) et Seingbouse (57), en Belgique à Moustier, en Allemagne à Osterweddingen, en Italie à Cuneo, en Espagne à Sagunto, en République tchèque à Refenice, en Russie à Nizhniy Novgorod et Klin, au Japon à Kashima et Aichi, en Chine à Dalian et Suzhou, en Indonésie à Jakarta et Surabaya, aux Philippines à Manille, en Thaïlande à SamutPrakarn et ChonBuri, en Inde à Taloja et Roorkee, aux États-Unis à Greenland, Richmond et Spring Hill et au Brésil à Guaratingueta [7].

**Saint Gobain (France)**, n°2 mondial exploite 37 floats dont 10 en joint-venture, avec outre les usines françaises, voir plus loin, des usines, en Allemagne à Herzogenrath, Stolberg, Porz et Torgau, en Espagne à Avilés et Arbos, au Portugal à Santa Iria, en Italie à Pise, au Royaume Uni à Eggborough, en Pologne à Dabrowa, en Roumanie à Calarasi, en Russie à Yelabuga, en Argentine à Buenos Aires, au Brésil, en joint-venture avec NSG à Caçapava, Jacarel et Barra Velha, au Chili à Lirquen, en Colombie, en joint-venture avec NSG, à Soacha, au Mexique à Cuautla, en Égypte à Ain el Sokhna, en Inde à Bhiwadi, Chennai et Jhagadia, en Corée du Sud à Gunsan et en Chine à Qingdao[7].

**Principaux producteurs de verre creux :**

**O-I (Owens Illinois, États-Unis)**, n°1 avec 72 usines dont 17 aux États-Unis, 2 au Canada, 34 en Europe dont 10 en Italie, 9 en France, 3 en Allemagne et aux Pays Bas, 2 en République tchèque, en Pologne, en Espagne, au Royaume Uni et 1 en Estonie, en Hongrie, 17 en Amérique Latine dont 5 au Mexique, 4 en Colombie, 3 au Brésil, 2 au Pérou, 1 en Argentine, en Bolivie et en Équateur, 2 en Chine [7].

**Ardagh (Irlande)** exploite 34 usines de production de verre creux dont 14 aux États-Unis, 8 en Allemagne, 4 au Royaume Uni, 3 en Pologne, 2 aux Pays Bas, 1 en Italie, au Danemark et en Suède. En 2014, a acheté à Saint Gobain 4 usines de Verallia en Amérique du Nord [7].

**Verallia (France)**, ex société du groupe Saint-Gobain, est n°3 mondial. Exploite 32 usines dont 7 en France, 6 en Italie et en Espagne, 4 en Allemagne, 3 au Brésil, 2 en Russie, 1

au Chili, en Argentine, en Algérie, en Ukraine, en Pologne et au Portugal. A produit, en 2020, 16,2 milliards de bouteilles et de pots, avec 57 fours [7].

### Principaux producteurs de fibre de verre :

Un petit nombre de producteurs de fibres de verre détiennent la majorité du marché dont notamment Owens Corning, et Saint Gobain avec ses filiales Vetrotex pour les fibres de renforcement (avec une capacité de production de 1 milliard de km/an et des usines à Hodonice et Litomysl en République tchèque, à Gorlice, en Pologne et à Xicohtencatl, au Mexique) et Isover pour les fibres d'isolation ou encore Owens Corning et Knauf pour les fibres d'isolation [7].

## 9 Les avantages et les inconvénients du matériau verre :

### 9.1 Les avantages

- **Santé**

- Le verre est entièrement fait de matériaux naturels : le sable, le calcaire et le carbonate de soude. Il est pur et imperméable, ce matériau ne peut pas fixer les bactéries et se nettoie très bien (**Kouamé et Koffi, 2009**).

- Le verre est une barrière pour l'aliment. Il ne laisse pas passer les odeurs et les arômes donc les qualités organoleptiques de l'aliment ne sont pas modifiées. Il est imperméable aux gaz et résiste aux pressions internes élevées ce qui permet de l'utiliser pour emballer des boissons telles que le champagne, le cidre, la bière etc...(Le seul matériau en contact avec des denrées alimentaires que la U.S. Food and Drug Administration considère comme généralement sûr) (**Kouamé et Koffi, 2009**).

- Le verre laisse passer les micro-ondes, on peut donc utiliser les ustensiles en verre dans un four classique ou dans un four à micro-ondes (**Kouamé et Koffi, 2009**).

- Cradle to Cradle Certified™, le programme mondialement reconnu qui compare les produits en se basant sur leur durabilité, a accordé la note platine aux contenants en verre la meilleure note possible dans la catégorie de santé des matériaux [11].

- **Environnement**

Le verre est le choix d'emballage le plus inoffensif pour la planète. Le verre est entièrement recyclable, ce qui signifie que les contenants en verre recyclé peuvent être transformés et réutilisés encore et encore [11].

De plus, le verre est inerte et se décomposera dans le sol sans libérer de produits chimiques [11].

- **Economie**

Le verre éveille les sens. Il est joli, emblématique et permet de créer des connexions émotionnelles avec les consommateurs par le touché, la vue et le son. Les avantages du verre pour la santé et l'environnement inspirent les marques et familles à choisir des emballages en verre [11].

### 9.2 Les inconvénients :

Les inconvénients qu'on peut avoir par rapport à l'utilisation du verre ne sont pas nombreux :

- Le coût d'achat est élevé, le verre est un matériau qui nécessite des précautions et donc un coût supplémentaire lors de son transport et de son installation.
- L'autre inconvénient du verre est sa tendance à s'user sur les surfaces régulièrement utilisées, comme le plan de travail ou la table. Ce matériau est sujet aux micro rayure. Il faudra donc s'assurer que l'endroit où vous positionnez votre surface en verre ne soit pas une zone à risques.

## ***Chapitre II :***

# ***Le recyclage du verre***



### 1 Histoire de recyclage

Le recyclage ne date pas d'hier, en effet les premières traces de recyclage date de 3000 ans avant J-C. En effet, les premiers objets en métal usagés sont fondus pour en fabriquer de nouveaux [12] :

**500 ans avant JC** : Athènes invente la décharge municipale et ordonne les habitants d'y déposer leurs déchets [12].

**105** : en Chine, on commence à recycler le papier avec de vieux chiffons de lin.

**1031** : au Japon, on commence à recycler le papier pour en faire du papier neuf.

**1884** : le préfet de la Seine, Eugène Poubelle impose aux parisiens l'usage d'un récipient clos qui portera le nom pour déposer les ordures ménagères et en faciliter la collecte.

**1940** : la ferraille est recyclée en États-Unis et en France pour participer aux efforts de guerre.

**1970** : le sigle du recyclage (ruban de Möbius) devient le logo universel des matériaux recyclables.

Depuis les années 70 le tri et le recyclage professionnel s'accélèrent encore avec la prise de conscience collective du problème environnemental [12].

Progressivement, États et industries le favorisent le recyclage, les premiers textes de lois encadrant ces activités apparaissent [12].

Peu à peu les premières sociétés de recyclage sont fondées et ce secteur entre à son tour dans l'ère de l'industrialisation [12].

En Europe, la Généralisation du tri, l'adoption de lois environnementales toujours plus contraignantes, le progrès permanent des techniques de valorisation et développement de l'économie circulaire font de l'Europe le Leader mondial du recyclage[12].

#### 1.1 Définition de recyclage

Le recyclage est un procédé par lequel les matériaux qui composent un produit en fin de vie (généralement des déchets industriels ou ménagers) sont réutilisés en tout ou en partie. Pour la plupart des gens dans les pays développés, le recyclage regroupe la récupération et la

réutilisation des divers déchets ménagers. Ceux-ci sont collectés et triés en différentes catégories pour que les matières premières qui les composent soient réutilisées (recyclées). Dans les pays développés, les articles de consommation les plus couramment recyclés sont les canettes en aluminium, le fer, les boîtes de conserve et les bombes aérosol, les bouteilles en plastique PEHD et PET, les bouteilles et pots en verre, le carton, les journaux, et les magazines. Les autres types de plastiques : PVC, PEBD, PP et PS (RMQ. Les codes d'identification des plastiques) sont aussi recyclables mais pas couramment collectés. Ces objets sont souvent composés d'un seul type de matériau, ce qui facilite leur recyclage (Saker, 2017).

### 1.2 Technique de recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage





- Chimique : utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants
- Mécanique : est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer.
- Organique : consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

(Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre) [13].

### 1.3 Le sigle de recyclage

De nombreux symboles et logos, associés au recyclage, sont présents sur les emballages et les produits de notre vie quotidienne. Ils en existent tellement qu'il est souvent difficile de s'y retrouver. Vrais ou faux amis, voici quelques clés pour mieux s'y retrouver [14].

**Tableau 7:** Les différents types de sigles de recyclage [15].

Nom de logo	Interprétation	sigle
<b>Triman</b>	Le produit doit être trié ou rapporté dans un point de collecte pour être recyclé. Le déchet ne doit pas être jeté dans la poubelle des ordures ménagères. À noter que son apposition est progressive dans les entreprises, ainsi, il ne figure pas sur tous les produits pouvant être recyclés, ce qui ne signifie pas qu'il ne doit pas être trié !	
<b>Triangle de mobius</b>	Le produit ou l'emballage est techniquement recyclable. En effet, le déchet sera recyclé uniquement si le système de collecte et la filière de recyclage le permet dans votre commune. Pour écarter tout doute de recyclage	
Consignes Intro-Tri	Signalétique plus graphique visant à rendre plus claires les consignes de tri. En effet, les consignes y sont détaillées et les matériaux à jeter ou trier sont nommés pour éviter toute confusion.	
Poubelle barrée	Figurant sur l'ensemble des produits électriques et électroniques et les piles, ces déchets doivent faire l'objet d'une collecte séparée et ne doivent pas être jetés dans les ordures ménagères.	

## 2 La valorisation et recyclage des déchets en Algérie :

### 2.1 La production des déchets en Algérie:

L'Algérie a amplifié ses actions dans le domaine de la protection de l'environnement, recyclage des déchets et au tri sélectif depuis 2001, à travers d'une part, la politique de gestion des déchets qui s'inscrit dans la stratégie nationale environnementale (SNE), et d'autre part dans le plan national d'actions environnementales et du développement durable (PNAE-DD) qui s'est concrétisé par la promulgation de la loi 01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, traitant des aspects inhérents à la prise en charge des déchets, et dont les principes sont (Nouri et Mihoub, 2018) :

- ✓ La prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source ;
- ✓ L'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets ;

- ✓ La valorisation des déchets par leur réemploi et leur recyclage ;
- ✓ Le traitement écologiquement rationnel des déchets ;
- ✓ L'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leurs impacts sur la santé et l'environnement (AND, 2013). D'autre part, la création des dispositifs liés aux déchets. La réalisation d'un plan d'action dépend d'un grand nombre d'acteur à l'échelle nationale, régionale, locale et internationale.

Le ministère de l'environnement et des énergies renouvelables est le premier responsable de la politique nationale de l'environnement et la gestion des déchets en Algérie, Plusieurs structures sont créées sous sa tutelle tel que :

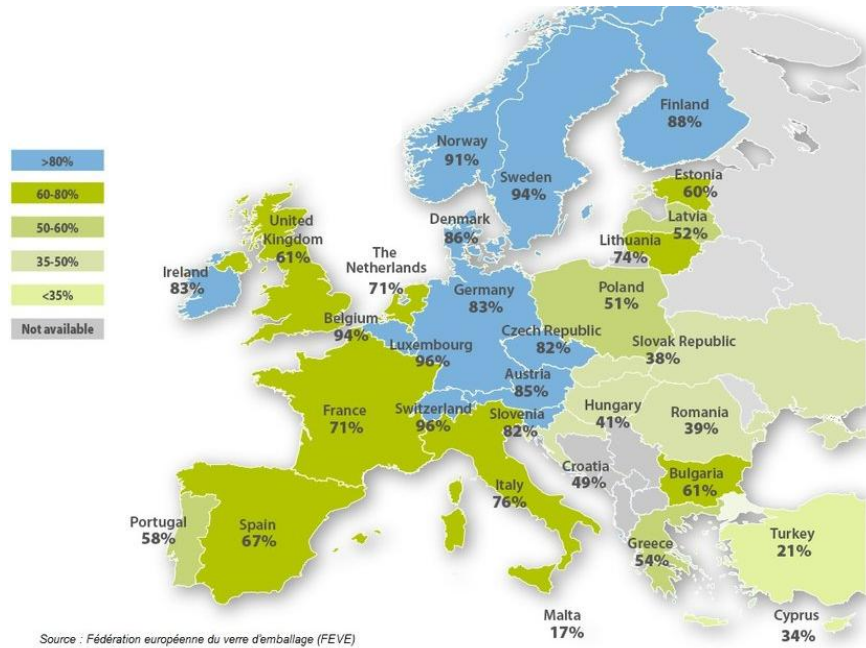
- ✓ La direction générale de l'environnement et du développement durable.
- ✓ L'agence nationale des déchets (AND) L'observatoire national de l'environnement et du développement durable (ONEDD).
- ✓ Le conservatoire national des formations à l'environnement (CNFE)
- ✓ Les Inspections Régionales de l'Environnement Direction de l'Environnement de Wilaya (DEW).
- ✓ ONG : R20, GIZ Allemagne
- ✓ EPIC, CET.....

La loi N°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets<sup>2</sup> définit des différents types de déchets. On distingue : déchets en général, déchets ménagers et assimilés, déchets encombrants, déchets spéciaux, déchets spéciaux dangereux, déchets inertes. On remarque qu'il n'existe pas une classe dédiée aux déchets industriels mais ces déchets sont classés selon leur nature et degré de dangerosité.

### 3 Pourquoi recyclé le verre ?

Le verre est un matériau « vitrine » pour l'environnement car il se recycle à l'infini. Le calcin est une matière première secondaire qui évite d'utiliser des matières premières naturelles ; il contribue ainsi à la lutte contre la pollution atmosphérique et permet des économies d'énergie considérables (Jonathan, 2009).

Le verre est donc un matériau pour lequel il existe de nombreux enjeux environnementaux, techniques et financiers, à la fois pour les industriels, les pouvoirs publics et les collectivités locales (Jonathan, 2009).



**Figure 22:** Taux de recyclage du verre d'emballage en 2012 [16]

### 2.4 Les produits vitreux recyclé

Le verre est fabriqué à partir de sable, de carbonate de sodium, de calcaire et de colorants.

Constitué de composants naturels, le verre possède l'avantage de pouvoir être recyclé à l'infini. Quand on dépose nos bouteilles, bocaux et autres contenants en verre au conteneur en verre, ils sont récupérés et recyclés. Tout le verre récupéré et trié est broyé et devient du calcin. Ce calcin est ensuite incorporé à la composition d'un nouveau verre. Le verre recyclé et broyé ne perd pas en qualité et ne s'altère pas. Et le cycle peut ensuite recommencer à l'infini. Le verre peut donc se recycler encore et encore. C'est très intéressant en termes d'empreintes carbone, d'économie circulaire, de gestion des déchets et d'impact environnemental[17].

### 2.5 Le verre ne pas recyclé

Si le verre est recyclable à l'infini, tous les types de verre ne sont toutefois pas recyclables

- Le verre culinaire et la vaisselle en verre : ont une composition chimique différente du verre d'emballage qui rend impossible leur intégration au calcin utilisé dans les fours verriers.
- La porcelaine, la faïence et la céramique : ce sont des matières infusibles qui rendent le calcin inutilisable. Elles forment des inclusions qui viennent fragiliser la bouteille [18].

### 2.6 Cycles de recyclages:

On a deux types du cycle de recyclage :

- Recyclage avec destruction: On peut utiliser l'énergie dégagée lors de la destruction du matériau.
- Recyclage avec valorisation: C'est l'aptitude d'un matériau à être réintroduit dans un cycle de fabrication (Keddam, 2015).

### 2.7 Le processus de recyclage de verre

Le verre d'emballage ménager doit subir plusieurs étapes de traitement avant de pouvoir être recyclé [19].

#### 2.7.1 Pré-tri:

Un premier tri est effectué par le consommateur qui dépose le verre dans des conteneurs de proximité mis à sa disposition par la municipalité, ce qui n'existe pas en Algérie.

#### 2.7.2 Collecte:

Les conteneurs de proximité sont vidés dans des camions-benne pour être acheminés vers un centre de traitement. Le verre y subit un premier tri manuel qui permet d'enlever les objets de taille importante qui pourraient s'y trouver mêlés, des bouteilles ou des sacs en plastique, par exemple.

#### 2.7.3 Tri et conditionnement :

Au centre de traitement, le verre subit toute une série de tri :

- Des tris mécaniques éliminent les métaux ferreux ou non-ferreux (acier, aluminium...).
- Un tri optique au laser identifie et extrait les matériaux infusibles.

- Un soufflage permet d'extraire les éléments légers : les bouchons, le papier.
- Le verre est ensuite broyé et transformé en calcin, calibré à la demande des verriers pour refaire des emballages en verre.

### 2.7.4 Transformation

Le calcin est acheminé vers des usines de verre pour être fusionné et transformé en de nouveaux emballages en verre.

Un tri complémentaire permettra bientôt de séparer le verre de couleur du verre incolore, ce qui remettra la fabrication de nouveaux emballages de teinte claire [19].

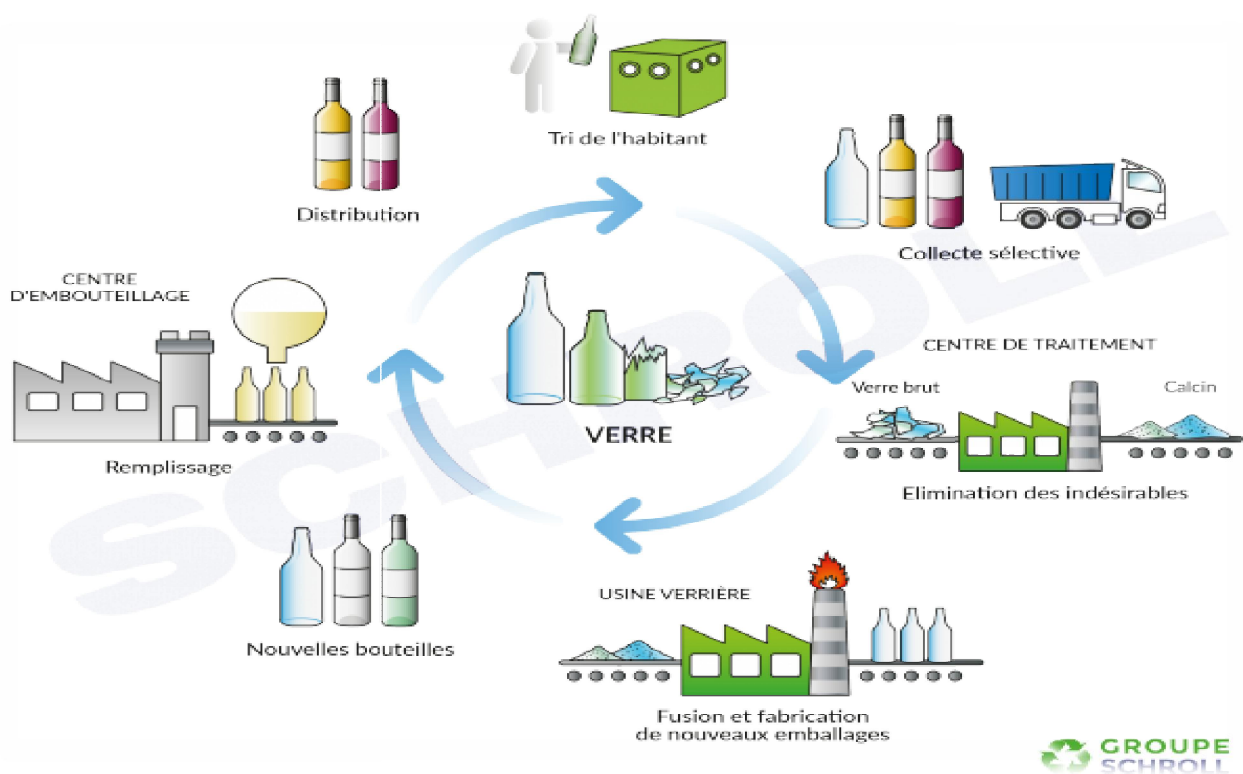


Figure 23: Les étapes de recycler le verre [19].

## 2.8 Les avantages de recycler le verre

### 2.8.1 Écologique

Le recyclage du verre est un geste qui a de nombreux bénéfices pour l'environnement. Il permet non seulement de faire des économies de matières premières, d'eau et d'énergie mais aussi de réduire les émissions de dioxyde de carbone.

Ainsi, la substitution de 10% de matières premières dans le four verrier par du calcin fait gagner 2,5% de l'énergie nécessaire à la fusion. Une tonne de verre recyclé et refondu permet d'éviter l'émission de 500 kg de CO<sup>2</sup> [20].

### 2.8.2 Économique

La fabrication du verre à partir de calcin de récupération présente tout d'abord des économies matière, que ce soit en minéraux, ou en énergie, puisque les frais de transport(extraction et transport des matières premières issues des carrières) et les frais de fusion sont abaissés. Selon la profession, le recyclage du verre aurait permis d'économiser 1,3 million de tonnes d'équivalent pétrole en vingt ans. Sans oublier les conséquences pour l'emploi directs ou indirects, induits par le recyclage du verre[21].

Diminuer le coût du traitement des déchets ménagers, la récupération et le recyclage du verre reviennent aujourd'hui entre 50 et 100 F la tonne. Par comparaison à la seule mise en décharge, le recyclage de 1,5 million de tonnes de verre aurait permis d'économiser, en 1997, entre 500 et 750 millions de francs. Cette économie est principalement fondée sur un partage des coûts entre la collectivité -qui finance le conteneur (achat/entretien) - et la profession, qui finance la filière soit directement -par le biais d'un organisme agréé financé par les fabricants de verre creux d'emballage-, soit directement. La répartition des coûts et des financements s'établit comme suit :

**Tableau 8:** Coûts et répartition du recyclage du verre, 1996 (francs par tonne) [21].

Coûts et répartition du recyclage du verre, 1996 (francs par tonne)					
Opération	Opérateur	Coût	Répartition par financement		
			Collectivité	Organisme agréé	Verrier
Emplacement des conteneurs	Collectivité	5	5		
Financement et entretien conteneurs	Collectivité	83	53	30	
Collecte et transport	Collectivité/ Verrier	230		30	200
Divers	Verrier	14			14
<b>Coût total par tonne collectée</b>		<b>332</b>	<b>58</b>	<b>60</b>	<b>214</b>
Perte (5 %)	Verrier	10			10
Traitement	Verrier	97			97



<b>Transport</b>	Verrier	15			15
<b>Coût total tonne traitée</b>		454	58	60	336
<b>Communication Gestion</b>		20	Np	np	20
<b>Coût total</b>					356

*Source : étude ADEME, données 1996*

### **2.8.3 Un engagement collectif**

Le 25 octobre 2019, les 24 acteurs de la chaîne de valeur du verre ont signé la « Charte Verre 100% solutions ». L'ambition collective de la filière est d'atteindre 90 % de verre collecté en 2025 et de tendre vers 100% à horizon 2029. Au niveau européen, une démarche ambitieuse de dynamisation de la collecte du verre et de son recyclage visant à renforcer les partenariats et partager les bonnes pratiques a également été engagée avec le lancement de la plateforme "Close The Glass Loop"[19].

### **2.9 Impact de recyclage de verre sur l'environnement**

Le recyclage du verre a pour effet d'accroître la concentration en plomb des emballages en verre : on retrouve cette remarquable propriété de fixer durablement les métaux lourds dans le verre utilisée en vitrification de déchets ultimes. Alors que l'Union européenne éditait en 1994 une directive pour réduire les teneurs en métaux lourds des emballages en verre, il est devenu nécessaire en 2001 d'introduire une décision autorisant des concentrations en plomb supérieures à 100 ppm dans les emballages en verre recyclé. L'arrêté autorise le dépassement de la limite de 100 ppm en poids de la somme des concentrations de plomb, cadmium, mercure et chrome VI, prévue par l'article R. 543-45 du Code de l'environnement si les emballages en verre ne subissent aucune introduction volontaire au cours du recyclage de ces métaux et que ce dépassement ne provient que du recyclage. Toutefois, si la somme des concentrations dépasse la limite de 200 ppm, le fabricant ou son mandataire doit présenter un rapport L'ADEME dont le contenu est détaillé dans cet arrêté (alain, 2013).

### **2.10 Domaines de recyclage des déchets de verre:**

Le recyclage du verre d'emballage possède de nombreux avantages, et celui notamment d'être réutilisé à l'infini. Le verre après broyage peut être réutilisé sous plusieurs formes dans plusieurs secteurs d'activité :

## Chapitre II : le recyclage du verre

La construction: il remplace les gravillons qu'on peut trouver dans les parpaings, et possède des qualités d'acoustique et de légèreté.

L'abrasion: les microbilles de verre pour traiter des surfaces sans les endommager ou la poudre de verre afin de préparer des surfaces à travailler, et les billes de verre pour le broyage

Les pigments pour la peinture: dans les enduits pour un effet esthétique particulier ou dans la peinture pour la signalisation routière.

Les matériaux de décoration: dans les roches décoratives pour la mosaïque par exemple.

Le nettoyage: par la libération de soude et de potasse, ainsi que grâce à ses micro particules, qui possèdent des qualités de détergents (**Bouziane et Fendil, 2021**).

***Chapitre III :***  
***Matériel et Méthodes***

## 1 Description de site d'étude

### 1.1 Situation géographique

La wilaya de Guelma se situe au Nord-est du pays ( $36^{\circ} 25'N$ ,  $7^{\circ}25' E$ ) et constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba-Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum-El-Bouaghi et Tébessa), outre la proximité du territoire Tunisien à l'Est.

Elle s'étale sur une superficie de 3.686,84 Km<sup>2</sup> et elle abrite une population (Estimée à fin 2009) de 494079 Habitants dont 25 % sont concentrés au niveau du Chef-Lieu de Wilaya. La densité moyenne de cette population est de 132 Hab. /Km<sup>2</sup>. La Wilaya de Guelma, créée en 1974, comprend 10 Daira et 34 Communes (**Fig, 24**) [22].

Elle est limitée par les wilayas suivantes qui sont (**Fouraet, 2018**) :

- ✓ La Wilaya d'Annaba, au Nord : Avec son port et aéroport, ainsi qu'une base industrielle aussi importante, distante à quelques 60 Km.
- ✓ La Wilaya de Skikda, au Nord-Ouest : Avec son port et sa base pétrochimique, est à moins de 80 Km.
- ✓ La Wilaya de Constantine, à l'Ouest : Son aéroport, ses potentialités de capital de l'Est du pays est à une 100 de Km.
- ✓ La Wilaya de Oum-El-Bouaghi, au Sud : Porte des hauts plateaux, est à 120 Km.
- ✓ La Wilaya de Souk-Ahras, à l'Est : Région frontalière à la Tunisie, est à 70 Km.
- ✓ La Wilaya de El-Tarf, au Nord-Est : Wilaya agricole et touristique port de pêche, frontalière à la Tunisie.



**Figure 24:** Localisation de la wilaya de Guelma [22].

1.2 Situation démographique

**Tableau 9:** La Répartition de la population par Daira dans la wilaya de Guelma pour les années 2008, 2009, 2010 et 2011[17].

Daira	Pop. RGP	Population 2009	Population 2010		Population 2011		Observations
	2008	Totale	Totale	Agglomération	Totale	Agglomération	
Guelma	127.400	130.476	132.042	130.676	133.626	132.245	Urbaine
Guelaât Bou Sbaâ	60.452	61.912	62.654	56.871	63.406	49.154	Hétérogène
Boucheougouf	49.794	50.996	51.609	44.736	52.227	29.964	Semi Urbaine
Oued Zénati	50.716	51.940	52.564	46.243	53.195	36.773	Urbaine
Ain Makhoulouf	38.798	39.735	40.211	29.816	40.694	26.413	Rurale
Ain Hessainia	20.760	21.261	21.515	17.204	21.774	13.780	Rurale
Khézaras	20.738	21.239	21.493	11.906	21.751	11.485	Fortement Rurale
Hammam Debagh	30.537	31.274	31.649	26.270	32.029	23.746	Urbaine
Héliopolis	45.108	46.197	46.751	43.595	47.312	37.536	Semi Urbaine
Hammam N'Bails	38.128	39.049	39.517	25.048	39.991	20.395	Rurale
Total Wilaya	482.430	494.097	500.007	432.365	506.007	381.482	

### 2 La situation économique

#### 2.1 L'activité industrielle

##### 2.1.1 Les unités Industrielles

###### **Les unités Industrielles Publiques :**

Les Unités industrielles Publiques implantées sur le territoire de la Wilaya comme suit : E.N.CYCMA à Guelma, Le vurerie et Semoulerie (ERIAD) à Bouchegouf, Semoulerie à Héliopolis (ERIAD), E.N.A. Marbre à Boumahra, O.N.A.B aliments de bétails à Oued Fragha.

###### **Unités Industrielles privées de production :**

On y recense plusieurs unités on cite :

Les unités de transformation de la tomate, les unités de Boissons Gazeuse, les Semouleries, les Minoteries, les Briqueteries, les unités d'eau minérale...etc.

L'industrie agro-alimentaire est parmi les industries les plus importantes dans la wilaya de Guelma qui est en cohérence avec les différentes activités agroalimentaires telles que : limonaderie, laiterie, minoterie, semoulerie. Par ailleurs, l'activité la plus dominante est celle de Ben AMOR conserverie et minoterie connue (**Foura et al., 2018**).

#### 2.2 Zones d'activités

Les zones d'activités commerciales et artisanales dans la wilaya réparties comme suit: ZAC de Belkheir, ZAC de Nechmaya, ZAC de GuelaatBousbaa, ZAC D'Elfedjoudj, ZAC (**Foura et al., 2018**).

#### 2.3 Zones industrielles

La wilaya de Guelma dispose d'une seule zone industrielle qui se situe à 3 Km du chef-lieu de la wilaya à Draa Lahreche /Belkheir avec une superficie de 45Ha (**Foura et Abboudi., 2018**).

###### **Les PME-PMI : un secteur en croissance continue**

L'ouverture du marché algérien à la concurrence, l'émergence d'un vaste marché euro-méditerranéen, la signature de l'Accord d'Association avec l'Union Européenne, la future adhésion de l'Algérie à l'OMC, autant de paramètres qui interpellent la petite et

moyenne entreprise, devenue, désormais, l'alternative du développement des activités industrielles. Ace titre, la PME est appelée, plus que jamais à se hisser aux niveaux d'excellence requis, sinon disparaître. La wilaya de Guelma comptabilise 654 P.M.E industrielles (Dont 309 sont localisées à Guelma chef-lieu de wilaya). Les activités dominantes sont le secteur de l'industrie qui est le plus important avec 74.65%, spécifiquement réparties sur l'industrie agroalimentaire avec 31.5% du nombre total, l'industrie artisanale avec 45 entreprises (Bijoutier, Fabrication de brosses, soudeur.) et l'industrie du bois avec 18 entreprises. Suivie par le secteur du bâtiment et des travaux Publics avec 37 entreprises soit 25.34%. On remarque dans ces activités l'absence de certains secteurs tels que l'agriculture, le transport et communication, L'hôtellerie et restauration... (Foura et Abboudi., 2018).

### 2.4 Activité agricole

D'après la direction des services agricoles de la wilaya. Guelma avait une vocation essentiellement agricole, la wilaya de Guelma recèle un important potentiel, à savoir

- Surface agricole totale (SAT) qui présente 266 000 ha, soit 72,15% de la superficie totale.
- Surface agricole utile (SAU), présente 187 338 ha, soit 50,80% de la surface totale de la wilaya de Guelma et 70,42% de la SAT. Le ratio SAU est de près de 0,39 ha/habitant,
- Alors que celui enregistré au niveau national est de 0,30ha/habitant.
- Terres improductives présente que 26 405 ha soit 7,16% de la surface totale de la wilaya et 19,65% de la SAT.
  - Superficie irrigable : près de 17 343 ha, soit 9,35% de la SAU (elle peut augmenter, à long terme, pour atteindre 26 000 ha, soit 14,02% de la SAU avec la mise en service totale du périmètre irrigué et les autres projets de mise en valeur en irrigué et l'optimisation des mobilisations des eaux superficielles) (Foura et Abboudi., 2018).

### 2.5 Activité touristique

La vocation touristique de la région de Guelma apparaît à travers la diversité de ses nombreuses et indéniables potentialités qui lui offre un large éventail d'opportunités touristique. A ce titre, plusieurs formes de tourisme sont possibles (tourisme de montagne; tourisme scientifique; éco-tourisme, tourisme climatique, ...etc.) Ces potentialités sont constituées de (Foura et Abboudi, 2018) :

- **Djebel Maouna** : (commune de Ben Djerrah): Se situe au Sud- Est de la commune de BenDjerrah, dont Il se caractérise par une multitude de sommets dont le plus important culmine à 1411m d'altitude par rapport au niveau de la mer, on y trouve la forêt récréative de Mouna, un paysage forestier très riche et très varié.
- **Forêt de Maouna** : Elle s'étend sur une superficie de 1055 ha, à une altitude de 1411 mètres, le point le plus haut par rapport à toute la région de Guelma.
- **Forêt récréative de Béni Saleh** : Elle s'étend sur une superficie de 12 657 Ha au mont de Bouchegouf constitue en primauté de Chêne liège, chêne zeen et Eucalyptus. Cette forêt abrite un potentiel faunistique important pareillement à celle de la forêt de la Maouna plus une espèce rare « le Cerf de barbarie ». Elle a la forme d'un trapèze, s'étendant sur une superficie de 2000 Ha.
- **Le lac souterrain « BirOsmane »** : il est situé à la limite de la commune d'Aïn-Hsaïnia « Houari Boumediene », à quelques centaines de mètres au-dessus de la station thermale de Hammam Chellala, sa longueur peut atteindre 80 m.
- **Ghar-ladjmaa: à Bouhamdane** : Vaste et merveilleuse grotte de stalagmite et de stalactites s'ouvrant dans le flanc Nord du Djebel Taya. Elle est découverte par Mr Jorge Bourkiate le 23 Mai 1867 et une délégation française, Elle est classée comme un site naturel en 1927.
- **Focus sur : Aïn Sefra** : Ancienne station d'été située sur un coteau supérieur de la Maouna, Aïn Safra était un centre d'estivage de premier ordre, en raison de sa température délicieuse.

### 3 Méthodologie adoptée

#### L'objectif

Objectif de notre travail est de faire un état de lieu du recyclage du verre en l'Algérie, pour cela on a fait une recherche sur le Web sur les adresses de l'ensemble des entreprises de récupération et recyclage du verre à l'échelle nationale, régionale (un pays voisin : la Tunisie) et on a comparé avec un pays développé : La France.

L'autre objectif est de voir le devenir des déchets urbains dans la wilaya de Guelma. Pour cela on a effectué un stage de 30 jours dans la Direction de l'Environnement (D.E.) de la Wilaya de Guelma. Et nous avons réalisé un questionnaire destiné aux gense et autre questionnaire destiné aux l'entreprise de recyclage de verre « ALVER ».



Les données de cette étude ont été obtenues à partir d'un questionnaire de trois établissements :

- Centre d'enfouissement technique de la wilaya (CET).
- La direction de l'environnement de la wilaya.
- Direction générale des forêts DGF.

### 3.1 Élaboration du questionnaire

#### 3.1.1 Direction de l'Environnement, Wilaya de Guelma

Le questionnaire renferme 11 questions réparties sur des différentes informations, il s'agit de :

- Nombre de décharge contrôlé dans la W de Guelma
- Nombre de décharge sauvage dans la W de Guelma
- Nombre d'entreprise de recyclage des déchets
- Type de déchets recyclé dans la W de Guelma
- Projets de collaboration réalisée à l'échelle nationale (entre Wilayas)
- Projets de collaboration réalisée à l'échelle internationale
- Budget destiné à la gestion des déchets
- Nombre de camions de collecte des déchets urbain
- Nombre du personnel de collecte des déchets urbains
- Nombre d'entreprises privés de collectes des déchets urbains
- Nombre de centre d'enfouissement technique des déchets
- Types des déchets récupérer

#### 3.1.2 Centre d'enfouissement technique de la wilaya (CET)

Nous avons fait deux questionnaires les premières sont :

- Quantité de déchets total du CET par mois
- Nombre de camion par jours
- Nombre de camion par Nuit
- Quantité total / Tonne
- Type de plastique trouvé

Et les deuxièmes renferment 4 questions, qui sont :

- Nombre de communes
- Personnel de ce centre d'enfouissement
- Nombre Nb des entreprises de recyclage
- Type de matériaux à recycler (déchets ménagers, déchets de collectivités locales, déchets industriels, déchets hospitaliers, déchets radioactifs, déchets fermentescibles).

### 3.1.3 Direction générale des forêts DGF

Où le questionnaire renferme 2 questions, il s'agit de :

- Type déchet trouvé dans les forêts de la W de Guelma et la quantité
- Nombre de décharges sauvages dans les forêts de la W de Guelma recensés par années avec le type de d'amende.

*Chapitre IV :*

*Résultats et discussion*

### 1 Les entreprises de recyclage en Algérie

D'après la base de données de l'année 2023 fournie par l'administration de la chambre de commerce, le nombre des entreprises de recyclage recensé en Algérie sont répartie comme suite: on constate que la région du centre de l'Algérie a hébergé le nombre le plus élevé (avec 24 entreprises), par rapport aux autres régions, on suppose que ce résultat est lié directement ou indirectement soit avec le nombre de population existante soit par l'intérêt gouvernementale (Fig. 25)

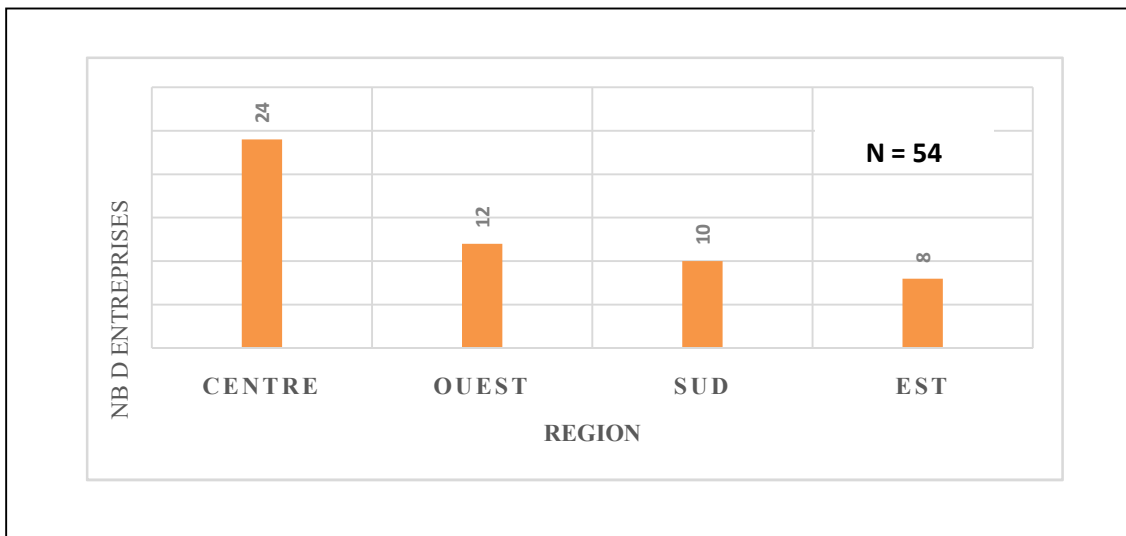


Figure 25: Le nombre des entreprises de recyclage en Algérie.

### 2 Répartition des entreprises de recyclage en Algérie

D'après les résultats obtenus de la recherche webographie de la comparaison entre les régions algérienne on trouve la plupart des entreprises de recyclage se situe au centre algérien avec 44% (24 entreprises), arrive en second lieu la région de l'ouest avec 22% (12 entreprises), en suit le sud de l'Algérie avec 19% (10 entreprises) et l'Est avec 15% (8 entreprises) (Fig. 26).

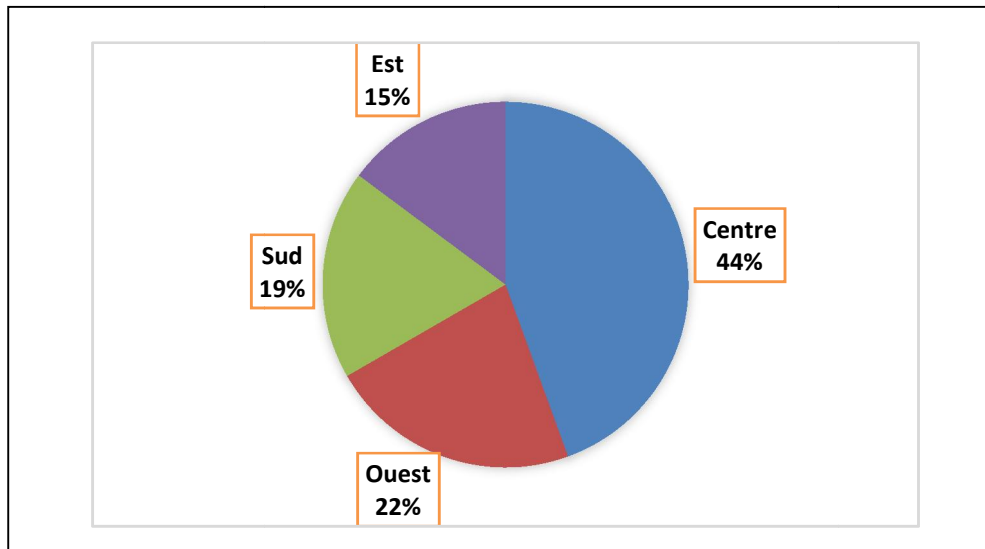


Figure 26: Répartition des entreprises de recyclage en Algérie.

### 3 Le nombre des entreprises de recyclage en Algérie en fonction de nature des déchets

Le diagramme en bâton ci-dessous représente le nombre des entreprises de recyclage de chaque matière de déchet en Algérie, tel que le papier, le plastique, le verre, le métal et autres déchets. Dont on a observé que le plastique la matière la plus demande par ces derniers avec 56 entreprises par la suite arrive le métal et autres déchets avec 38 entreprises, le verre est la matière la moins recyclée avec 4 entreprises (Fig. 27).

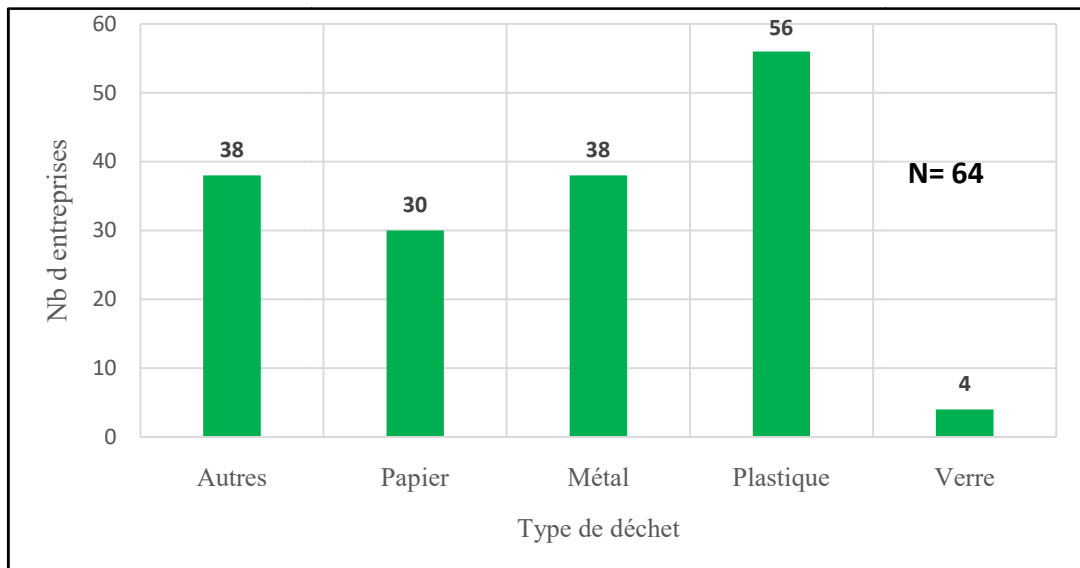


Figure 27: Nombre des entreprises de recyclage par type de déchet en Algérie

### 4 Comparaison entre le recyclage en Algérie et la Tunisie

Afin d'évaluer le nombre d'entreprises de recyclage de déchets urbains dans la région du Maghreb, nous avons comparé les données webographiques de la Tunisie avec celle de l'Algérie.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a juste une différence quantitative évidente entre le nombre des entreprises de recyclage de déchets algériennes et les entreprises tunisiennes, et on trouve que le plastique prend la plus grande part du nombre d'entreprise (30 entreprises), suivi par les papiers et cartons avec (23 entreprises), autre déchets (textile, les huiles...) par (13 entreprises) et en suite le métal avec (9 entreprises) et en fin le verre avec 2 entreprises. (Fig. 28).

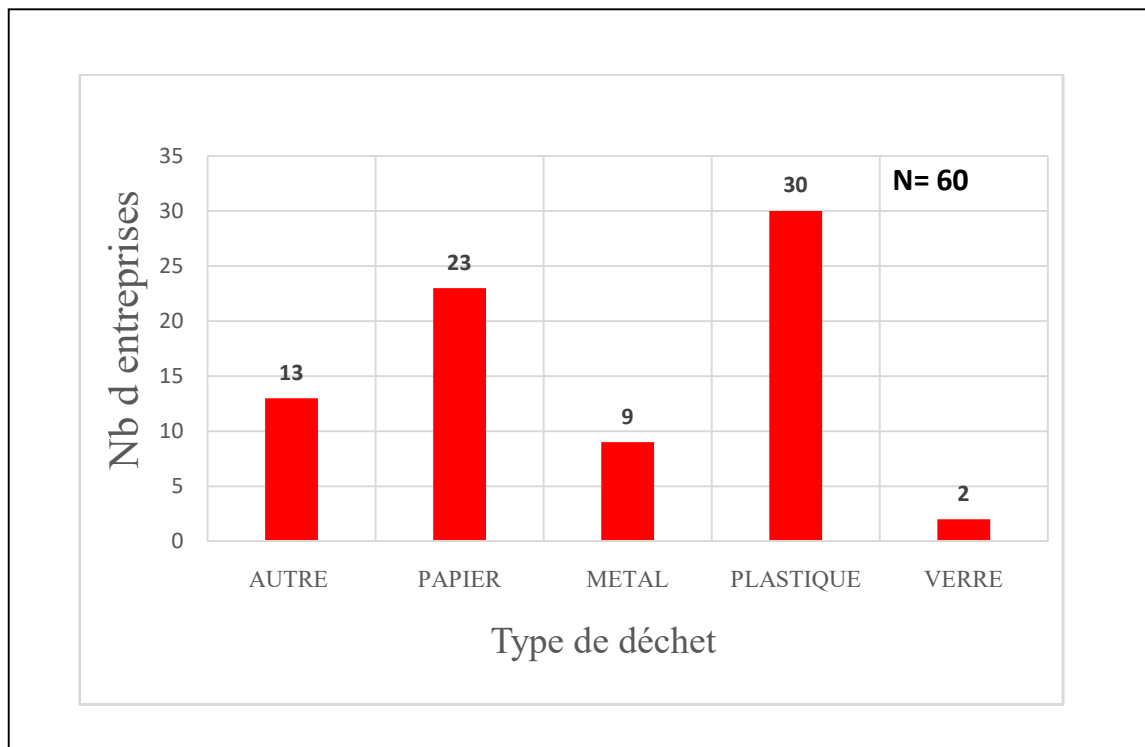


Figure 28: Nombre des entreprises de recyclage par type de déchet en Tunisie.

### 5 Comparaison entre le recyclage en Algérie et en France

En comparant l'Algérie à un pays très développé, on peut citer la France comme exemple pour mieux comprendre les différences de développement.

En effet que la France soit plus avancée que l'Algérie en termes de recyclage, car elle dispose d'un plus grand nombre d'installations de recyclage et d'une infrastructure plus développée pour la gestion des déchets à raison de 455 entreprises de recyclages. La France

accorde une grande importance à la gestion correcte des déchets en verre a raison de 55 entreprises.

Cela peut être attribué à une variété de facteurs, tels que la culture de la durabilité, les politiques gouvernementales favorisant le recyclage, et la sensibilisation accrue du public à la nécessité de réduire les déchets. Cependant, cela ne signifie pas que l'Algérie ne travaille pas également à améliorer ses pratiques de recyclage et de gestion des déchets mais avec un rythme un très long (Fig. 29).

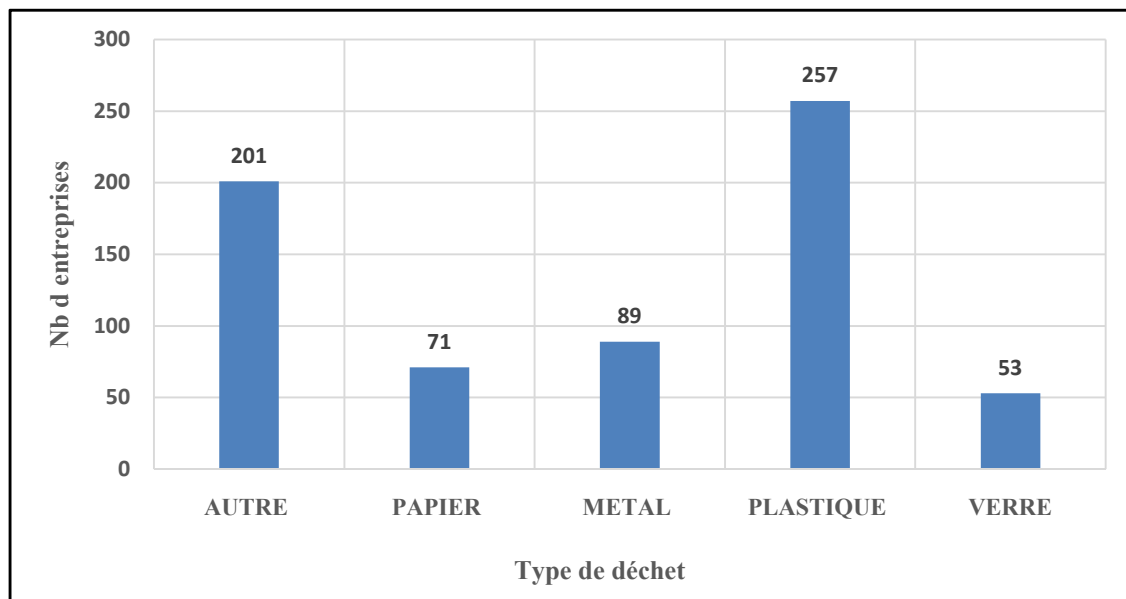


Figure 29: Nombre des entreprises de recyclage par type de déchet en France.

## 6 Traitement et analyse des résultats de l'enquête des différentes structures administratives traitant ou fréquentent les déchets urbains

### 6.1 Résultats des questionnaires de CET de Guelma

D'après l'administration de la CET, le centre accueille uniquement les déchets ménagers et les déchets locaux de 13 communes, avec un personnel égal 118, avec la présence uniquement d'une entreprise de recyclage.

Tableau 10: Questionnaire N°01 pour le CET de Guelma.

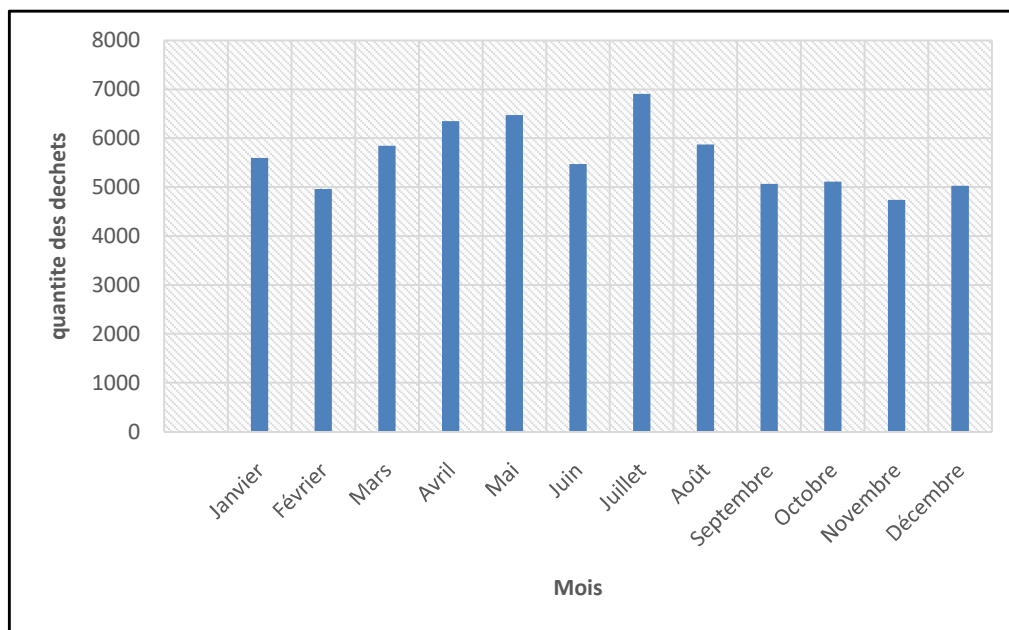
	Valeur
Nombre de communes	13
Personnel de ce centre d'enfouissement	118
Nb des entreprises de recyclage	1

**Tableau 11:** Questionnaire N°02 pour le CET de Guelma.

Type de matériaux à recycler	Déchets ménagers	Oui
	Déchets de collectivités locales	Oui
	Déchets industriels	Non
	Déchets hospitaliers	Non
	Déchets radioactifs	Non
	Déchets fermentescibles	Non

### 6.2 Quantité de déchets total du CET

La quantité globale de déchet urbain cofondé récupéré par le CET durant l’année 2022 a égalé **67436,12 tonnes** dont La quantité des déchets a été maximale durant le mois de juillet avec 7000 Tonne et elle a été minimale avec 4700 tonnes durant le mois de novembre (**Fig. 30**).



**Figure 30:** Quantité de déchets total du CET en tonne par mois pour l’année 2022

La quantité de déchet urbain d’après le CET se représente essentiellement par 335,84 PET PRESS en second lieu 44,61 CARTON EMBALLÉ, le reste entre papier et PEHD et le verre est absolument absent (non mentionnée) (**Fig. 31**).



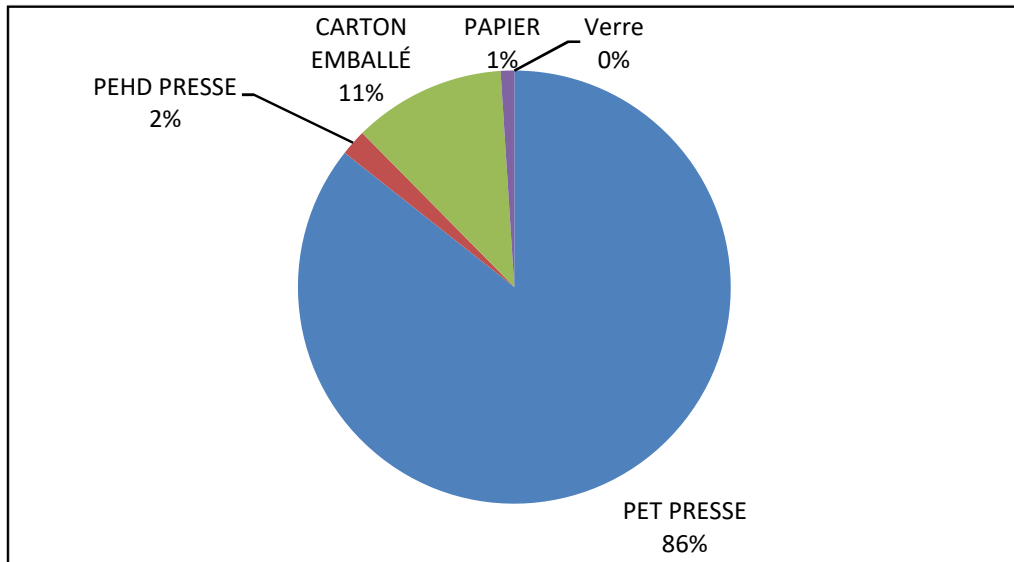


Figure 31: Représentation typologie des plastiques existants.

### 6.3 Résultats des questionnaires de la direction de l'environnement (DE) de Guelma

D'après les informations fournies, il y a 21 sites de décharges sauvages dans la région de Guelma et un projet international sur le changement climatique en cours.

Le nombre de véhicules de collecte des déchets urbains est de 169 camions et 74 tracteurs. Le personnel de collecte est composé de 694 agents et il y a 4 entreprises privées qui s'occupent de la collecte des déchets urbains. Les types de déchets récupérés sont limités aux cartons, plastiques, papiers, déchets ferreux, pneus usagés et batteries usagées, tandis que le verre n'est pas collecté.

Tableau 12: Questionnaire pour la DE de Guelma.

	Valeur
Nombre de décharge contrôlé dans la W de Guelma	0
Nombre de décharge sauvage dans la W de Guelma	21
Nombre d'entreprise de recyclage des déchets	0
Type de déchets recyclé dans la W de Guelma	0

## Chapitre IV : résultat et discussion

<b>Projets de collaboration réaliser à l'échelle national (entre Wilayas)</b>	0
<b>Projets de collaboration réaliser à l'échelle international</b>	Projet sur le changement climatique
<b>Budget destiné à la gestion des déchets</b>	/
<b>Nombre de camions de collecte des déchets urbains</b>	169 camions + 74 tracteurs
<b>Nombre du personnel de collecte des déchets urbains</b>	694 Agents
<b>Nombre d'entreprises privés de collectes des déchets urbains</b>	4
<b>Types de déchets récupérer</b>	Carton- plastique – papier- déchet ferreux - pneus usagés – batterie usagés

### 6.4 Le questionnaire de direction générale des forêts (DGF) de Guelma

D'après le DGF les déchets trouvés au sein des forêts sont essentiellement représenté par le plastique, le verre, le bois, Matériaux non ferreux, papier, Les piles et accumulateurs, Les pneus usagés, Emballage, Déchet agricoles et Déchet des abattoirs. Sans mentionner la quantité.

#### 6.4.1 Type de déchet trouvés dans les forêts de la W de Guelma Quantité

**Tableau 13:** Questionnaire N°01 pour la DGF de Guelma.

<b>Type déchet trouvés dans les forêts de la w de Guelma</b>		<b>Quantité</b>
<b>Plastique</b>	Oui	//////////
<b>Verre</b>	Oui	
<b>Bois</b>	Oui	
<b>Papier</b>	Oui	
<b>Matériaux non ferreux</b>	Oui	
<b>Ferrailles</b>	Non	

<b>Véhicules hors d'usage</b>	Non	
<b>Les piles et accumulateurs</b>	Oui	
<b>Les pneus usagés</b>	Oui	
<b>Les huiles usagés</b>	Non	
<b>Emballage</b>	Oui	
<b>Déchets d'équipement électrique et électronique</b>	No	
<b>Déchet agricoles</b>	Oui	
<b>Déchet des abattoirs</b>	Oui	

**Tableau 14:** Questionnaire N°02 pour la DGF de Guelma.

	Valeur
<b>Nombre de décharges sauvages dans les forêts de la W de Guelma recensés par années</b>	/
<b>Type d'amende</b>	/

#### 6.4.2 Les déchets admis en déchetterie

Les déchets admis en déchèterie sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau 15:** Présentation des déchets admis en déchèterie

Verre	
Définition et niveau de tri envisageable	
Tri minimum	Tri maximum
- Verre creux : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bouteille</li> <li>- Pots</li> <li>- Flaconnages</li> </ul>	-Récupération de bouteille entières <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tri par couleur</li> </ul>

**6.4.3 Estimation et évolution des capacité requise de traitement des déchets**

**Tableau 16:** Estimation des quantités de déchets Destinés à l’enfouissement a horizon de 20 ans (direction de l’environnement)

Phase quinquennale	Quantités des déchets (t)	Volume de déchets (m <sup>3</sup> )
<b>2019- 2023</b>	221227	737424
<b>2024- 2028</b>	253982	846608
<b>2029 – 2033</b>	291588	971661
<b>2034 – 2038</b>	334760	1115870
<b>Totale</b>	1101557	3671863

**6.4.4 Données sur la caractéristique des déchets**

Selon la caractérisation des déchets ménagers et assimilés, effectuée au niveau de la phase les résultats sont représentés au niveau du tableau :

**Tableau 17:** Composition des DMA produits par la commune

Catégories	Sous-catégorie	Poids (kg)	%Parsous catégories	%Par catégorie
<b>Verre</b>	Transparent	1.150	0.495	0.727
	Coloré	0.540	0.232	
	Verre plat	0.000	0.000	

**Discussion**

Le taux de recyclage des déchets à Guelma est malheureusement très bas, et nul pour le verre, comparé aux autres wilayas. Cela signifie que la plupart des déchets produits par les habitants de Guelma se retrouvent dans les décharges, où ils peuvent mettre des années, voire des décennies, à se décomposer.

Cela a des conséquences néfastes sur l'environnement, car les déchets qui ne sont pas recyclés peuvent contaminer les sols, les eaux souterraines et les êtres vivants.

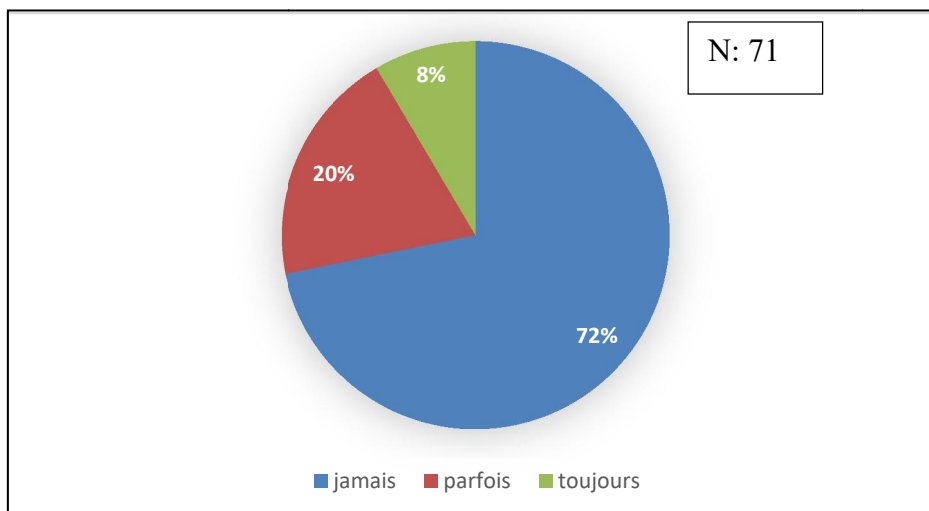
Il est encourageant de voir que l'Algérie est en avance par rapport de la Tunisie en matière de recyclage du papier et du plastique et le métal. Cependant, nous avons encore du travail à faire pour améliorer le recyclage du verre, et d'autres types de déchets. En tant que citoyens, nous avons tous un rôle à jouer pour protéger notre environnement et préserver ses ressources naturelles. En travaillant ensemble, nous pouvons mettre en place des pratiques de recyclage efficaces et durables pour un avenir plus vert et plus propre. Chacun de nous peut faire une différence en adoptant des habitudes plus durables et en encourageant les autres à faire de même.

La France est en avance par rapport à l'Algérie en matière de recyclage. En effet, la France a mis en place des infrastructures efficaces de collecte et de traitement des déchets, ainsi qu'un système de sensibilisation de la population à l'importance du recyclage depuis longtemps. Elle recycle tous les matériaux, y compris les plastiques, les métaux, le verre et le papier. En revanche, l'Algérie doit encore améliorer ses pratiques de recyclage pour atteindre le niveau des pays développés. Cela nécessite des investissements dans les infrastructures de collecte et de traitement des déchets, ainsi qu'une sensibilisation accrue de la population. En travaillant ensemble, l'Algérie peut améliorer ses pratiques de recyclage et contribuer à la protection de l'environnement et à la préservation des ressources naturelles pour les futures générations.

### 6.5 Résultats des questionnaires orientés vers les gens

Les graphes ci-dessous montrant les résultats de l'enquête concernant les réponses des individus de l'échantillon sur le recyclage de verre

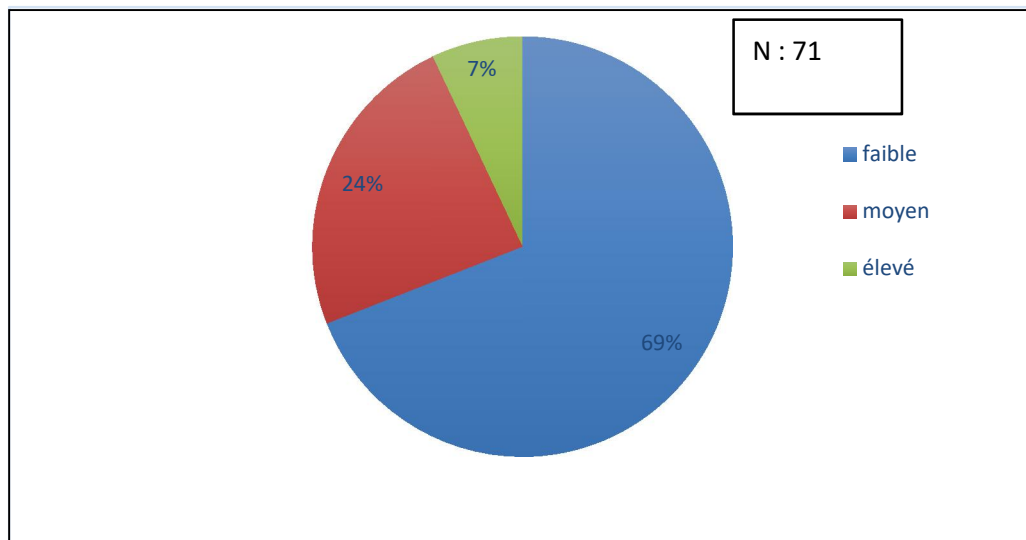
**Q1 : Faite-vous le tri sélectif ?**



**Figure 32:** Le pourcentage des gens qui font le tri sélectif.

Il n'y a que 8 % de personnes interrogées qui font le tri sélectif de manière constante, 20 % de personnes qui le font parfois et 72 % des personnes qui ne le font jamais.

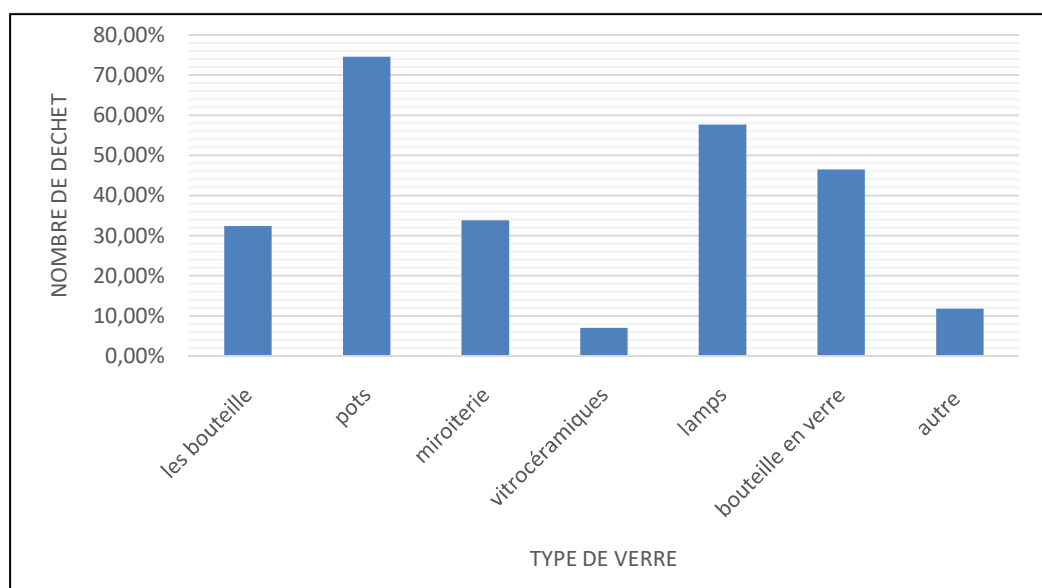
**Q2 :** Quelle est la quantité de verre jeté par mois ?



**Figure 33:** La quantité de verre jeté par mois.

D'après cette étude la plupart de gens jettent peu de verre (69%), un quart en jette une quantité moyenne (24%), et une minorité jette une grande quantité (7%).

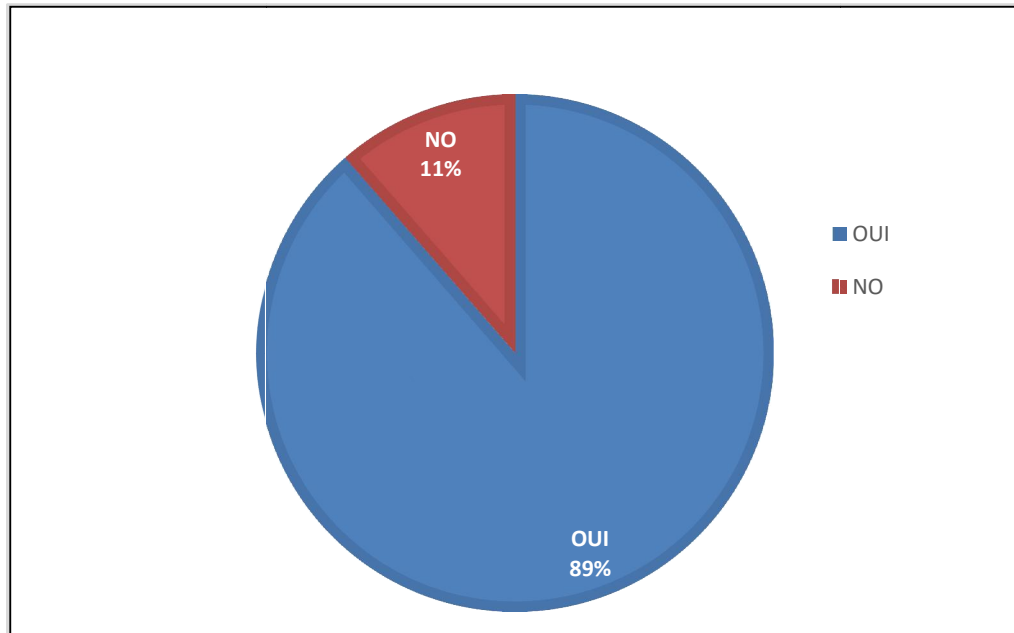
**Q3 :** Quelle sont les différents types de verre jeté ?



**Figure 34:** Les différents types de verre jeté.

Dont on a observé que Les pots représentent la plus grande proportion des déchets en verre, avec une valeur estimé à 72%, suivies des ampoules à 68%, les bouteilles en verre à 57 %

### Q4 : Est-ce que tu as déjà entendu parler du recyclage du verre?



**Figure 35:** Le pourcentage de personne ayant conscience du recyclage verre.

On a pu évaluer que 89 % des personnes ont entendu parler de l'idée de recyclage du verre. Tandis que 11 % ne savent rien

### 6.6 Résultat de Questionnaire orienté vers entreprise Alver

Nous avons obtenu des réponses à notre enquête de la part de la société « Alver » et nous les présentons comme suit :

Q1 : combien de fois recyclé le verre dans votre entreprise ?

- ✓ Le verre recyclé est transformé en produit fini; le processus engendre un rebut de verre dont on recycle

Q2 : Quelles sont les types de verre recyclé dans votre entreprise ?

- ✓ Verre creux (verre sodocalcique)

Q3 : Quelle est la quantité de verre recyclé dans votre entreprise ?

- ✓ 40 tonnes /jour

Q4 : un déchet de verre coloré et mélange (différent type) peut-il être recyclé ?

- ✓ Non, dans un verre blanc car ça influe sur la couleur et la transparence.
- ✓ Oui, dans le verre coloré.

Q5 : Est ce qu'il y'a des solutions pour recycler le verre ayant contenu des médicaments ou autre produit toxique?

- ✓ Notre usine n'utilise pas ce genre de verre, il existe des méthodes spécifiques pour les éliminer.

Q6 : Où vous trouvez les grandes quantités de déchet vitreux?

- ✓ Les grandes usines de produits agroalimentaires.

Q7 : Le destin du verre recyclé est quoi?

- ✓ Utilisation et recyclage en continue (le sort du verre recyclé est la transformation en produit fini).

Q8 : La source principale de vos déchets en verre recyclé?

- ✓ On travaille avec des fournisseurs de collecte de déchets qui se situent dans toutes l'Algérie.



# *Conclusion*

Le verre comme les autres déchets urbain est un matériau omniprésent dans notre vie quotidienne, il est utilisé aussi bien dans le bâtiment (vitrage, isolation thermique) que dans l'industrie de l'emballage, du conditionnement, des transports, ou bien encore dans les secteurs de la lunetterie, de l'éclairage, de l'affichage, écrans plats, T.V. etc. Mais la surconsommation de ce produit anarchique provoque une pollution très importante dans la biosphère.

L'état actuel de la gestion de ce déchet montre nos villes et nos paysages fortement pollués. Les causes sont multiples: augmentation des importations et productions nationales de produits manufacturés en bouteilles et autre flacon en verre, incivisme, mauvaise gestion, ignorance ou absence d'une politique de gestion efficace de ces déchets, la liste reste longue!

Malgré de nombreuses démarches et projets lancés par l'état algérien pour développer une activité économique du verre déchet, il n'en demeure loin des capacités de recyclage et des besoins du marché.

Notre travail est le 1<sup>er</sup> de ce genre au niveau de l'Université 8 mai 1945 Guelma qui concentre sur le recyclage du verre et autre déchets urbains dans la région de Guelma

D'après les recherches webographie sur les liens des entreprises de recyclage des déchets, il semble que l'Algérie ne dispose pas une infrastructure répartie équitablement sur les quatre coins du pays pour gérer les déchets solides, et les déchets dangereux.

L'enquête qui a été effectuée à l'échelle locale dans la Wilaya de Guelma avec L'analyse des questionnaires destinées aux différentes structure concerné par ces déchets la **D.E.** et la **D.G.F.** et la **C.E.T.** et l'entreprise **Alver** et le questionnaire orienté vers les habitants, montre qu'il n'y a pas de véritable intérêt pour le verre en matière de gestion des déchets, et il n'y a pas de statistiques précises sur ces déchets ce qui donne une importance a la création d'une entreprise locale dans le future nationale intéressée par ce genre de matière négligée non valorisé.

Entre temps on insiste sur quelques principes :

- **Le principe de prévention** : La priorité à la réduction des déchets de leur nocivité par le recours aux technologies propres et aux techniques réduisant la nocivité et la quantité des déchets.

- **Le principe de polluer payeur** : L'obligation générale de prise en charge, à leur frais, de la collecte et du traitement des déchets par ceux qui les ont générés dans le respect de l'environnement.
- **Le principe de valorisation** : Dans le cas des pays européens par exemple, les directives actuelles imposent aux états de promouvoir d'abord la valorisation des déchets, l'élimination ne devant intervenir que pour les déchets qui ne sont plus susceptibles de valorisation à un coût économique raisonnable.
- **Le principe de proximité** : La limitation des mouvements des déchets, la gestion moderne des déchets (intégrée) est donc basée sur les principes suivants :
  - La production des déchets doit être réduite dans les limites économiques acceptables.
  - La récupération et la valorisation des déchets doivent être pratiquées dans les limites de la rentabilité.
  - Les déchets qui ne peuvent pas être évités ni récupérés sans coût prohibitif doivent être éliminés de façon à ne pas causer de nuisance à l'environnement.
  - Parmi les méthodes existantes pour éliminer les déchets, on doit choisir la moins nocive à l'environnement.
  - Toute élimination de déchets bruts qui risque de dégrader le milieu naturel doit être évitée si possible par un prétraitement avant décharge.

# *Bibliographie*

## *A*

A.Inoue, Takeuchi A. (2004). Glass fibre- reinforced resin composite materials. *Materials and Science Engineering*, 33 (16), 375-377.

Amirouche, A (2021) Étude du verre Float de l'industrie verrière Mediteranean Float Glass "MFG" Algérie. Mémoire de Master : Génie des Procédés des Matériaux. Université 8 Mai 1945 de Guelma, 78p.

Amrouni, Y (2021) Etude de la faisabilité de création d'une entreprise industrielle de recyclage du verre. Mémoire de Master : Génie industriel. Université Abou-Baker Bekaid de Telemcen, 107p.

Amrous, W et Belkada, N (2015) Etude de la «filère» recyclage du verre à l'Unité Alver d'Oran et proposition de pistes d'amélioration pour une gestion plus responsable et durable. Mémoire de Master : Gestion des Déchets Solides. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 59p

## *B*

Bouziane, B et Fendil, A (2021) Etude du comportement des argiles stabilisées avec des déchets de verre. Mémoire de Master : Génie civil. Université Ibn Khaldoun de Tiaret, 149p.

Bouziane, B (2013) Simulation numérique de la méthode du mouvement moléculaire d'une substance vitreuse. Mémoire de Master. Université Kasdi Merbah, 57p.

## *C*

Charef, K (2010) .La structure et la durabilité chimique de phosphates vitreux. Thèse de magister : Biochimie. Université Mohamed Khider de Biskra.

## *D*

**Didier R.**,2017. La saga du verre [PDF]. France. [Consulté le 19.03.2023]. Disponible : <https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/pdf/saga-du-verre-Roux.pdf>

## *F*

Ferderick, J. (1957) *Physical Properties of Crystals : their representation by tensors and matrices*. Angleterre : Oxford University. 338p.

## *G*

Ghenimi, A et Hezil, B (2017) Etude des verres d'oxyde d'antimoine dopé par Des lanthanides. Mémoire de Master : Sciences des matériaux. Université Larbi Ben M'hidi de Oum El Bouagi, 58p.

Guezzoun, H (2012) Etude physico-chimique et spectroscopique de l'ion de cobalt dans les verres  $Sb_2O_3-Li_2O-WO_3$ . Thèse de Magistère : Physique, Université Kasdi Merbah de Ouargla, 86p.

## *H*

Hamid, Z et Mohamed, L (2000) Le verre dans les bâtiments. Mémoire de Master : Ingénieur d'état en génie des matériaux. Université M'hamed Bougara Boumerdes, p91.

## *J*

James B., Claude G (2005). Le verre science et technologie. Nouvelle-Zélande :EDP Sciences. 464p

Jlassi, I (2012) Caractéristique calorimétriques et physiques des verres à base d'oxyde d'antimoine. Thèse de doctorat : chimie, Université el Manar de Tunisie, 83p.

Jonathan D., Bertrand B., Paul D., Delphine G., Rémi L., Sylviane O., et Rodriguer M., 2008 . La collecte, le tri et le recyclage du verre des déchets ménagers et assimilés, 95p.

Jonathan d., le recyclage de verre : un cycle infini.

## *K*

Kharchi, I et Hafayed, B (2020) Synthèse et caractérisation physico chimique d'un verre d'oxyde d'antimoine. Mémoire de master : Chimie des matériaux. Université Mohamed Khider de Biskra, 57p.

Kodama, M. (1991). Anomalous Behavior of Ultrasonic Velocity in Rubidium Borate Glasses. Journal of the American Ceramic Society, 74(10), 2603-2609.

Kodama, M., Nakashima, N., Matsushita, T.(1993) Velocity of Sound in and Elastic Properties of  $Cs_2O-B_2O_3$  Glasses. Japanese Journal of Applied Physics, 32(5) 147- 354

Kouamé, S et Alexis, K (2009) Etude comparative de l'érosion par particules de sable d'un verre organique en polystyrène et d'un verre sodocalcique. Mémoire de Master : agro- industrie. Institut national Félix Houphouët- Boigny de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire ), 88p.

### *L*

Lafuma, H (1962). Chimie appliquée aux matériaux de construction : Chaux et ciments, céramique et verrerie. Suisse : Masson et Cie. 141 pages.

Largot, H (2020) Synthèse et caractérisation des verres phosphates dopés  $\text{Sm}^{+3}$  et co-dopés  $\text{sm}^{+3}/\text{AgNPs}$ . Thèse de doctorat : Physique des matériaux. Université Kasdi Merbah de Ouargla, 138p.

Le. Petit, (2002) Etude des propriétés optique et mécaniques des verres binaires silicaté d'alcalins lourds. Thèse doctorat de l'université de Dordrecht, 123p.

### *M*

Mai, C., Satha, H., Thollet, G., Vigier, G., Andrieu, G. (1989). SAXS, WAXD and TEM of the early stages of crystallization in  $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-MgO-Li}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  Glass. Journal of Non-Crystalline Solids, 108(2), 201-206.

Mellaoui, S (2014) Etude physico- chimique de la durabilité des verres. Mémoire de Master : Génie des matériaux. Université Mohamed Khider de Biskra. 58p.

### *O*

Orveillon, G (2008) Etude de la structure et du comportement en cristallisation d'un verre nucléaire d'aluminoborosilicate de terre rare. Thèse de doctorat : Physico-Chimie. Université Bordeaux I. 101p.

Oumame, A (2014) Étude de la stabilité des systèmes vitreux multi -composants. Mémoire de Master : Génie mécanique. Université Mohamed Khider de Biskra, 51p.

### *R*

Rehouma, F (1994) Etude de l'échange d'ions à l'argent dans un verre aluminoborosilicate- application à un procédé d'enterrage sélectif des guides. Thèse de doctorat : Physique. Institut national polytechnique de Grenoble, 213p.

## *S*

Saker, A (2017) Etude d'un centre de tri de déchets, mémoire de master : Génie mécanique université Badji Mokhtar de Annaba 09

Slatnia, R et Oumane I (2020) Dopage des verres à base d'oxyde par des ions terres rares pour application optique. Mémoire de Master : Physique de la matière. Université Mohamed Khider de Biskra, 87p.

Stoita, D (2006) Composites à fibres de carbone recyclées : variabilité des sources et optimisation des performances mécanique. Thèse de doctorat : Physique. L'université de Claude Bernard-Lyon1

## *T*

Tristan, T.(2013). Les déchets « collecte, traitement, tri, recyclage ». 1<sup>ère</sup> édition».5 rue Laromiguière, 75005 Paris, 216p.

## *Z*

Zarzycki, J (1982). Verres et l'état vitreux, Paris : Dunod. 391p.



## ***Webographie :***

- [1] Consulté le 03, 03, 2023 <https://infovitrail.com/contenu.php/fr/d/---le-vitrail-les-vitraux-le-verre/b8650196-9948-4d4e-9cdb-f4d340dd369f>
- [2] Consulté le 23, 03, 2023 <https://www.techno-science.net/>
- [3] Consulté le 23, 03, 2023 <https://www.eurofins.fr/>
- [4] Consulté le 17, 03, 2023 <https://www.cercle-recyclage.asso.fr/>
- [6] Consulté le 24, 03, 2023 <https://www.ceramicsrefractories.saint-gobain.com/fr/>
- [5] Consulté le 25, 03, 2023 <https://www.paprec.com/fr/>
- [8] Consulté le 25, 03, 2023 <https://www.alamy.com/>
- [9] Consulté le 26, 03, 2023 <https://www.fnac.com/>
- [10] Consulté le 26, 03, 2023 <https://www.glassallianceurope.eu/>
- [7] Consulté le 26, 03, 2023 <https://lelementarium.fr/product/verres/>
- [11] Consulté le 26, 03, 2023 <https://www.o-i.com/fr/>
- [12] (s.d.). Consulté le 12, 03, 2023, sur <https://www.linares-recyclage.com/lhistoire-du-recyclage/>
- [13](s.d.). Consulté le 15,03, 2023<https://www.techno-science.net/definition/3551.html>
- [14](s.d.). Consulté le 19 ,03, 2023<https://www.kochersberg.fr/dynamic/>
- [15](s.d.). Consulté le 19 ,03, 2023.<https://climate.selectra.com/fr/recyclage>
- [16]] (s.d) consulté 20, 03, 2023 <https://www.researchgate.net/>
- [17]] (s.d) consulté 20, 03, 2023 <https://www.boboco.fr/blog/article/recyclage-du-verre.html>
- [18]] (s.d) consulté 20, 03, 2023 <http://www.ville-lepuysaintereparade.fr/pdf/Recyclage-verre.pdf>

[19] (s.d) consulté 20, 03, 2023 [www.verre-avenir.fr/](http://www.verre-avenir.fr/)

[20] Consulté le 21 03 2023 <https://www.gralon.net/articles/commerce-et-societe/industrie/article-le-recyclage-du-verre/>

[21] (s.d) consulté 20, 03, 2023 <https://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-415.html/>

[22] (s.d) consulté 16, 05, 20123] [https://www.dcwguelma.dz › 44-situation-geographique,](https://www.dcwguelma.dz › 44-situation-geographique)

# *Annexes*

**01. Questionnaire pour le cet :**

	Valeur
Nombre de communes	
Personnel de ce centre d'enfouissement	
Nb des entreprises de recyclage	

Type de matériaux à recycler	Déchets ménagers		
	Déchets de collectivités locales		
	Déchets industriels		
	Déchets hospitaliers		
	Déchets radioactifs		
	Déchets fermentescibles		

**02. Questionnaires pour la direction de l'environnement de Guelma :**

	Valeur
Nombre de décharge controlé dans la W de Guelma	
Nombre de décharge sauvage dans la W de Guelma	
Nombre d'entreprise de recyclage des déchets	
Type de déchets recyclé dans la W de Guelma	
Projets de collaboration réaliser à l'échelle national (entre Wilayas)	
Projets de collaboration réaliser à l'échelle international	
Budget destiné à la gestion des déchets	
Nombre de camions de collecte des déchets urbains	
Nombre du personnel de collecte des déchets urbains	
Nombre d'entreprises privés de collectes des déchets urbains	

Types de déchets récupérer	
----------------------------	--

**03. Questionnaires pour la DGF :**

Type déchet trouvés dans les forêts de la w de Guelma	quantité	Quantité
Plastique		
Verre		
Bois		
Papier		
Matériaux non ferreux		
Ferrailles		
Véhicules hors d'usage		
Les piles et accumulateurs		
Les pneus usagés		
Les huiles usagés		
Emballage		
Déchets d'équipement électrique et électronique		
Déchet agricoles		
Déchet des abattoirs		

	Valeur
Nombre de décharges sauvages dans les forêts de la W de Guelma recensés par années	
Type d'amende	

#### **04. Questionnaires pour les gens :**

N	Question
Q1	Faite-vous le tri sélectif ?
Q2	Quelle est la quantité de verre jeté par mois ?
Q3	Quelle sont les différents types de verre jeté ?
Q4	Est-ce que tu as déjà entendu parler du recyclage du verre?

#### **05. Questionnaires pour entreprise Alver:**

N	Question
Q1	Combien de fois recyclé le verre dans votre entreprise ?
Q2	Quelle est les types de verre recyclé dans votre entreprise ?
Q3	Quelle est la quantité de verre recyclé dans votre entreprise ?
Q4	Un déchet de verre coloré et mélange (déferrent type) peut-il être recyclé ?
Q5	Est ce qu'il y'a des solutions pour recycler le verre ayant contenu des médicaments ou autre produit toxique?
Q6	Où trouver les grandes quantités de déchet vitreux?
Q7	Le destin du verre recyclé est quoi?
Q8	La source principale de vos déchets en verre recyclé?

**01. La liste des entreprises de recyclage du verre en Algérie :**

Entreprise	Wilaya	Lien	Téléphone	E-mail	Adresse
Raskala tout	Blida	<a href="http://www.raskaladz.com">http://www.raskaladz.com</a>			Cité Chréa 09450 Bouinan
Alver	Oran	<a href="http://alver.dz/">http://alver.dz/</a>	0770.55.42.41 0770.00.69.62	<a href="mailto:info@alver.dz">info@alver.dz</a> <a href="#">z</a>	Martyrs de la Révolution Boite postale n° 33 Es- Sénia Oran
Aluverplas	Tizi ouzo				TifraTigzirt
Fadriciplast	blida		025282581		Groupe propriétaire n02 classe 09 massouma 09009 Chebli

## Résumé

En Algérie, les déchets de verre représentent des quantités non négligeables et leurs utilisations de façon exagérée et anarchique vont provoquer la pollution de l'environnement et bien sûr la disparition de cette substance indispensable dans notre vie quotidienne et l'augmentation de sa valeur dans le marché.

Dans ce travail, on a fait une petite enquête sur le devenir des déchets vitreux et les déchets urbains à l'échelle locale dans la Wilaya de Guelma, nationale en Algérie et internationale où on a fait comparer avec un pays voisin en voie de développement la Tunisie et un pays développé la France. À l'échelle locale notre étude a été basée sur l'analyse des réponses à des questionnaires destinés aux trois directions qui traitent ce genre de déchets et qui sont la D.E., la D.G.F. et la C.E.T. À l'échelle nationale et à l'échelle internationale on a fait une recherche sur le Web sur l'ensemble des liens des entreprises de recyclage du verre et autres déchets en Algérie, la Tunisie et la France. Les résultats exhibent qu'il n'y a pas un comptage réel et exact des quantités des déchets ménagers avec l'absence et l'ignorance totale du déchet verre. Notre travail a pour objectif, est de faire un état de lieu des stratégies de recyclage des déchets ménagers à l'échelle locale et nationale et faire comparer avec autres pays. Pour aider à encourager l'installation des entreprises de recyclage agréées bien développées surtout dans notre région de l'est algérien qui entre dans les programmes du développement durable du pays.

**Mots clés :** Le verre, Recyclage, Guelma, Algérie, développement durable.



## ملخص

في الجزائر، تمثل نفايات الزجاج كميات كبيرة واستخدامها بطريقة مبالغ فيها وفوضوية سيؤدي إلى تلوث بيئي وبالطبع اختفاء هذه المادة الأساسية في حياتنا اليومية وزيادة قيمتها في العالم.

في هذا العمل، قمنا بإجراء مسح صغير حول مصير النفايات الزجاجية والنفايات الحضرية على المستوى المحلي في ولاية قالمة، وطنية في الجزائر ودولية حيث قارناها بدولة نامية مجاورة تونس ودولة متقدمة فرنسا. على المستوى المحلي، استندت دراستنا إلى تحليل الردود على الاستبيانات المخصصة للإدارات الثلاثة التي تتعامل مع هذا النوع من النفايات والتي هي D.E، D.G.F. و C.E.T. على المستويين الوطني والدولي، أجرينا بحثاً عبر الإنترنت على جميع روابط الزجاج وشركات إعادة تدوير النفايات الأخرى في الجزائر وتونس وفرنسا. وأظهرت النتائج عدم وجود إحصاء حقيقي ودقيق لكميات النفايات المنزلية مع غياب وتجاهل كامل لمخلفات الزجاج. يهدف عملنا إلى معرفة حالة استراتيجيات إعادة تدوير النفايات المنزلية على المستويين المحلي والوطني ومقارنتها مع البلدان الأخرى. للمساعدة في تشجيع إنشاء شركات إعادة التدوير المعتمدة والمتطورة، خاصة في منطقتنا شرق الجزائر، والتي تعد جزءاً من برامج التنمية المستدامة في البلاد.

**الكلمات المفتاحية:** الزجاج، إعادة التدوير، قالمة، الجزائر، التنمية المستدامة.

## **Abstract**

In Algeria, glass waste represents significant quantities and their use in an exaggerated and anarchic way will cause environmental pollution and of course the disappearance of this essential substance in our daily life and the increase in its value in the world. to walk.

In this work, we made a small survey on the fate of glassy waste and urban waste at the local level in the Wilaya of Guelma, national in Algeria and international where we compared with a neighboring developing country the Tunisia and a developed country France. At the local level, our study was based on the analysis of responses to questionnaires intended for the three departments that deal with this type of waste and which are the D.E., the D.G.F. and the C.E.T. At the national and international levels, we did a web search on all the links of glass and other waste recycling companies in Algeria, Tunisia and France. The results show that there is no real and exact count of the quantities of household waste with the absence and total ignorance of glass waste. Our work aims to make an inventory of household waste recycling strategies at the local and national level and compare with other countries. To help encourage the installation of well-developed approved recycling companies, especially in our region of eastern Algeria, which is part of the country's sustainable development programs.

**Keywords:** glass, Recycling, Guelma, Algeria, sustainable development.