

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2022

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLIMO ANDOULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par:

Melle. MESSAOUDI KAHINA
Melle. BOUREBAAKHAOULA

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2en:**

Filière : Génie Civil
Spécialité : Matériaux

Thème:

**Elaboration et caractérisation physico-mécanique
d'un matériau cimentaire à base de déchets de verre et
plastique.**

Devant leur composé de:

HAMI BRAHIM	MCB	UAMOB	Président
KENNOUCHE SALIM	MCB	UAMOB	Encadreur
ARIBI CHOUAIB	MCA	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2021/2022

Dédicace

A MA Très chère mère

*Quoi qui se fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier
Comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me
Guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force
Pour affronter les différents obstacles.*

A mon très cher père

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.
Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.*

*A celui qui s'est changé la nuit en jour pour m'assurer
les bonnes conditions mon cher oncle Aziz Derbal.*

*A mes très chers frères et mes belles sœurs Abla
Nadjet et Rania et sabrina*

*A mes très chères familles et mes grands parents qui je souhaite
une bonne santé.*

*A mes très chères amies Khadidja ,Ikram ,Nesrin, sofia , afrah
A tous mes amis de promotion de 2^{ème} année Master génie civil
Toute personne qui une place dans mon cœur*

Remerciements

On remercie dieu le tout puissante de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr Kennouche salim, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Notre remerciement s'adresse aux responsables du laboratoire central des travaux publics lieu Houssein Dey pour leur aide pratique et leur soutien moral et leur encouragement.

Résumé

La gestion des déchets municipaux en Algérie est considérée comme une action prioritaire du ministère chargé de l'environnement ces dernières décennies. Pour cela un ensemble de textes et d'organismes ont été adoptés. Des moyens humains et techniques ont été engagés depuis 2001 pour améliorer ce service. En même temps la production de déchets ne cesse d'augmenter suite à l'augmentation de la population et à la croissance économique. Ces quantités pourraient dépasser les 30 Millions de tonnes en 2025 si aucune politique de prévention n'est mise en œuvre et les mêmes tendances macroéconomiques se prolongent dans les années qui viennent. L'adoption de l'enfouissement technique des déchets comme mode d'élimination a engendré des coûts supplémentaires aux collectivités. Le financement de ce service par une taxe forfaitaire reste inapplicable. La qualité de service rendu est un facteur très important pour inciter les ménages à participer financièrement pour couvrir les coûts de la collecte et de traitement de leurs déchets. Adopter un mécanisme de consigne peut être un dispositif qui permet la réduction à la source des déchets d'emballage. Une réorganisation des circuits de collecte influencera sur la baisse des coûts notamment celle liée à la distance de collecte.

C'est dans cette optique que notre travail est enclenché, dans lequel on propose la valorisation des déchets plastiques sous forme de fibres longues, incorporées comme renfort dans le matériau à des pourcentages (1%, 2% et 3 %) et la substitution partielle du ciment par la poudre de verre à des pourcentages (10%, 20% et 30%).

Ce qui a permis de confirmer de noter une augmentation des résistances mécanique à la flexion et à la compression des éprouvettes testées.

Mots clés : Poudre de verre, déchets plastiques, résistances à la flexion, résistances à la compression.

ملخص:

تعتبر تسير جمع النفايات البلدية في الجزائر من الإجراءات ذات الأولوية لوزارة البيئة في العقود الأخيرة. لهذا ، تم اعتماد مجموعة من النصوص والمنظمات. تم تخصيص الموارد البشرية والتقنية منذ عام 2001 لتحسين هذه الخدمة. في الوقت نفسه ، إنتاج النفايات في الزيادة مستمرة بسبب النمو السكاني والنمو الاقتصادي. يمكن أن تتجاوز هذه الكميات 30 مليون طن في عام 2025 إذا لم يتم تنفيذ سياسة وقائية واستمرت اتجاهات الاقتصاد الكلي نفسها في السنوات القادمة. أدى اعتماد أسلوب الطمر الفني للنفايات كطريقة للتخلص من النفايات إلى تكاليف إضافية على المجتمعات. يظل تمويل هذه الخدمة بضريبة ثابتة غير قابل للتطبيق. تعد جودة الخدمة المقدمة عاملاً مهماً للغاية في تشجيع الأسر على المساهمة مالياً لتغطية تكاليف جمع ومعالجة نفاياتهم. يمكن أن يكون اعتماد آلية الإيداع جهازاً يسمح بتقليل نفايات التعبئة عند المصدر. ستؤثر إعادة تنظيم دوائر التجميع على خفض التكاليف، لا سيما تلك المرتبطة بمسافة نقل النفايات .

ومن هذا المنطلق، بدأ عملنا، حيث نقترح استعادة النفايات البلاستيكية على شكل ألياف طويلة ، مدمجة كتعزيز في المادة بنسب مئوية (1% ، 2% و 3%). استبدال جزء من الأسمنت بواسطة مسحوق زجاج بنسب (10% ، 20% و 30%) تم تأكيد ذلك من خلال ملاحظة زيادة في قوة الانحناء للعينات المختبرة.

الكلمات المفتاحية: مسحوق الزجاج ، نفايات البلاستيك ، قوة الانحناء ، قوة الانضغاط

Abstract

In Algeria, the Ministry of the Environment has been in charge of municipal waste over the last decades, consequently, terms and organisations were adopted. Since 2001 the government committed themselves to improving this service using various technical means. Yet, on the other hand, waste has been increasing due to the population rise. Household refuse will be growing, it might exceed 30 million tons unless preventive measures are implemented so are macroeconomic trends extending in the years to come. Landfill sites as a method of disposal triggered additional costs to local communities and a flat rate in order to finance these facilities remains unenforceable. The most significant thing is 'quality' of services provided which would greatly urge households to financially contribute so that the expenses regarding waste collection and processing would be covered. Furthermore, setting up instructions would make people more aware of waste treatment. This device is to allow people to reduce packaging waste. More efficient organization of collection tours would help reduce costs related to the distance. It is with this in mind that our work is initiated, in which we propose the recovery of plastic waste in the form of tongue fibers, incorporated as reinforcement in the material at percentages (1%, 2% and 3%). partial cement by glass powder at percentages (10%, 20% and 30%), This was confirmed by noting an increase in the bending strength of the specimens tested.

Keywords: Glass powder, plastic waste, bending strength, compressive strength

Table des matières

Dédicace	II
Remerciements	III
Résumé	IV
ملخص	V
Abstract	VI
Table des matières	VII
Liste des figures	XI
Liste des tableaux	XII
Introduction général	01
Introduction	03
I.1 Définition du terme "déchet"	03
I.1.1. Définition environnementale et systémique "déchet"	04
I.1.2. Définition juridique de "déchet"	04
I.1.3. Définition économique de "déchet"	05
I.1.4. Définition sociologique de "déchet"	06
I.2. Origine de la production de déchets	06
I.3. Constitution chimique du déchet	06
I.4. Rudologie ou science des déchets	07
I. 5. La classification des déchets	07
I.6. But de la classification des déchets	08
I.7. Classification des déchets selon leur origine	08
I.1.7.1. Déchets agricoles	08
I.1.7.2. Déchets ménagers et assimilés	08
I.1.7.3. Déchets industriels	09

e

I.1.7.4.Déchets hospitaliers et d'activités de soins	09
I.8.Classification des déchets selon leur toxicité	09
I.8.1.Déchets inertes.....	09
I.8.2.Déchets non dangereux non inertes	10
I.8.3.Déchets dangereux.....	10
I.9.Classification des déchets selon leur nature	10
I.9.1.Classification basée sur l'état physique.....	10
I.9.2.Classification basée sur l'état chimique	10
I.10.Méfais des déchets	11
I.11.Impact des déchets sur l'environnement.....	11
I.11.1. coté environnementale.....	11
I.12. les caractéristiques des déchet.....	11
I.12.1 La densité.....	11
I.12.2. Le degré d'humidité.....	12
I.12.3 Le pouvoir calorifique.....	12
I.12.4.Le rapport des teneurs en carbone et azote	12
I.13. Le traitement des déchets	12
I.13.1. Le réemploi	12
I.13.2.La réutilisation	12
I.14. Recyclage.....	13
I.15. Législation européenne relative aux déchets	14
I.16: Les avantages du recyclage.....	14
I.17. Technique de recyclage	15
I.17.1.Procédés du recyclage.....	15
I.17.2. L'intérêt de la valorisation	15

I.17.3.La chaîne du recyclage.....	15
I.18.Impact du recyclage.....	16
I.18.1.Coût de l'industrie	16
I.18.1.1.la source d'approvisionnement alternative	16
I.18.1.2.Création d'activités	16
I.18.1.3.Mise en conformité avec la loi.....	16
I.18.2.Coût demain -d'œuvre	17
I.18.3.Coût de l'environnement.....	17
I.19.Conséquences sur les produits issus du recyclage.....	18
I.20.Gestion des déchets	18
I.21.Principe de gestion des déchets.....	19
I.22.La gestion de collecte des déchets:.....	19
I.22.1.Collecte des déchets	19
I.22.1.1.Le trià la source	19
I.22.1.2.Lacollecte par apport volontaire	19
I.22.1.3.La collecte séparative.....	19
I.23.Technique de gestion des déchets	20
I.23.1.Décharge	20
I.23.2.Incinération	20
I.23.3.Compost et fermentation.....	20
I.23.4.Traitement biologique et Mécanique	21
I.23.5.Pyrolyse et gazéification	21
I.23.6.Procédés de stabilisation/solidification(S/S).....	22
I.23.7.Objectifs de la stabilisation/solidification des déchets	22
I.24.déchet en Alger.....	23
I.25.Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine des travaux publics.....	24

I.25.1.Pneus usagés et déchets plastiques.....	24
I.25.2.Déchets de la construction/démolition.....	25
Conclusion.....	26
Références bibliographiques chapitre I	27
II.A. PartieI: le verre	
Introduction	29
Historique	29
II.1.1.Définition du verre.....	30
II.1.2.Les propriétés du verre	31
II.1.2.1Propriétésphysiques	31
II.1.2.2.Propriétés thermiques	31
II.1.2.3.Propriétés chimiques.....	32
II.1.2.4.Propriétés acoustiques	32
II.1.3.La structure du verre.....	32
II.1.4.Déchet de verre	34
II.1.4.1.Introduction	34
II.1.4.2.Source de déchets de verre	35
II.1.4.3.Valorisation et recyclage des déchets de verre	36
II.1.4.3.1..Valorisation	36
II.1.4.3.2.Recyclage de verre dans la production du ciment	37
II.1.5.L'utilisation de verre dans le béton et de mortier	38
II.1.5.1.Réaction alcali-silice du verre	38
II.1.5.2.Réaction pouzzolanique du verre	39
II.1.5.3.Comparaison du verre à d'autres pouzzolanes	39
II.1.5.4.L'utilisation simultanée de verre et de pouzzolane	40

II.1.5.5.L'activité des fines et des granulats de verre.....	40
II.1.5.6.Étude de la pouzzolanité.....	41
II.1.2.6.1.Avantages de l'utilisation du verre dans le béton.....	43
II.1.7.Valorisation des déchets de verre dans le béton et dans mortier.....	44
II.1.7.1.Valorisation des déchets de verre sous forme de granulats.....	44
II.1.7.2. L'effet de la taille des agrégats de déchet0 de verre sur les propriétés mécaniques des bétons et du mortier.....	45
II.1.8.Valorisation de déchets de verre en remplacement partiel du ciment.....	47
II.1.8.1.L'effet de la granulométrie des déchets de verre.....	48
II.1.8.2.Le taux de remplacement du ciment par la poudre de déchet de verre.....	49
II.1.9.Effet de la poudre de verre sur les propriétés du béton frais.....	50
II.1.10.Effet de la poudre de verre sur les propriétés du béton durci.....	52
II.1.11.Valorisation de déchets de verre en remplacement partiel du ciment et agrégat dans le même mélange.....	54
B)Partie II :Le plastique.....	59
II.2.Introduction.....	59
II.2.1.Historique de matière plastique(FRANCK,2013).....	59
57II.2.2.Définition du plastique.....	61
II.2.3.La chimie du plastique.....	61
II.2.4.Types de plastiques.....	62
II.2.5.Classification des types de déchets plastiques.....	63
II.2.6.Avantages des matières plastiques.....	63
II.2.7.Inconvénients des matières plastiques.....	63
II.2.8.Valorisation des déchets plastiques.....	64
II.2.8.1.Valorisation chimique.....	64
II.2.9.Gestion de déchet plastique.....	64
II.2.10.Recyclage des plastiques.....	65

II.2.11	Utilisation des déchets plastiques recyclés	66
II.2.12	Classification des plastiques réutilisés et valorisés dans le béton et mortiers	66
II.2.12.1	Polypropylène vierge	66
II.2.12.2	Le plastique recyclé des résidus d'automobiles broyé	66
II.2.12.3	Valorisation des déchets plastiques sous forme de granulats	67
II.2.13	Effet du remplacement des granulats par des déchets plastiques sur les propriétés mécaniques des bétons.....	68
II.2.13.1	Propriétés du béton frais	68
II.2.13.1.1	Maniabilité(Affaissement).....	68
II.2.13.1.2	Densité	69
II.2.13.2	Propriétés mécaniques	70
II.2.13.4.1	Résistance à la compression	70
II.2.13.4.2	La résistance à la traction par flexion.....	71
II.2.13.4.3	La résistance à la flexion	72
II.2.13.4.4	L'absorption d'eau et la porosité accessible et la durabilité.....	73
II.2.15	L'effet de l'utilisation des déchets plastiques sous forme des fibres dans les bétons.....	74
II.2.15.1	Propriétés du béton frais	75
II.2.15.2	Propriétés du béton durci.....	76
	Les Références bibliographiques chapitre2	78
III.1	Introduction	88
III.2	Les matériaux utilisés dans cette partie sont	88
III.2.1	Ciment	88
III.2.1.1	Caractéristiques du ciment CEM II/A-M(P-L)42,5N	88
III.2.2	La poudre de verre.....	89
III.2.3	Déchet plastique(feuille de polyester)	90
III.2.4	Adjuvant «plastifiant»	90

III.2.5.Sable	90
III.2.5.1.Masse volumique absolu :	90
III.2.5.2.Equivalent de sable.....	91
III.2.5.3.Teneur en eau:	93
III.2.5.4.Analyse granulométrique:	93
III.2.5.5Module de finesse.....	95
III.3.Formulation de composite	98
III.3.1.Préparation ,confection et conservation des variantes d'études	99
III.3.2.Les quantités des constituants de mortier pour une moule (4×4×16) cm3	101
III.3.2.1. Pour lavariante(Témoin).....	101
III.3.2.1.Pour le mortier avec poudre de verre et fibre de plastique.....	101
III.4.Essais physiques;	102
III.4.1.Essai de la masse volumique	102
III.4.1.1.La masse volumique apparente (la masse volumique apparente des poudres)....	102
III.4.1.1.1.Principe d'essai	102
III.4.1.1.2.Mode opératoire de l'essai	101
III.4.1.2.3.Les résultats d'essai	102
III.4.2.Les masses volumiques apparentes des éprouvettes à 7,14 et28jours (l'état.....)	103
III.5.L'essai mécanique.....	104
III.5.1.Résistance à la traction par flexion	104
III.5.2.Résistance en compression	105
III.5.3.Résultats d'essai.....	106
III.5.3.1.L'écrasement à 7 jours	106
III.5.3.2.L'écrasement à 14jours	106
III.5.3.3L'écrasement à 28jours	107

°

III.5.3.4.Résultats d'essai par rapport aux âges(7,14 et 28 jours).....	107
III.5.3.4.1.Remarques	108
III.5.3.4.2.Interprétation des résultats;	108
CONCLUSION	109
Références bibliographiques chapitre III.....	110
Conclusion générale	112
Annexe	113

Liste des figures

FigureI. 1: Copeaux d'acier dans un a Tellier de maintenance mécanique	4
FigureI. 2: 518 000 tonnes de déchetsle1èrese semestre2019.....	4
FigureI.3: schématisation du concept du déchet.	5
FigureI.4: Eugène POUBELLE(1831-1907)	7
FigureII. 1: Représentation schématique plane d'un réseau vitreux.....	30
FigureII. 2: Tétraèdre deSiO4.....	32
FigureII. 3: La structure de SiO ₂ cristallisée d'après ZACHARIASEN	33
FigureII.4: Structure d'un verre de silicate des ou de d'après WARRENETBISCOE...	34
FigureII. 5: Déchet de verre en Algérie.	35
FigureII. 6: Transformation de déchets de verre en poudre de verre.....	36
FigureII. 7: Indices d'activité pouzzolanique du verre utilisé dans des conditions différentes.....	40
Figure II. 8 : Résistances relatives (%) des mortiers en fonction des finesses du verre.	42
Figure II. 9 : Résistances en compression des mortiers conservés à 20°C contenant jusqu'à 40% de verre de différentes finesses	43
Figure II. 10 : Résumé des résultats de l'effet de la teneur de poudre de verre sur l'affaissement du béton	54
Figure II. 11 : Résultats des tests de résistance à la compression du béton réalisé avec de la poudre de verre en remplacement du ciment.....	55
a) Résistance à la tractionRN33MPa (b) Résistance à la tractionRN45MPa	
Figure II. 12 : Résultats des tests de résistance à la traction du béton réalisé avec de la poudre de verre en remplacement du ciment	56
FigureII.13 : Matière plastique	61
FigureII. 14 : Structure chimique de polymère (d'après kruegeretal.,2015).	62
FigureII. 15: Processus de gestion des déchets plastiques.....	65
FigureII.16: Densité à sec par rapport au volume des le remplacé par les PET	69
FigureII.17 : Densité du mortier à base de déchets plastiques(PF=PETflakes ;PP=PETpellets.....	70
FigureII.18 : La résistance à comprissions en fonction des teneurs d'agrégat plastique	71
FigureII.19: Resistance a la tractionen fonction du pourcentage des agrégats plastique	72
FigureIII.1: Poudre de verre.	89
FigureIII.2: Fibre de plastique.	90

FigureIII.3 : Courbe d'analyse granulométrique du sable.....	97
FigureIII.4 :Malaxeur de mortier.....	99
FigureIII.5 : Fabrication et conditionnement des éprouvettes.....	99
FigureIII.6 : Numérotation des éprouvettes après l'opération de démoulage.....	100
FigureIII.7 : Elaboration des éprouvettes avec fibre de plastique et poudre de verre...	101
FigureIII.8 : Les masses volumiques des variantes étudiées à 7, 14et 28jours.....	104
FigureIII.9 : Essai de flexion.....	104
FigureIII.10 :Essai de compression.....	105
FigureIII.11 :Résistance en flexion des variantes étudiées à 7,14 et28jours.....	107
FigureIII.12 :Résistance en compression variantes étudiées à 7, 14 et 28jours.....	108

Liste des tableaux

Tableaux I-1: La capacité de recyclage en Algérie.....	13
Tableaux I-2: la quantité des déche en Algérie.....	13
TableauII. 1: Quantité de déchets de verre et taux de recyclage dans différents pays. 37	
TableauII.2: Composition chimique du ciment et différents verre colorés.....	38
TableauII.3: Propriétés physique des déchets de verre et sable.	45
TableauII. 4: Résumé des recherches utilisant des déchets de verre comme granulats . 48	
TableauII.5 : Résumé des recherches sur l'utilisation des déchets d e verre en remplacement partiel du ciment.....	52
TableauII.6: La granulométrie des déchets de verre utilisé.....	57
Tableau II. 7: Les granulométries et les pourcentages de déchets de verre.....	58
Tableau II. 8: Types de plastique.	62
TableauIII.1: Les constituants principaux de ciment.	88
TableauIII.2: Représente les Caractéristiques physico mécaniques du ciment utilisé..	89
TableauIII. 3: Caractéristiques physiques de la poudre de verre.	89
TableauIII.4: Composition chimique de la poudre de verre.....	89
TableauIII.5: Résultats des masses volumiques.....	91
TableauIII.6: Résultats d’essai d’équivalent de sable	92
TableauIII. 7: Résultats d’essai de teneur en eau	93
TableauIII.8: Résultats d’analyse granulométrique du sable de keddara.....	95
TableauIII.9: Résultats d’analyse granulométrique du sable de Boussaâda.	96
TableauIII.10: Résultats d’analyse granulométrique du sable corrigé.....	97
TableauIII.11: Composition massique des variantes étudiées.	98
TableauIII.12: Résultats d’essais physique sur les déchets utiliser.....	103
TableauIII.13 : Les masses Volumique apparentes des différentes variante s à 7,14et28jours.....	103
TableauIII.14: Résultats des différentes variantes étudiées à7jours	106
TableauIII.15: Résultats des différentes variantes étudiées à14jours	106
TableauIII.16: Résultats des différentes variantes étudiées à28Jours	107

Introduction générale

Introduction Générale

Les humains dans leurs activités quotidiennes ont tendances à n'utiliser qu'une certaine partie du matériel à des fins de production, de consommation ou de transformation, ce qui entraîne le rejet de la partie la moins importante. C'est là que le problème des déchets se produit. Pendant de nombreuses années, le stockage a été le seul moyen de faire face à ces substances indispensables et malheureusement sans tenir compte des phénomènes chimiques et biologiques résultant de la transformation des déchets ou de certains de leurs composants. Par conséquent, les plus touchés sont les humains ou l'environnement lui-même. On dit que les déchets sont la cause de la pollution, alors que nous les humains sont la principale cause.

L'Algérie, en tant que pays en cours de développement est confrontée à des problèmes liés à la stratégie de gestion des déchets ménagers. La quantité des déchets estimée à 13 millions de tonnes en 2018, devra dépasser les 20 millions de tonnes en 2035, selon une étude récente réalisée par le ministère de l'environnement.

Avec l'évolution des modes de consommation de la population, Cette augmentation est due à une conjugaison de la croissance de la population, qui atteindra 50 millions d'habitants en 2035 d'une part et du développement du potentiel économique, d'autre part, selon la même étude.

Les déchets solides présentent un sérieux problème pour l'environnement. L'accroissement de la population, l'augmentation de la production et de la consommation et le changement du mode de vie sont la cause principale de ses quantités de déchets.

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique.

Dans ce cadre, ce travail de projet de fin d'études ayant pour thème : « élaboration et caractérisation physico- mécanique d'un matériau à base de déchets verre et plastique ». Ayant pour objectif principe la protection de l'environnement, ainsi que la valorisation des déchets (plastiques et verre) dans le domaine des matériaux de construction.

Introduction générale

Ces deux problématiques peuvent être corrigées en valorisant les déchets industriels inertes et leurs utilisations pour le développement de nouveaux matériaux de construction tels que les composites cimentaires, dont l'objectif converge à l'amélioration des propriétés mécaniques et physiques du béton ou mortier.

Ce travail s'étale à plusieurs chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique sur la valorisation des déchets.
- Le deuxième chapitre est dédié sur les déchets verre et plastique dans les matériaux.
- Le troisième chapitre présente pour l'étude des principales propriétés physiques, mécaniques des matériaux étudiés : ciment, poudre de verre, et les fibres de plastiques.
- Le manuscrit est clôturé par une conclusion générale

Chapitre I

Valorisation des déchets

INTRODUCTION:

Le développement industriel, les pressions démographiques et l'évolution des modes de consommation se sont combinés pour augmenter la quantité de déchets solides.

Dans le contexte du changement des modes de consommation ; de l'urbanisation et du développement industriel, la question de la gestion durable des déchets, qui est un pan substantiel de l'infrastructure urbaine est extrêmement important, car l'absence d'une telle gestion est une menace pour l'environnement, la santé humaine, la qualité de vie et l'économie.

Afin de préserver la planète, pour diminuer le volume de nos déchets, la valorisation se pose comme une solution. Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer son traitement. Ils'agit donc de (mesurer pour connaître et connaître pour agir).

Dans ce chapitre, nous aborderons les techniques de gestion et de traitement ou d'élimination des différents types de déchets ; permettant ainsi la valorisation et la réutilisation des déchets dans le domaine du génie civil.

I.1. Définition du terme "déchet":

Selon le PNUD [1] (2009) et l'article 3 de la Loi du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, définit un déchet comme- tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation. Et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer. Toutefois, le terme de déchet peut faire l'objet de nombreuses définitions, selon l'aspect considéré. Du point de vue sociologique, environnemental et systémique, juridique et économique, le « **déchet** » prend des significations différentes.

La notion de déchet peut être abordée de plusieurs manières. Cela varie d'un auteur à l'autre et d'un pays à l'autre. Ceci est particulièrement vrai lors des transformations qu'il peut subir (opérations de collecte, tri, transformations primaires) qui lui confèrent des propriétés physiques, chimiques et mécaniques différentes et donc une valeur économique et écologique. Comme synonymes du mot "déchet", on peut citer : Rognure, copeaux (Figure I.01), chute, scorie, le reste, loupé de fabrication, rejet, résidu, effluent, détrit, immondices, sous-produit, coproduit, produit annexe, produit hors-usage, matière première secondaire, etc.



Figure I. 1: Copeaux d'acier dans un atelier de maintenance mécanique.

I.1.1. Définition environnementale et systémique "déchet":

En bonne logique, il faut englober sous le terme « **déchet** » tous les déchets solides, liquides, et gazeux, mais cet amalgame n'est pas commode. Il faut en effet distinguer d'une part les déchets qui sont dilués dans un fluide destiné à les évacuer et d'autre part les déchets qui sont solides ou bien qui sont confinés dans un récipient parce qu'ils sont liquides ou boueux (Maistre, 1994) [2].



Figure I. 2 : 518000 tonnes de déchets le 1^{er} semestre 2019. [18]

I.1.2. Définition juridique de "déchet":

On distingue une conception subjective, et une conception objective de la définition du déchet :

Selon la conception subjective, un bien ne peut devenir un déchet que si son propriétaire est prêt à s'en débarrasser ; mais tant que la bonne personne ne quitte pas son bien ou l'espace qu'elle loue, elle peut changer d'avis à tout moment. Temps. Si le bien a été déposé sur la voie publique ou dans une poubelle, sa priorité peut clairement signifier une volonté de renoncer à toute propriété du bien. En effet, ce qui est déposé sur un chemin public appartient au propriétaire du chemin public, la commune.

Selon la conception objective, un déchet est un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement, indépendamment de la volonté du propriétaire et de la valeur économique du bien. Les matières premières recyclables en tant que matières premières secondaires relèvent de cette définition objective. Par conséquent, le détenteur des marchandises doit se conformer à la réglementation et il ne peut pas assumer sa responsabilité en matière de gestion des déchets en raison de la valeur économique des déchets. (Aiouimine, 2006) [3].

La figure I.03 ci-dessous illustre le concept du déchet : ses sources habituelles de production et son statut (nuisance ou gisement de matière première).

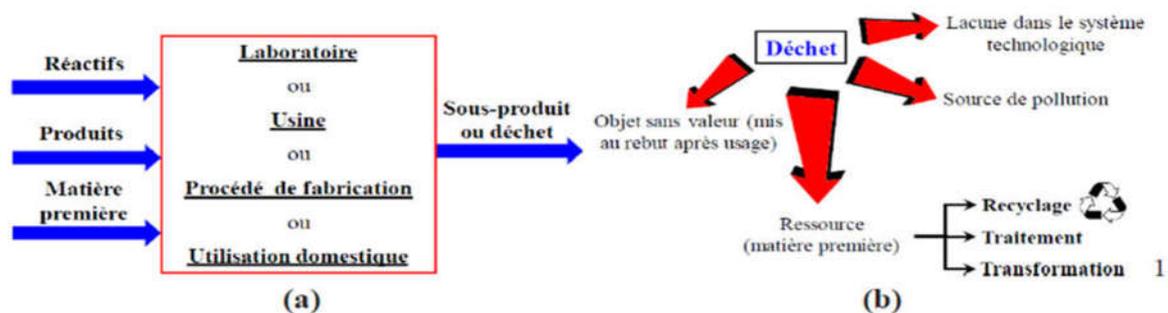


Figure I. 3: schématisation du concept du déchet [20].

- (a) Sources habituelles de production du déchet ou sous-produit,
 (b) Statut de déchet: naissance ou gisement de matière première.

I.1.3. Définition économique de "déchet":

Un **déchet** est une matière ou un objet dont la valeur économique est nul ou négative, Pour son détenteur, a un moment et dans un lieu donné, donc, pour s'en débarrasser, le détenteur de repayer quelqu'un ou faire lui-même le travail (Mystère, 1994) [2].

I.1.4.Définition sociologique de "déchet":

Les déchets est le témoin de la culture et de ses valeurs. Il est le révélateur du niveau social des populations et de l'espace dans lequel elles évoluent (zones rurales ou urbaines, habitat collectif ou individuel). Il est aussi le reflet d'une dépréciation économique ou sociologique à un moment donné (A.D.E.M.E, 2003) [4].

I.2.Origine de la production de déchets:

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- **biologiques** : tout cycle de vie produit des métabolites.
- **chimiques** : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième.
- **technologiques** : tout procédé industriel conduit à la production de déchet.
- **économiques** : les produits en une durée de vie limitée.
- **écologiques** : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique.
- **accidentelles** : l'inévitable dysfonctionnement des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

I.3.Constitution chimique du déchet:

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux [5].

I.4. Rudologie ou science des déchets:

Selon le petit Robert:

Rudologie (du latin *redus*, *rude ris*: décombres ; terme introduit en 1985) : La rudologie est une science qui étudie les déchets, leur gestion et leur élimination. La rudologie ou science des résidus est née en 1884 lorsqu'Eugène - René POUBELLE (Figure 1.04) décréta que les Parisiens ne jetteraient plus leurs ordures par les fenêtres.

Un peu d'histoire...

1884 : invention de la poubelle Eugène POUBELLE (1831-1907)

Préfet de la Seine (Paris) qui, par arrêté du 16 janvier 1884, imposa aux Parisiens, l'usage de la boîte à ordures. Cette boîte à ordures en tôle galvanisée a pris le nom de poubelle et l'a conservé lorsque le plastique a remplacé la tôle.



Figure I.4: Eugène POUBELLE (1831-1907).

Le rudologue, spécialiste de la gestion des déchets industriels ou ménagers et de la prévention des pollutions de l'environnement, travaille généralement pour les organismes publics et parapublics. Il analyse la production des déchets et les nuisances qu'ils génèrent, pour proposer des solutions de traitement des déchets.

I.5. La classification des déchets:

. La loi algérienne relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, donne la classification suivante des déchets (**Article, 5**) :

- Les déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux.
- Les déchets ménagers et assimilés.
- Les déchets inertes

I.6 But la classification des déchets:

La classification des déchets peut être fait de différent façon que l'on se base sur certaines caractéristiques : physiques, ou type de matériau concerné sur les différents secteurs d'activité ou de production (**Murate, 1981**)[6] Selon **Koller (2004)** [7], le but d'une classification des déchets est peut-être:

- D'ordre technique, afin de mieux maîtriser les problèmes de transport, de stockage intermédiaire ,de traitement et d'élimination finale.
- D'ordre financier, selon l'application du principe pollueur payeur, tri entre les communes et les entreprises qui sont nombre ou non d'un organisme de gestion des déchets qui en ont assuré le financement.
- D'ordres légaux, afin de cerner les responsabilités relatives à des questions de sécurité des populations ou de protection de l'environnement.

I.7.Classification des déchets selon leur origine:

I.7.1.Déchets agricoles:

Selon **Koller (2004)** [7], les déchets agricoles correspondent aux déchets d'élevage, des cultures et de l'industrie agroalimentaire. Selon **Damien (2004)** [8], les activités agricoles génèrent principalement 05 types de déchets :

- Les sacs ou bidons vides d'engrais, d'herbicides, de pesticides.
- Les produits phytosanitaires non utilisables correspondant au stock de produits périmés.
- Les résidus liés aux activités d'élevage.
- Les filme agricoles.
- Les déchets verts (pailles, pelouses...).

I.7.2.Déchets ménagers et assimilés:

Correspondant à ceux produit par l'activité domestique des ménages, les déchets assimilés sont issus des commerces, de l'artisanat, des bureaux et des industries (verre, papiers, emballage, métaux ...etc.). Ils sont collectés par les municipalités (**Koller, 2004**) [7].

Il existe des déchets ménagers spéciaux (**DMS**) : ce sont des déchets toxiques ou dangereux produits en faible quantité par les ménages (Solvant, peintures, les huiles minérales) et ne peuvent pas être éliminé.

I.7.3 Déchets industriels :**a. Déchets industriels banals (DIB):**

Ce sont des déchets non dangereux (**Damien, 2004**), assimilables aux ordures ménagères (OM) et relevant de même traitement (**Koller, 2004**) [7], tels que les emballages, le papier carton, les matériaux à base de bois, les plastiques,....etc.).

b. Déchets industriels spéciaux (DIS):

Contenant des éléments nocifs en grandes quantités, ils présentent de grands risques pour l'homme et son environnement et doivent être éliminés avec des précautions particulières (**Atouf, 1990**) [9]. Ils contiennent des éléments polluants nécessitant des traitements spéciaux : huiles usagées, matière de vidange, déchets de soins, déchets de PCB, diverses épaves (**Koller, 2004**) [7].

I.7.4. Déchets hospitaliers et d'activités de soins:

On désigne sous ce terme, les déchets en provenance des hôpitaux, cliniques, établissements de soins, laboratoires et services vétérinaires. Ces établissements produisent des déchets domestiques (cantines, jardins, administration) et des déchets divers ne présentant pas de risques (plâtre). Mais ils génèrent aussi des déchets à risque : objet coupant et tranchant, piles et batteries, films radiologiques, emballages, textiles, cultures biologiques de laboratoire, déchets anatomiques et cadavres d'animaux de laboratoire, objet contenant du sang ou des solvants (**SPE, 1997**) [10]

I.8. Classification des déchets selon leur toxicité :

Le secteur du bâtiment et des travaux publics BTP signe une croissance continue et génère en conséquence des déchets classés comme suit :

I.8.1. Déchets inertes :

Ce sont des déchets qui ne subissent aucune modification en cas de stockage, ne se décomposent pas, ne se brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible de nuire à la santé humaine et d'entraîner une pollution de l'environnement.

I.8.2.Déchets non dangereux non inertes :

Ce sont des déchets qui ne sont ni dangereux, ni inertes, ils comprennent notamment des déchets municipaux (déchets des ménages, de nettoyage municipaux, d'entretien des espaces verts et les déchets de l'assainissement individuel ou collectif), et les déchets industriels banales

I.8.3.Déchets dangereux:

Les déchets dangereux sont des matières destinées à l'élimination qui est gérés et éliminés de manière inadaptée, peuvent nuire à l'homme ou à l'environnement en raison de leur caractère toxique ,corrosif, explosif, combustible ... etc. (SPE, 1997)[10].

I.9.Classification des déchets selon leur nature:**I.9.1.Classification basée sur l'état physique:**

Selon **Murat (1981)**, cette classification comprend :

- Déchets solides : Ce sont les ordures ménagères (OM), les déchets de métaux, les déchets inertes (cendre, scories, laitiers, etc.) déchets de caoutchouc, plastiques, bois et de paille.
- Boues : boues de station d'épuration des eaux urbains ou industrielles, boue d'origine diverses (hydrocarbures, de peintures, de traitement de surfaces...)
- Déchets liquides ou pâteux : Goudrons, huiles usagées, solutions résiduaire divers... etc.
- Déchets gazeux : Le biogaz de décharges (méthane), les gaz à effet de serre (dioxyde de carbone,... etc.).

I.9.2.Classification basée sur l'état chimique:

D'après **Murat (1981)**, Cette classification comprend :

- Déchets basiques : Soudes de potasse résiduaire, liqueurs ammoniacales, et chaux résiduaire (boues de carbones).
- Déchets acides : Solution résiduaire, acides divers (HCL, H₂SO₄, HNO₃, acides organiques...etc.) et les acides à l'état gazeux.
- Sels résiduaire : Sulfate de calcium carbonate de calcium, sulfate ferreux,...etc.
- Métaux : Ferraille, carcasses de véhicules, déchets de métaux précieux, câbles... etc.
- Déchets organiques : solvants usés, huiles usagées, boues d'hydrocarbures, liqueurs résiduaire phénols,... etc.

I.10 Méfaits des déchets:

Les déchets sont à la fois un risque et une ressource, mais lorsqu'ils sont éliminés sans précautions, ils risquent de dégrader des paysages, de polluer l'environnement et d'exposer l'homme à des nuisances et des dangers dont certains peuvent être très graves. (Desachy, 2001)[11].

I.11. Impact des déchets sur l'environnement:

Les conséquences écologiques donnent un impact direct des substances, mais aussi prévenir indirectement de l'incinération ou de la mise en décharge des déchets.

I.11.1. Côté environnementale:

La pollution d'origine humaine peut avoir un impact très important sur la santé et dans la biosphère comme en témoigne l'exposition aux polluants et le réchauffement climatique qui transforme le climat de la Terre et son écosystème. Les préoccupations environnementales conduisent les gouvernements à prendre des mesures pour limiter l'empreinte écologique des populations humaines et pour contrer des activités humaines contaminantes. Les types de pollution :

- La pollution de l'air : provoquée des polluants dits atmosphériques : rejet de pots d'échappement des usines.
- La pollution de sol souvent d'origine industrielle ou agricole : utilisations d'énergie, de pesticides.
- La pollution de l'eau : qui peut résulter de la contamination des eaux usées.

Les conséquences de la pollution :

- 1) Détérioration du paysage et du patrimoine
- 2) Détérioration de la couche d'ozone
- 3) Effet de serre Maladies humaines dues à l'environnement.

I.12. Les Caractéristiques des déchets:

On caractérise les déchets par quatre paramètres essentiels suivants.

I.12.1. La densité :

La connaissance de la densité est d'une grande importance pour le choix des moyennes décollectes et de stockage. C'est pourquoi on peut avoir une densité en poubelle, une densité en benne, une densité en décharge, une densité en fosse, etc

I.12.2. Le degré d'humidité :

Les ordures renferment une suffisante masse d'eau variable en corrélation avec les saisons. Cette humidité a une grande importance sur la décomposition des matières qu'elles renferment sur le pouvoir calorifique des déchets.

I.12.3 Le pouvoir calorifique :

Le pouvoir calorifique est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en ordures brutes.

I.12.4. Le rapport des teneurs en carbone et azote :

Le rapport C/N a été choisi comme Critère de qualité des produits obtenus par le compostage des déchets. Il est d'une grande importance pour le traitement biologique des déchets, car l'évolution des déchets en fermentation peut être suivie par la détermination régulière de ce rapport [12].

I.13. Le traitement des déchets :

La loi 01-19 du 12 décembre 2001, définit le traitement des déchets comme toute mesure pratique permettant d'assurer que les déchets sont valorisés, stockés et éliminés d'une manière garantissant la protection de la santé publique et/ou de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets.

I.13.1. Le réemploi :

Consiste à utiliser une nouvelle fois un produit ou objet usagé, Pour un usage analogue à celui de sa première utilisation ou pour une autre utilité, sans qu'il y ait des traitements intermédiaires. Exemple : la consignation des bouteilles qui sont à nouveau remplies après leur nettoyage.

I.13.2. La réutilisation :

Consiste à utiliser de nouveau un déchet, pour usage différent de son premier emploi. Exemple: l'utilisation de pneus usagers pour protéger la coque des bateaux.

I.13.3. Le recyclage :

Le recyclage désigne la réintroduction d'un matériau contenu dans un déchet dans le cycle production, en remplacement total ou partiel d'une matière neuve. Exemple : utiliser les bouteilles cassées et les refondre pour en faire des bouteilles neuves [13].

Tableaux I-1: La capacité de recyclage en Algérie[20]

La nature des déchets	Quantité en tonne/an
Papier	385 000
Plastique	130 000
Métaux	100 00
Verre	50 000
Matières diverses	95 000
Total	760 000

I.14. 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. Ceux-ci sont collectés et triés en différentes catégories pour que les matières premières qui les composent soient réutilisées (recyclées).

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets éliminés par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. Ainsi, dans le cas du Québec, l'importante hausse du taux de recyclage, passant de **18 %** à **42 %** entre **1988** et **2002**, est allée de pair avec une augmentation de la quantité de déchets à éliminer par habitant, passant de **640 kg/an/personne** à **870 kg** du fait d'une augmentation de **50 %** de la production par habitant durant cette même période. En France, le volume de déchets a doublé entre **1980** et **2005**, pour atteindre **360 kg/an/personne**.

Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large.

I.15.Législation européenne relative aux déchets:

En 2007, la production, le stockage, le traitement et le recyclage des déchets est désormais encadrée en Europe par une législation de plus en plus élaborée.

L'incinération des déchets dangereux est l'objet de la Directive n° 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil du 4 décembre 2000. Le stockage de déchets industriels spéciaux est définie par la Directive n°1999/31/CE du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets et la Décision de la Commission n° 2000/532/CE du 3 mai 2000 ainsi que la Décision 94/904/CE du Conseil établissant une liste de déchets dangereux. La qualité de l'air est quant à elle protégée par le Règlement du Parlement européen et du Conseil CE 2037/2000 du 29 juin 2000 sur les substances qui appauvrissent la couche de zone et par la Décision du Conseil du 25 avril 2002 qui est l'approbation, au nom de la Communauté européenne, du protocole de Kyoto à la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques et l'exécution conjointe des engagements qui découlent.

I.16:Les avantages du recyclage:

Selon **W.M.P(2009)[14]**, les avantages du recyclages ont:

- Reprise de matière première : lorsque le produit est principalement composé d'une ou plusieurs matières premières facilement séparables et réutilisables, on peut le collecter à cette fin ;
- Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières ;
- Conversion en d'autres produits : sans certains cas (matières fermentescibles), les produits ne peuvent être recyclé ni sous la forme initiale ni sous forme de matières premières, on peut tout même les réutiliser après compostage ou fermentation pour en faire des engrais et/ou du carburant (gaz naturel, biogaz principalement). On parle alors de revalorisation.
- Récupération d'énergie : on peut faire brûler le déchet pour récupérer de l'énergie : c'est l'incinération d'ordures. Cependant, ceci ne consiste pas à proprement parler une opération de recyclage. On parle alors de « valorisation énergétique » par opposition à la « valorisation de matière » qui consiste le recyclage.

I.17. Technique de recyclage:**I.17.1. Procédés du recyclage :**

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

I.17.2. L'intérêt de la valorisation :

pourquoi valoriser ? Pour porter de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous-produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement. Les arguments peuvent être résumés en :

- Augmentation de la production.
- Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé.
- Une législation de plus en plus sévère.
- Une meilleure gestion de la recherche.

I.17.3. La chaîne du recyclage :**a. Collecte de déchets :**

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets.

Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques.

Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même.

b. Transformation :

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

c. Commercialisation et consommation :

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés.

I.18..Impact du recyclage :**I.18.1.Coût de l'industrie :****I.18.1.1.la source d'approvisionnement alternative :**

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre auprès des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction. Le recyclage offre aux entreprises les bénéfices de la multiplicité des sources d'approvisionnements telles que la facilité de négociation des prix d'achat ou la sécurité des approvisionnements.

I.18.1.2.Création d'activités :

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur. En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable fait qu'ils ne sont pas tous recyclés. Ainsi, le recyclage est plus coûteux pour des appareils électroniques comme les ordinateurs, car il faut séparer les nombreux composants avant de les recycler dans d'autres filières.

I.18.1.3.Mise en conformité avec la loi :

Dans le cas des déchets d'équipements électriques et électroniques, c'est l'intervention du législateur qui a rendu leur collecte et leur valorisation obligatoires au sein de l'Union européenne.

I.18.2.Coût de main-d'œuvre:

Le recyclage suppose de trier les déchets en fonction du mode de recyclage auquel chacun d'eux sera soumis. Ceci exige une main-d'œuvre abondante, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri et les impuretés qui pourraient compromettre le recyclage (c'est le cas du plastique et du verre).

La collecte sélective elle-même exige la mise à disposition des ménages de bacs spéciaux et emploie plus de personnes qu'une collecte simple.

La plupart de ces coûts supplémentaires sont à la charge de la collectivité (en France, par exemple, c'est au niveau de la commune ou de la communauté de communes que cela est géré). Les impôts locaux en tiennent compte, mais d'autres sources de financement existent : l'écotaxe et une taxe sur les emballages.

I.18.3.Coût de l'environnement :

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ;
- l'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 l d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois.

I.19. Conséquences sur les produits issus du recyclage :

Pour certains types de produits, la qualité de la matière première est altérée par l'opération de récupération de celle-ci dans les produits recyclés. Par exemple, le recyclage du papier donne des fibres de papier plus courtes et un papier de moins bonne qualité (ce qui ne permet qu'une dizaine de recyclages successifs). Autre exemple, le recyclage de certaines matières plastiques contaminées par des polluants ne permet plus de les utiliser pour en faire des emballages alimentaires. Un des problèmes du recyclage du verre est le dépôt, au fond des fours, des verres de type Pyrex qui ont un point de fusion différent du verre ordinaire. Ces dépôts abîment les fours.

Ce pendant, pour la plupart des matières premières contenues dans les déchets (métaux, verre, certains plastiques), les qualités sont conservées au travers du processus de recyclage, permettant un recyclage quasi illimité de celles-ci.

Néanmoins, la chimie intervient de plus en plus dans la fabrication de matériaux issus du recyclage. Les produits qui en résultent ont des caractéristiques de durabilité et de résistance qui peuvent même être supérieures à celles de certains matériaux naturels. Ainsi, on voit des maisons bâties avec des dérivés du recyclage du bois, mélangés ou recouverts par des résines polyuréthanes ou autres. Le résultat est surprenant, donnant une résistance aux intempéries et aux U.V. supérieure à celle du bois. Il en va de même pour le papier recyclé, dont la pâte dés encrée et mélangée à certains produits chimiques donne un matériau très résistant, utilisé par exemple dans la fabrication de mobilier urbain.

I.20. Gestion des déchets :

La gestion des déchets désigne l'ensemble des opérations et moyens mis en œuvre pour limiter, recycler, valoriser ou éliminer les déchets. (Navarro ; 1994)(15). C'est-à-dire des opérations de prévention, de pré-collecte, collecte, transport et toute opération de tri et de traitement, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine et sur l'environnement. La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. La gestion des déchets solides, est la collecte, le transport, le traitement, la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine.

I.21.Principe de gestion des déchets :

De prévenir et de réduire la production et la nocivité des déchets, notamment en agissant sur la conception, la fabrication et la distribution des substances et produits et en favorisant le réemploi, ainsi que de diminuer les incidences globales de l'utilisation des ressources et d'améliorer l'efficacité de leur utilisation. De mettre en œuvre une hiérarchie des modes de traitement des déchets consistant à privilégier, dans l'ordre ; la préparation en vue de la réutilisation, le recyclage avec toute autre valorisation, notamment la valorisation énergétique, ou l'élimination.

D'assurer que la gestion des déchets se fait sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement ,D'organiser le transport des déchets et de le limiter en distance et en volume ; D'assurer l'information du public sur les effets pour l'environnement et la santé publique des opérations de production et de gestion des déchets [16]

I.22.La gestion de collecte des déchets :**I.22.1.Collecte des déchets :**

Le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transfert vers un lieu de traitement[17].

I.22.2.Les différents modes de récupération :**I.22.2.1.Le tri à la source :**

La collecte séparative nécessite au préalable un tri des ordures, soit à la source soit dans un centre de tri.

I.22.2.2.La collecte par apport volontaire :

Elle consiste à mettre à disposition de la Population des lieux de réception, convenablement choisis (en centre-ville ou en périphérie) de façon à permettre une desserte satisfaisante de la population,

I.22.2.3La collecte séparative :

Elle consiste à rassembler les produits valorisables, en particulier les emballages, dans un ou plusieurs bacs conteneurs, les collectes séparatives peuvent être réalisées en porte à porte ou en apport volontaire [18].

I.23. Technique de gestion des déchets :**I.23.1. Décharge :**

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays. Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets ; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront.

I.23.2. Incinération :

L'incinération est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant. L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; ces appellations sont trompeuses puisqu'il y a d'autres façons de récupérer de l'énergie à partir de déchets sans directement les brûler (voir fermentation, pyrolyse et gazéification). Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques. Beaucoup d'organisations utilisent aujourd'hui l'exposition des déchets à haute température pour les traiter thermiquement (cela inclut aussi la gazéification et la pyrolyse). Cette technique inclut la récupération du métal et de l'énergie des déchets solides municipaux comme le stockage adapté des résidus solides (mâchefers) et la réduction du volume des déchets. L'incinération est une technique éprouvée et répandue, en Europe comme dans les pays en voie de développement, même si elle est soumise à controverse pour plusieurs raisons.

I.23.3. Compost et fermentation :

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes.

Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage. Il y a un très large éventail de méthodes de compostage et de fermentation qui varient en complexité du simple tas de compost de végétaux à une cuve automatisée de fermentation de déchets domestiques divers. Ces méthodes de décomposition biologique se distinguent en aérobie, comme le compost, ou anaérobie, comme les digesteurs, bien qu'il existe aussi des méthodes combinant aérobie .

I.23.4. Traitement biologique et Mécanique :

Le traitement biologique et mécanique (TBM) est une technique qui combine un tri mécanique et un traitement biologique de la partie organique des déchets municipaux. Le TBM est aussi parfois appelé TMB (traitement mécanique et biologique) cela dépend de l'ordre dans lequel s'effectuent les opérations. La partie « mécanique » est souvent une étape de tri du vrac. Cela permet de retirer les éléments recyclables du flux de déchets (tels métaux, plastiques et verre) ou de les traiter de manière à produire un carburant à haute valeur calorifique nommé combustible dérivé des déchets qui peut être utilisé dans les fours des cimenteries ou les centrales électriques. La partie « biologique » réfère quant à elle à une fermentation anaérobie ou au compostage. La fermentation anaérobie détruit les éléments biodégradables des déchets pour produire du biogaz et du terreau. Le biogaz peut être utilisé pour créer de l'énergie renouvelable. La partie « biologique » peut aussi faire référence à une étape de compostage. Dans ce cas les composants organiques sont traités par des micro-organismes à l'air libre. Ils détruisent les déchets en les transformant en dioxyde de carbone et en compost. Il n'y a aucune énergie produite par le compostage. TBM est de plus en plus reconnu comme une méthode efficace dans les pays où les techniques de gestion des déchets évoluent comme le Royaume- Uni ou l'Australie, pays où la compagnie WSN Environnemental solutions a pris une position majeure dans le développement des usines de type TBM.

I.23.5. Pyrolyse et gazéification :

La pyrolyse et la gazéification sont deux méthodes liées de traitements thermiques où les matériaux sont chauffés à très haute température et avec peu d'oxygène. Ce processus est typiquement réalisé dans une cuve étanche sous haute pression. Transformant les matériaux en énergie cette méthode est plus efficace que l'incinération directe, plus d'énergie pouvant être récupérée et utilisée.

La pyrolyse des déchets solides transforme les matériaux en produits solides, liquides ou gazeux. L'huile pyrolytique et les gaz peuvent être brûlés pour produire de l'énergie ou être raffinés en d'autres produits. Les résidus solides (charbon) peuvent être transformés plus tard en produits tels les charbons actifs.

La gazéification est utilisée pour transformer directement des matières organiques en un gaz de synthèse appelé syngaz composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène. Ce gaz est ensuite brûlé pour produire de l'électricité et de la vapeur.

I.23.6. Procédés de stabilisation/solidification(S/S):

Les procédés S/S se sont développés suite à la loi Française votée en 1992 introduisant des critères réglementaires pour l'acceptation en décharge des déchets industriels. Cependant, ces critères ne permettent pas de prévoir le comportement des déchets stockés. Ce programme de recherche consiste donc à évaluer le comportement des déchets stabilisés soumis à unelixiviation à long terme, et à développer un modèle numérique capable de prévoir le comportement de ces déchets dans des conditions de stockage données.

Le terme "**stabilisation /solidification** "est le terme générique pour décrire les procédés qui transforment les déchets en matériaux solides moins problématiques d'un point de vue environnemental ; ces procédés font appels à des techniques d'immobilisation physiques et / ouchimiques de ces déchets.

La stabilisation, ou fixation chimique, est définie comme le procédé qui permet de réduire le potentiel dangereux et la lixivibilité des matériaux en convertissant ces polluants sous des formes moins solubles, mobiles ou toxiques. Cette rétention chimique de polluants se produit grâce à la formation de liaisons chimiques entre les polluants et les composés de la matrice cimentaire. La notion de stabilisation est souvent associée à la notion de solidification ; on parle alors de stabilisation /solidification.

La solidification permet de transformer un matériau en un monolithe solide ayant une bonne intégrité physique et structurellement homogène.

La solidification n'implique pas forcément un déroulement d'une réaction chimique entre le déchet et l'agent de solidification ; cela peut être un piégeage mécanique du déchet dans le solide.

I.23.7. Objectifs de la stabilisation/solidification des déchets :

Les procédés de la stabilisation /solidification doivent donc répondreaux objectifs suivants :

- Transformer le déchet en un solide plus facile à transporter et à stocker ;
- Diminuer la surface d'exposition déchet – environnement ;
- Limiter la solubilité des polluants en cas de contact avec un fluide lixiviation.

Un matériau liant est utilisé pour atteindre les objectifs de stabilisation/solidification. Cependant le terme de stabilisation est plus souvent retenu par les matrices qui interagissent chimiquement avec le déchet en immobilisant ses polluants.

I.24.déchet en Alger:

Depuis de nombreuses années, l'Algérie connaît un développement économique et démographique sans précédent, d'où la nécessité d'adaptation aux modes de consommation et de production modernes. Les services actuels de gestion des déchets sont submergés par la quantité phénoménale et toujours croissante des différents types de déchets et les difficultés à l'éliminer (déchets ménagers, déchets hospitaliers, déchets industriels, etc.). Les décharges existantes ne peuvent plus absorber le flux et répondre aux nouvelles exigences de gestion et de traitement des déchets. Nous pouvons résumer la situation de l'environnement concernant les déchets en Algérie comme suit :

- Insuffisance de la législation concernant les déchets solides ;
- Absence d'un dispositif national pour la prise en charge des déchets ;
- Absence de politique de gestion des déchets proprement dite ;
- Absence de décharges contrôlées et de décharges réservées aux déchets industriels et spéciaux.[19].

Tableaux I-2:la quantité des déche en Algérie.

Type des déchets		La quantité
Déchet ménages et assimilés(DMA)		10.3(Mt)(2012)
Déchet industriel banal(DIB)		255 0000 t/an (2011)
Déchet industriel dangereux ,anciennement appelé déchet Industriel spéciaux(DIS)		33 00000 t/an (2011)
Déchet inerte(DI)		11 Mt/an(2011)
Déchet d'activité des soins(DAS)		3 0000 t/an (2011)
Déchet fermentescibles	Déchet verre et agricole	13 0000 t/an (2012)
	Déchet du marché	96 000 t/an (2012)
Déchet des pneus usage		>1M d'unité/ an
Déchet des huiles des lubrifiante		11 0000 t/an
Les déchets (électronique , électrotechnique)		1800 t/an

I.25. Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine des travaux publics:**I.25.1. Pneus usagés et déchets plastiques:**

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans les divers travaux de Génie civil ce qui contribuera d'une part, à la préservation de l'environnement, et d'autre part, à la réduction des coûts induits par l'utilisation des matériaux de plus en plus rares notamment dans certaines régions du pays.

En effet, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique. La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier (contournement de Bou Smail). Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie [20].

I.25.2. Déchets de la construction/démolition :

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers. Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf. Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton. Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de briques, présente généralement de bonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées [21].

Conclusion:

Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités

- L'utilisation des divers déchets en fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques.
- La valorisation des déchets reste ouverte, à d'autres utilisations et possibilités, permettant ainsi d'élargir la gamme des matériaux de construction, de réduire
- les déchets à la source et de développer l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers.

Références bibliographiques chapitre1:

[1] **Pnud, R. D. C. (2009).** Programme des nations unies pour le développement. Unité de lutte contre la pauvreté. Province du Bas Congo. Profil résumé. Pauvreté et conditions de vie des ménages.

[2]-**Maystre Ly.**, 1994-Déchets urbains, naturel et caractérisation, Lausanne., pp 01et 02

[3]-**Aloueimine S. O.**, 2006-Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott(Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse, UL-EDSTS, Limoges.195p

[4]-**A.D.E.M.E.**, 2003-Guide des déchets en Auvergne, Ed. Délégation régionale, Clermont-Ferrand,95p

[5]- **SPERANDIO K** : identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en œuvre par les collectivités locales, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2001

[6]-**Murat M.**, 1981- Valorisation des déchets et de sous-produits industriels. Ed, Masson. Paris.326p

[7]-**Koller.**, 2004- Traitement des pollutions : Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, Ed. Dunod, Paris, 424p

[8]-**Damien E.**, 2004-Guide du traitement des déchets. Ed. Dunod 3^{ème} édition, Paris. 430p

[9]-**Atouf F.**, 1990-Caractérisation du lixiviat de la décharge d'Oued Smar et estimation de son impact sur la nappe souterraine. Projet de fin d'études en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en génie de l'environnement. ENP. 102p

[10]-**S.P.E.**, 1997- Société pour la protection de l'environnement, les déchets dangereux, histoire, gestion et prévention édition GEORG, dossier de l'environnement, paris 1997. 125p

[11]-**DESACHY Christian**, les déchets sensibilisation a une gestion écologique .Edit tec&doc 2^{ème}Edition .France .2001 page 70.

[12]- **ABDERREZAD S**, Gestion des déchet solides en Algérie .séminaire sur la gestion intégrée des déchet solide ,Alger-2000 ,31P

- [13]-**Journal officiel de la république algérienne (2001-2004)**
- [14]- **W.M.P.**, 2009-Waste Management plan. Doc No. UU00-A-00TL-000-0001(B). ISG. 2009
- [15]- **Navarro A.** ,1994. Gestion et traitement des déchets. Techniques de l'ingénieur, traités généralités et construction, 32 p. Paradis O., Poirier M., Saint-pierre L. ,1983. Ecologie un monde à découvrir. Ed.HRW. Itée Montréal.371p.
- [16]-**LAAMECHE Sofiane ,MIMOINI Djihad** , création d'une entreprise de tri et de Recyclage de plastique de d'aluminium a Tlemcen mémoire de master en génie industriel u.n.v. Abou berk Belkaid,2016 (6-7)p
- [17]-**Le déchet 2002-540 du 18 avril 2002**
- [18]**journal officiel de la république algérienne (2001-2004)**
- [19]-**VORBURGER JULIA** , Ecologie industrielle et valorisation des déchets ;MBA gestion internationale déposé a la session d'hiver 2006,(22-25)p
- [20]- **Ministère des Travaux Publics** : valorisation des pneus usagés et les déchets plastiques dans le domaine des travaux publics, journée scientifique, novembre 2005
- [21]-**Bourmatte, N., & Houari, H.** (2004). Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques, thèse de doctorat.

Chapitre II

**Déchets de verre et
plastique dans matériaux**

Introduction :

Face aux nuisances causées sur l'environnement, l'inquiétude ne cesse de grandir ; et notre domaine le génie civil est appelé à jouer un rôle important dans la protection de la nature et l'environnement par l'utilisation des déchets solides dans la fabrication des matériaux de construction (liants et bétons) et dans la réalisation des structures (remblais et les assises de chaussées,...) afin de limiter l'exploitation excessive des ressources naturelles et de diminuer la pollution atmosphérique.

Dans cette perspective, les déchets de verres et plastique provenant des différentes origines peuvent être ramassés et recyclés dans le secteur de la production cimentaire et béton et mortier. Les voies de ce recyclage sont multiples et variées : en remplacement des granulats, en remplacement du ciment, ajout cimentaire, de fibre etc.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux différentes voies de recyclage des déchets de verre et déchet plastique dans le béton ou mortier et l'effet des dimensions des particules utilisées sur les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques.

II.A): Partie I : le verre**Historique :**

Le verre est l'un des plus anciens matériaux utilisés par l'Homme. Dès l'âge de pierre, un verre naturel d'origine volcanique, l'obsidienne, servait d'instrument tranchant.

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.

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.

L'invention de la canne de soufflage, probablement par les Phéniciens vers 200 avant Jésus-Christ, a bouleversé les techniques de façonnage. Cette découverte a favorisé l'art verrier qui s'est répandu de l'Orient vers l'Occident grâce à l'empire romain.

L'influence historique de l'église a également stimulé l'art du verre coloré pour la fabrication de vitraux. Dès le XI^{ème} siècle, Venise est la capitale européenne de l'art

II.1.1. Définition du verre :

II.1.1. Définition du verre :

Le verre est un matériau unique en son genre tant par sa structure que par ses propriétés. Il est présent à tous les stades de vie de l'homme et cela depuis des siècles.

Il n'existe pas une, mais plusieurs définitions du verre. Ainsi, on peut le définir différemment suivant que l'on considère :

- Les objets que l'on peut fabriquer à partir de cette matière (aspect fonctionnel) : par analogie avec le verre utilisé pour boire ou le verre à vitre. Le verre est un matériau solide transparent, homogène et cassant. Il résiste bien au feu et au contact de pratiquement tous les liquides et solides connus.
- Que ce matériau a une structure particulière (aspect structural) le verre est un solide non cristallin (amorphe). Il ne présente pas comme pour les structures cristallines d'ordre à longue distance (ordonnement des atomes et existence d'une maille cristalline). C'est un état particulier de la matière : l'état vitreux.
- Que c'est un état particulier de la matière (aspect opérationnel) : le verre est un solide obtenu par trempe d'un liquide surfondu [1].

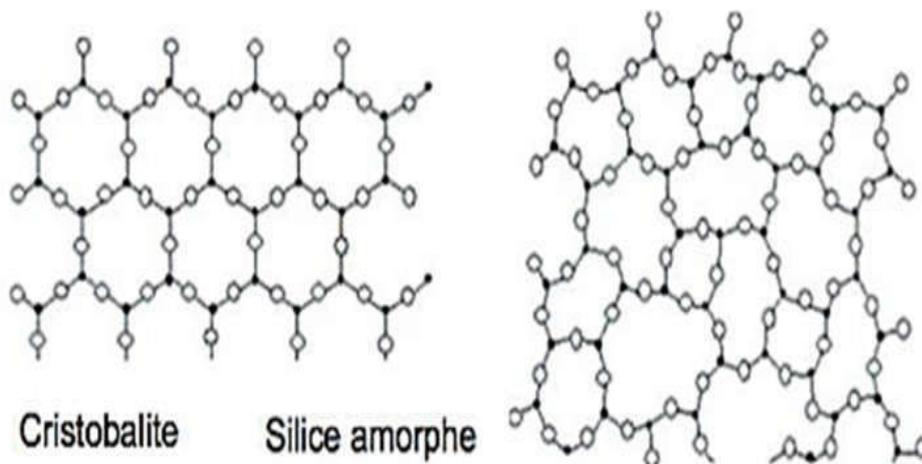


Figure II.1: Représentation schématique plane d'un réseau vitreux [1].

II.1.2. Les propriétés du verre :

Le verre est la seule matière minérale solide que l'on puisse produire à des dimensions et sous des formes quelconques tout en conservant sa transparence [2].

Ses propriétés physiques, chimiques, thermiques et acoustiques sont les suivantes :

II.1.2.1. Propriétés physiques :

-La transparence : mais il peut être opaque ou opalescent.

-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.

II.1.2.2. Propriétés thermiques :

- La dilatation : c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de nombreuses applications : il sert d'isolant thermique (laine de verre). On retrouve presque les mêmes coefficients que certains métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.

- La conductivité : il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre); on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250°C.

Il est ininflammable et incombustible.

II.1.2.3. Propriétés chimiques :

- **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 contenue dans l'air ce qui donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.
- **L'action de la lumière** : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou 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 [3].

II.1.2.4. Propriétés acoustiques :

On demande de plus en plus aux vitrages d'être non seulement une barrière mais aussi un écran acoustique.

Un bruit est la superposition de sons élémentaires qui couvrent un spectre de fréquence. L'atténuation sonore due à un vitrage est déterminée quantitativement par son indice d'affaiblissement acoustique que l'on obtient en mesurant, pour chaque bande de fréquence, la différence entre les niveaux de pression de part et d'autre du vitrage

II.1.3. La structure du verre :

La structure du verre n'a été élucidée de façon satisfaisante que depuis une trentaine d'années. Des travaux exécutés à l'aide des rayons X ont montré que l'ordre moléculaire dans les verres est, d'une façon générale irrégulier analogue à celui d'un liquide [4]. On avait supposé que le verre, dans sa structure, n'était qu'un liquide figé ; c'est ce qui a été confirmé. Les travaux de

W.L BRAGG [5] ont démontré l'existence de tétraèdre de SiO_4 (**fig. 02**) constituant l'élément constitutif universel des silicates.

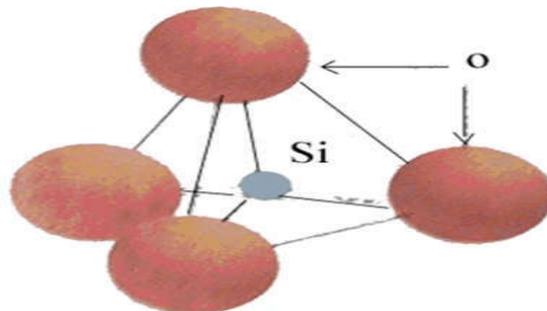


Figure II. 2: Tétraèdre de SiO_4 .

Les idées actuelles sur la structure des verres reposent notamment sur les travaux de **ZACHARIASEN [6]** et de **WARREN** qui voient dans le verre aussi bien fondu que solide, un ordre rapproché des tétraèdres de SiO_4 , formateurs de verre, reliés par des ponts d'oxygène.

La différence essentielle entre les verres et les substances cristallines est que dans les cristaux, il existe un ordre plus général en plus de l'ordre rapproché des groupes coordonnés et des ions dans les cristaux, les groupes coordonnés forment un réseau régulier remplissant le volume.

Dans les verres, cet ordre plus général n'existe pas, et les groupes coordonnés constituent un réseau irrégulier.

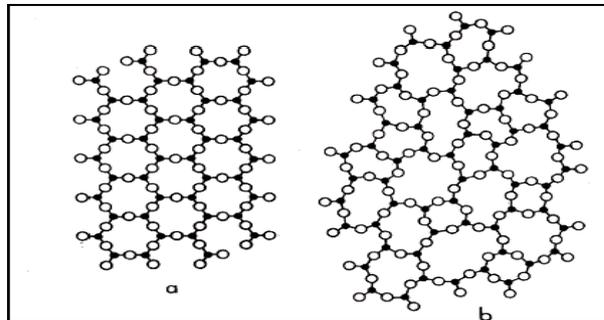


Figure II.3: La structure de SiO_2 cristallisée d'après ZACHARIASEN [6].

La disposition des formateurs de réseau est donc désordonnée comme dans les liquides, mais figée. Les quatre atomes d'oxygène d'un tétraèdre de SiO_4 , trois seulement sont représentés, le quatrième se trouve au-dessus ou au-dessous du plan du dessin.

Lorsque le verre est constitué par plusieurs composants comme par exemple un verre sodocalcique et d'autres verres techniques, il s'y forme également un réseau de tétraèdres SiO_4 dans les lacunes desquels s'insèrent des cations Na^+ et Ca^{2+} (fig.4). Ces cations ne sont pas à même de former un réseau par eux même, mais au plus de modifier un réseau existant, ce sont les modificateurs de réseau qui, par l'oxygène qu'ils apportent dénouent les liaisons Si-O et créent des points de séparation.

même de former un réseau par eux même, mais au plus de modifier un réseau existant, ce sont les modificateurs de réseau qui, par l'oxygène qu'ils apportent dénouent les liaisons Si-O et créent des points de séparation

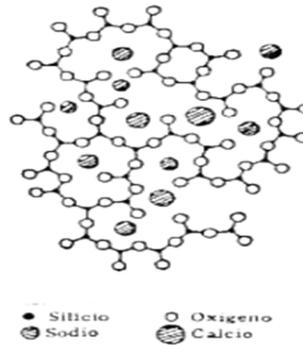


Figure II.4: Structure d'un verre de silice sodocalcique d'après WARREN ET BISCOE [7].

La formation des points de séparation entraîne un changement des propriétés du verre. Plus leur nombre est grand, plus faible est le verre à l'état de fusion ; ce qui explique que la viscosité du verre de silice est abaissée après additions de soude.

II.1.4. Déchet de verre :

II.1.4.1. Introduction :

Les déchets de verre générés nécessitent des solutions de traitement efficaces. Plusieurs voies de valorisation se développent afin de trouver des débouchés aux déchets de verre.

Des opérations de broyage et de tamisage permettent d'obtenir une poudre de verre à une certaine finesse le verre récupéré. Lorsqu'il est incorporé au béton en remplacement d'une portion de ciment, comme additifs (peintures, matériaux plastiques, béton, carrelage, tuiles...) ou pour élaborer de nouveaux matériaux pour le bâtiment comme les mousses de verre isolantes ou les billes de verre expansé.

L'utilisation de déchet dans la production de ciment et de béton et mortier s'avère une voie prometteuse et peut contribuer à sauver les ressources naturelles de la terre, économiser l'énergie et réduire le coût de la production de ciment et le prix du ciment, ainsi que la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'impact environnemental.



Figure II.5: Déchet de verre en Algérie.

II.1.4.2. Source de déchets de verre :

-Statistiquement, Les quantités exactes des déchets de verre dans le monde, ne sont connues d'une façon claire et précise à cause d'un manque d'informations de différents pays, comme le Moyen-Orient par exemple. Selon l'estimation des déchets solides des Nations Unies, en 2004, il y avait 200 millions de tonnes de déchets solides dont 7% des déchets de verre, soit 14 millions de tonnes de déchets de verre [8] ; [9].

-Une énorme quantité de ressources naturelles est utilisée par les industries du verre comme matières premières. On a estimé que chaque 1 Kg de verre en feuille, consommait 1,73 Kg de matières premières et 0,15 m³ d'eau [8].

-En outre, il a été constaté que la production de chaque tonne de verre container consommé 1,2 tonne des matières premières coûteuses [11].

-En plus, l'industrie du verre est considérée comme l'une des industries les plus intensives en énergie, en raison de la nécessité d'une température élevée jusqu'à 1600 ° C pour faire fondre les matières premières. On a estimé que chaque 1 Kg de feuille de verre produisait 16,9 MJ de déchets de chaleur [10].

-Tandis que la production de chaque tonne de verre européen consommait 7,8 GJ d'énergie. La consommation totale d'énergie de l'industrie européenne du verre a été de 352 PJ en 2007, soit environ 13-17% de la consommation totale d'énergie industrielle en Europe [12].

-D'autre part, l'utilisation intensive de l'énergie est rencontrée avec une forte émission de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre. En 2007, on a constaté que la production de chaque tonne de verre européen produisait 0,57 tonne de CO₂. L'étape de fusion ne peut libérer que 0,2 tonne de CO₂ pour chaque tonne de verre d'emballage produit [11].

-La production totale mondiale de verre a été d'environ 89,4 millions de tonnes en 2007. Les pays de l'UE ont produit environ 38,3 millions de tonnes dans la même année, ce qui représente environ 30% de la production mondiale totale, a fait de l'UE le plus grand producteur de verre en 2007. Environ 83% de la production de verre de l'UE était le verre des conteneurs et le verre plat, c'est-à-dire le verre sodocalcique [12].

-On s'attend à ce que la production totale de verre augmente en raison de l'augmentation de l'industrialisation et de l'amélioration du niveau de vie, c'est-à-dire que le déchet de verre augmentera également. À titre d'exemple, le total des déchets de verre de l'UE en 2002 était de 3 millions de tonnes, alors que le total des déchets de verre de l'UE en 2008 était de 4,1 millions de tonnes [13].

II.1.4.3. Valorisation et recyclage des déchets de verre :

II.1.4.3.1. Valorisation :

Tout traitement où utilisation des déchets qui permet de leur trouver un débouché ayant une valeur économique positive. Le terme général valorisation englobe réemploi, recyclage et réutilisation. La figure II.6 ci-dessous représente un schéma représentatif la transformation de déchets de verre en poudre:

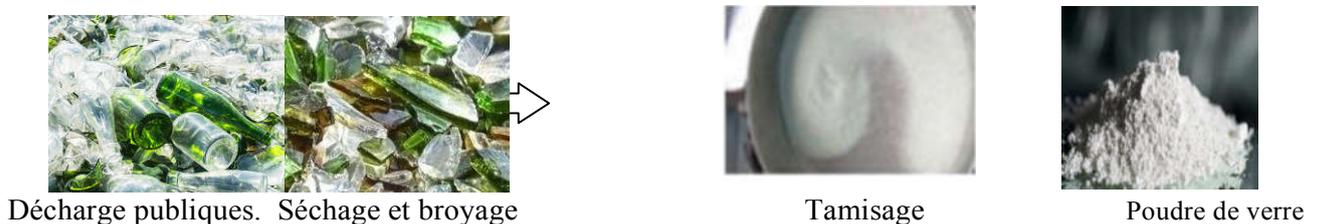


Figure II.6: Transformation de déchets de verre en poudre de verre.

- L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets de verre est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement. Les arguments peuvent être résumés en :

- Augmentation de la production.
- Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé.
- Une législation de plus en plus sévère.
- Une meilleure gestion de la recherche.

En ce qui concerne le verre, le calcin (qui est le déchet de verre broyé qui peut être recyclé) a été largement utilisé dans la production du verre d'emballage et de la laine de verre [14]. Il a été constaté que l'augmentation de l'utilisation du calcin de 10 % dans les matières premières de verre réduit la consommation d'énergie de 2-3% [14].

Tableau II. 1: Quantité de déchets de verre et taux de recyclage dans différents pays.

Pays	Déchet de verre on tonne	Taux de recyclage	Année	Référence
Etats -unis	11500000	27	2010	[15]
Canada	116000	68	2009	
Suède	195000	93	2010	
Singapour	72 800	29	2010	[16]
Allemagne	3 200000	94	2003	[9]
Turque	120000	66	2004	
Portugal	493000	25	2001	[17]
UE	4100000	60	2008	[13]

La pratique de gestion des déchets des verres non recyclables est de les jeter dans les décharges. Le dépôt de ces déchets dans des sites d'enfouissement de nature non biodégradable n'offre pas une bonne solution environnementale.

Par conséquent, les déchets de verre représentent un défi pour les systèmes de gestion des déchets solides dans le monde entier en raison du faible taux de recyclage, d'un manque ou absence d'espaces dans les décharges [18].

L'utilisation de déchets de verre dans la production de ciment et de béton conserve les ressources naturelles de la terre, économise de l'énergie et de l'argent et réduit les émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre.

II.1.4.3.2. Recyclage de verre dans la production du ciment :

Différents déchets ont été utilisés dans la production du ciment et de béton ou de mortier tels que les laitiers de haut fourneau [19], l'argile [20], les déchets de tubes cathodiques [21], les cendres volantes [22] et les déchets de verre [23]. Cependant, de grandes quantités de déchets solides qui peuvent être utilisés dans la fabrication du ciment et de béton ou de mortier sont encore jetées dans des décharges. Deux milliards de tonnes de déchets solides industriels, qui peuvent être utilisés dans la fabrication de ciment et de béton, Chine en 2010 [18].

Tableau II.2 :Composition chimique du ciment et différents verre colorés.

Elément Chimique	Ciment(%)	Verre clair(%)	Verre gris(%)	Verre verts(%)	Verre concassé(%)	Poudre de verre (%)	Sable(%)
SiO ₂	20.2	7.42	72.21	72.38	*72.61	72.20	78.6
Al ₂ O ₃	4.7	1.44	1.37	1.49	1.38	1.54	2.55
CaO	61.9	11.50	11.57	11.29	11.70	11.42	7.11
Fe ₂ O ₃	3.0	0.07	0.26	0.26	0.48	0.48	2.47
MgO	2.6	0.32	0.46	0.546	0.56	0.79	0.40
Na ₂ O	0.19	13.64	13.75	13.52	13.12	12.85	0.42
K ₂ O	0.82	0.35	0.20	0.27	0.38	0.43	0.64
SO ₃	3.9	0.21	0.10	* 0.07	0.09	0.09	-----
TiO ₂	-----	0.035	0.041	0.04	-----	-----	0.15
Perte au feu	* 1.9	-----	-----	-----	0.22	0.36	7.6

La composition chimique des différentes couleurs et des déchets de verre broyé montre que le verre contient une grande quantité de silicium et de calcium et avec la structure amorphe. Le verre a la capacité d'être un matériau pouzzolanique ou même un matériau de ciment. La structure non biodégradable du verre rend sa mise au rebut dans une décharge comme mauvaise solution, tandis que l'industrie du ciment et du béton peut assurer une gestion écologique des déchets de verre. Plusieurs études ont été réalisées sur l'utilisation des déchets de verre dans les industries du ciment et du béton. Certaines de ces études utilisaient des déchets de verre comme agrégat [24-25] ; D'autres l'utilisaient comme un remplacement de ciment [26-27] et certaines études l'utilisaient comme agrégat et remplacement de ciment dans le même mélange [28].

II.1.5. L'utilisation de verre dans le béton et de mortier :**II.1.5.1. Réaction alcali-silice du verre:**

Le remplacement partiel du granulats naturels ou du ciment par le verre dans les bétons ou mortier, améliore ses propriétés mécaniques notamment les résistances en compression. Toutefois, certains travaux conseillent l'utilisation de ce matériau en prenant certaines précautions. Effectivement, les bétons et mortier à base de verre sont confrontés à un problème lié à leur durabilité. La silice du verre en combinaison avec les alcalins du ciment donne naissance à des produits gonflants qui entraînent l'endommagement des bétons. La réaction alcali-silice du verre dépend de différents paramètres, la bibliographie a montré que le processus de la réaction alcali-silice en général et des granulats de verre est un phénomène complexe influencé par plusieurs facteurs [29].

II.1.5.2. Réaction pouzzolanique du verre :

L'activité pouzzolanique du verre peut être évaluée par diverses méthodes : les tests mécaniques sur éprouvettes de mortier et béton à base de ciment ou sur des mortiers à base de chaux, ou encore tests chimiques de consommation de chaux notamment par ; l'essai Chapelle, ATG et DRX. La Figure (II-7) rassemble les résultats de quelques travaux effectués entre les années 2000 et 2008 qui traitent de l'activité pouzzolanique du verre. L'indice d'activité est défini comme étant le rapport de la résistance du mélange avec ajout de verre à la résistance du mélange témoin. [30] Il a été difficile, voire impossible, de rassembler tous les travaux élaborés dans les mêmes conditions. Toutefois les conclusions suivantes peuvent être dégagées :

1. La taille des grains de verre joue un rôle prépondérant sur l'activité pouzzolanique : plus les grains de verre sont fins, meilleure est son activité pouzzolanique.
2. La résistance des mortiers et bétons diminue à mesure que leur teneur en verre augmente.
3. L'activité pouzzolanique varie d'un verre à un autre, selon leurs couleurs, le verre brun est le verre qui possède la plus faible activité, par contre le verre vert et le verre blanc présentent une activité pouzzolanique considérable [30].

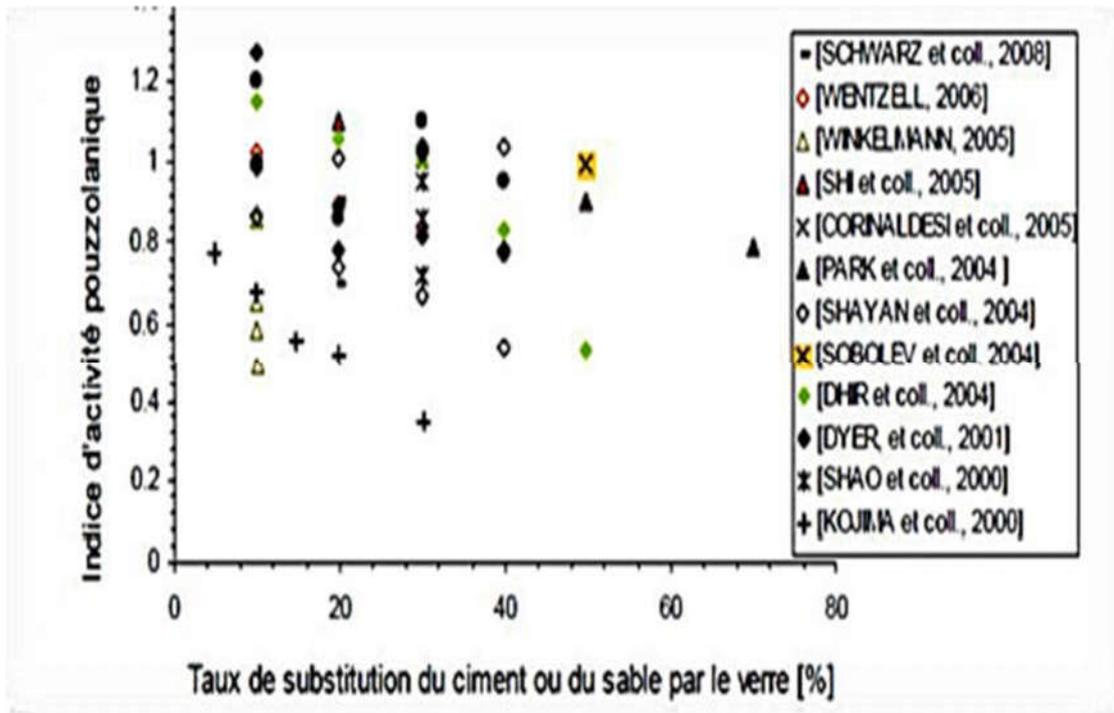


Figure II.7:Indices d'activité pouzzolanique du verre utilisé dans des conditions différentes[30].

II.1.5.3 .Comparaison du verre à d'autres pouzzolanes :

La cinétique de la réaction du verre est plus rapide que celle des cendres volantes qui ne réagissent qu'après une à plusieurs semaines, lorsque la concentration des alcalins dans la solution interstitielle est devenue suffisante : en effet, dans le cas du verre, celui apporte lui-même les alcalins nécessaire au déclenchement de la réaction. Par exemple, une substitution de 30% du ciment dans les bétons affiche une meilleure résistance en compression que ceux confectionnés avec de la cendre volante. Ces auteurs ont montré qu'à trois jours de cure, la résistance des mortiers comportant 20% de verre en remplacement de ciment est 70% plus importante que celle de mortiers confectionnés avec de la cendre volante Cela pourrait s'expliquer notamment par les alcalins qui sont disponibles plus rapidement et en plus grand nombre dans le cas du verre qu'ils ne le sont dans celui de la cendre volante [29].

II.1.5.4 .L'utilisation simultanée de verre et de pouzzolane :

Concernant ce point, plusieurs études en laboratoire ont été conduites. L'utilisation simultanée d'un verre et d'une pouzzolane notamment la fumée de silice, la cendre volante ou même le méta kaolin en remplacement d'une fraction du ciment pourrait conduire à des synergies intéressantes. Ainsi l'utilisation du verre serait plus intéressante que son emploi individuel [30].

I.1.5.5.L'activité des fines et des granulats de verre:

Le verre peut présenter deux types de comportements dans une matrice cimentaire : la réaction alcali-silice et la réaction pouzzolanique. La réaction alcali-silice qui est délétère, généralement associée aux grosses particules, est liée à la formation de gels composés principalement de silice et d'alcalins (Na et K) avec de faibles quantités de calcium (qui ont tendance à augmenter avec le temps). Les résultats des variations dimensionnelles de la première partie ont montré qu'un diamètre critique (ou seuil) autour de 0.9- 1mm (classe C2) a été observé au-dessous duquel aucune expansion n'a eu lieu. Seules les grosses particules (classes C1 > 1.25 mm) conduisent à une expansion significative des éprouvettes. Les particules de taille inférieure à ce seuil n'ont aucun effet sur les variations dimensionnelles. Néanmoins dans ce cas, l'absence de gonflement n'est pas synonyme d'absence d'alcali-réaction. En effet, des signes de RAS sous la forme d'exsudations ont été aperçus la surface les éprouvettes contenant des particules de verre supérieure à 315 µm. Des observations au microscope électronique balayage (Figure 7) ont confirmé la présence de gels de RAS sur ce type de mélanges. La classe C4 (160-315 µm) est la finesse de transition : aucun gel de RAS n'a été détecté, cependant il est à noter que ce type de gel est difficile à détecter lorsque les particules sont de petites tailles en raison du gel qui se diffuse dans la pâte. Ainsi, la RAS ne peut pas être écartée pour les particules fines, mais la réaction pouzzolanique (avec de plus fortes teneurs en calcium que les gels de RAS) est probablement majoritaire. La coexistence des deux réactions ne peut être exclue, mais l'effet de la réaction pouzzolanique prend le dessus sur la RAS dans le cas des fines particules [31].

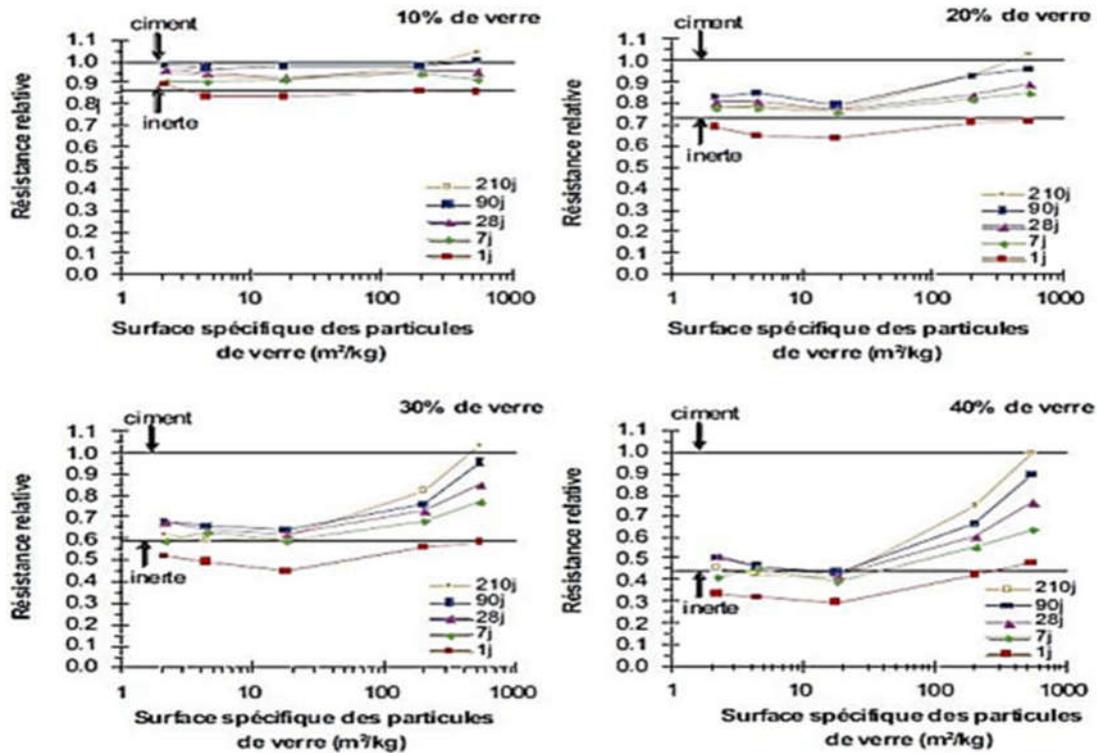


Figure II. 8 : Résistances relatives (%) des mortiers en fonction des finesses du verre. Comparaison avec les courbes de dilution obtenues par la loi de Bolomey[31].

II.1.5.6. Étude de la pouzzolanité :

La (figure II-8) présente les résistances en compression des mortiers contenant les différentes classes de verre. Comme on peut le constater, les résistances dépendent de la finesse et de la teneur en verre. Des résistances importantes sont obtenues pour les particules les plus fines (C8), avec des valeurs dépassant parfois celles de la référence sans verre quel que soit le taux de remplacement utilisé (jusqu'à 40 %). Néanmoins, la tendance générale est que le remplacement du ciment par le verre conduit à une baisse de résistance en compression, principalement en raison de l'effet de dilution. Le calcul des courbes de dilution a été effectué par la loi de Bolomey (Equation 1), en considérant uniquement la quantité de ciment utilisée dans les mortiers (par exemple 10 % de verre signifie que seulement 90 % de ciment peut contribuer au développement de la résistance).

$$\sigma = K_b \left(\frac{C}{C_0} - 0.5 \right) \text{ Equation 1}$$

Où σ : est la résistance à la compression du mortier, C, W et V sont respectivement les masses du ciment (sans tenir compte du verre), d'eau et des vides (pris égale à 10 % de la teneur en eau), et K_b est un coefficient qui prend compte la nature du ciment et des granulats. Ce coefficient a été calculé pour chaque échéance en utilisant la résistance en compression du mortier témoin sans verre [31].

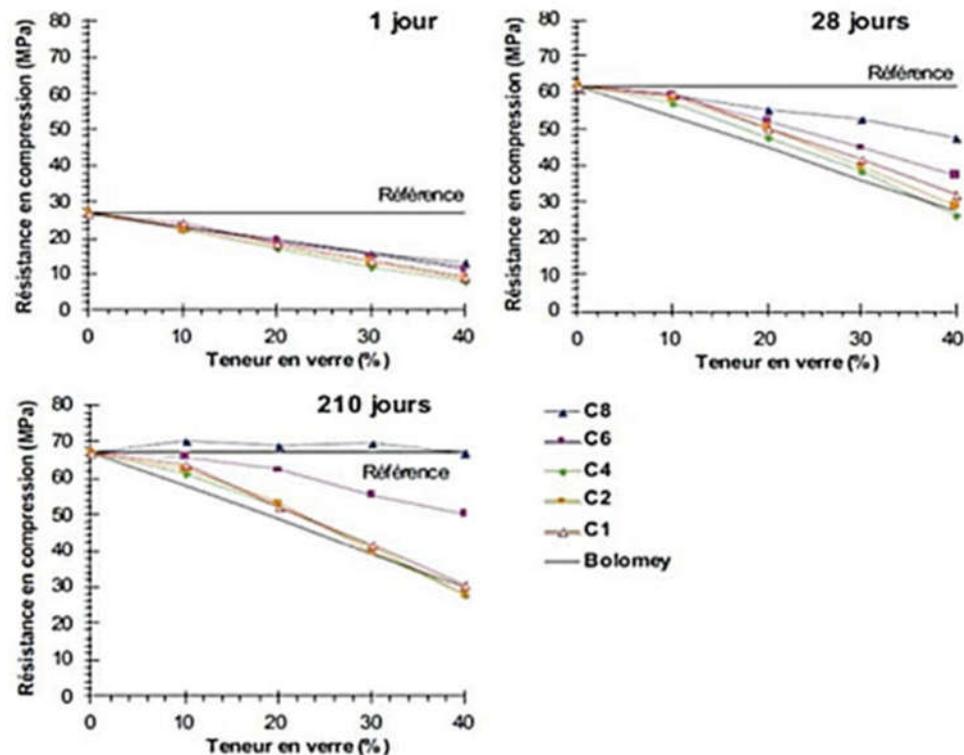


Figure II. 9 : Résistances en compression des mortiers conservés à 20°C contenant jusqu'à 40% de verre de différentes finesses.

Comparaison avec des courbes de dilution calculées avec la formule de Bolomey [31]

La (figure II.7) présente les résistances relatives (rapport des résistances des mortiers avec et sans verre) jusqu'à 210 jours pour tous les mortiers avec verre en fonction de la surface spécifique du verre. Les courbes inertes ont été calculées avec la loi de Bolomey (Equation 1). On peut remarquer que jusqu'à 30 % du verre, les résistances relatives sont plus élevées que les courbes inertes (sauf pour 1 jour), ce qui signifie qu'il y a une activité non négligeable pour toutes les tailles de particules de verre, y compris les plus grossières. A 1 jour et pour une teneur de 10 % de verre, l'effet de la finesse est limité, toutes les classes de verre ont des résistances relatives comparables à la courbe de dilution. Seule la classe la plus fine se détache des autres courbes à long terme (90

et 210 jours). Cela signifie que le ciment peut-être remplacé par n'importe quelle taille de verre sans pour autant nuire à l'activité, la résistance relative restant toujours supérieure à 0.9 dans tous les cas. Avec 20, 30 et 40% de verre, un changement progressif de comportement, lié à l'effet de taille du verre est observé.

1- La résistance relative des mortiers avec les grosses particules (C1, C2 et C4) tend vers la courbe inerte mesure que la teneur en verre augmente : 20% de verre reste toujours meilleur que la courbe inerte mais 40 % de verre se comporte, au mieux, comme un matériau inerte. Cela signifie que pour une teneur en verre de 40 %, les résistances des classes C1, C2 et C4 sont uniquement dues au ciment, sans aucun effet perceptible de l'activité du verre.

2- Une activité pouzzolanique importante, qui semble évoluer dans le temps pour les deux classes plus fines (C6 et C8), est mise en évidence par l'augmentation de la résistance relative en fonction du temps. A 210 jours, la résistance relative reste autour de 1 pour les mortiers-C8 contenant jusqu'à 40 % de verre [32].

II.1.2.6.1. Avantages de l'utilisation du verre dans le béton :

L'utilisation de verre recyclé dans la production du béton présente une foule d'avantages se présentant sous différents aspects:

- Réduit les coûts d'élimination des déchets qui ont tendance à augmenter dû aux taxes d'enfouissement.
- Préserve l'environnement en économisant d'importantes quantités de matières premières.
- Allonge la durée de vie utile des sites d'enfouissement, et contribue à préserver les territoires.
- Réduit significativement l'énergie consommée, les émissions de CO₂, NO_x, et d'autres polluants atmosphériques causés par la production de ciment, lorsqu'utilisé en remplacement cimentaire dans le béton.
- Augmente la sensibilisation de la population concernant les problèmes du gaspillage et des bienfaits du recyclage.
- Offre des alternatives concernant l'utilisation de produits à base de verre recyclé, sans compromettre les coûts ou la qualité.
- L'utilisation du verre mixte recyclé dans le béton est une solution bénéfique tant au point de vue économique, social et environnemental.

II.1.7. Valorisation des déchets de verre dans le béton et dans mortier ;

II.1.7.1. Valorisation des déchets de verre sous forme de granulats :

Les déchets de verre et le sable naturel ont approximativement les mêmes propriétés physiques, comme le montre le tableau II.3. La comparaison entre les propriétés du déchet de verre et les propriétés du sable naturel montre que le taux d'absorption des déchets de verre est inférieur à celui du sable, C'est-à-dire que le béton confectionné avec du verre comme agrégat a un taux d'absorption plus faible pour l'eau [32]. Ces propriétés font du déchet de verre un matériau intéressant à utiliser comme agrégat dans la production du béton.

Tableau II. 3 : Propriétés physique des déchets de verre et sable [32].

Propriété physique	Déchet de verre	Sable
Masse volumique (kg/m ³)	2190	2570
Absorption (%)	0.39	2.71
Indice pouzzolanique (%)	80	-----

Au cours du 20^{ème} siècle, différentes études ont été réalisées pour l'utilisation de déchets de verre broyés comme agrégats dans la production de béton [33-34-35]. Cependant, l'utilisation de déchets de verre comme granulats peut provoquer des réactions alcalines-silice (RAS) qui produisent des matériaux expansifs, qui peuvent détériorer les propriétés mécaniques du béton (Lee et al., 2011).

Takata et al. [36] ont étudié l'effet de la granulométrie du verre sur les propriétés du ciment produit. Un déchet de verre des bouteilles avec des granulométries de (4,75-0,15 mm) a été utilisé avec différent pourcentage comme remplacement partiel de l'agrégat naturel (0-100%).

De nombreuses recherches ont été menées, dont l'objectif d'utilisation des déchets de verre comme remplacement partiel des granulats fins et grossiers du béton. Ismail et AL-Hashmi (2009) ont examiné l'utilisation des déchets de verre comme remplacement partiel des granulats fins dans le béton à des pourcentages de 5 %, 10 % et 20 %.

Les résultats ont indiqué que le remplacement partiel des granulats fins par des poudres de verre diminue l'expansion des RAS et que les déchets de verre finement broyés réduisent l'expansion par rapport au mélange témoin. Cette diminution est liée à la réduction de l'alcali disponible due à la consommation de chaux par réaction avec les déchets de verre et à la réduction prévue de l'alcalinité du système.

Les résultats ont montré que l'expansion due à la RAS a augmenté avec l'augmentation de la taille des particules de l'agrégat de déchets de verre. De plus, l'expansion due à la RAS a augmenté au fur et à mesure que le pourcentage de déchets de verre a augmenté. Le pourcentage optimal de déchet de verre et la taille de l'agrégat qui ne présentait aucun effet nocif de la RAS étaient respectivement de 20% et de moins de 1,18 mm. Ces résultats concordent avec les résultats d'**Idir et al. [37]**.

Idir et al. [37] ont constaté qu'une taille de particule inférieure à (0,9- 1 mm) ne présentait aucune expansion due à la RAS avec un 20% de remplacement partiel de l'agrégat de déchets de verre. Avec des tailles de particules plus faibles (diamètre moyen égal à 150 μm), un pourcentage plus élevé d'agrégats de déchet de verre peut être utilisé en toute sécurité, jusqu'à 40%.

De plus, **Corinaldesi et al. [38]** ont constaté que 70% des déchets de verre peuvent être utilisés en toute sécurité en tant qu'agrégat avec des granulométries de (36-50 μm). La réduction des granulométries de déchet de verre augmente les propriétés pouzzolaniques et conduit à produire un matériau cimentaire résultant de la réaction pouzzolanique entre les fines des granulats de déchet de verre et le ciment. Le matériau cimentaire améliore la résistance de la pâte et une résistance plus élevée vis-à-vis pour les contraintes expansives du gel de la réaction RAS est produite **[39, 40]**.

II.1.7.2. L'effet de la taille des agrégats de déchet de verre sur les propriétés mécaniques des bétons et du mortier :

Le béton et mortier, en tant que matériau de construction principal, doit avoir des propriétés mécaniques spécifiques pour surmonter la contrainte élevée des charges de construction. Pour spécifier l'effet des déchets de verre sur les propriétés du béton, la résistance à la compression, la résistance à la flexion et la résistance à la traction pour le béton de déchets de verre produit ont été étudiées par différents chercheurs **[41-32-42]**.

Il a été constaté que la résistance à la compression diminuait au fur et à mesure que le pourcentage de déchets de verre augmentait [43]. La résistance à la compression a diminué de 49% quand le pourcentage de déchets de verre atteint 60% [41]. La mauvaise forme de l'agrégat de déchets de verre grossier a provoqué une diminution de la force d'adhésion entre l'agrégat de déchets de verre et la pâte de ciment et a produit un béton à faible résistance à la compression [42]. Cependant, les résultats de **Batayneh et al. [44]** ont montré que la résistance à la compression a augmenté avec l'augmentation du pourcentage d'agrégats de verre de déchets jusqu'à 20%. Le même résultat a été trouvé par **Ismail et Al-Hashmi[32]**, **Mageswari et Vidivelli[45]**, **Degirmenci et al. [46]** et **Tan et Du [47]**.

Idir et al. [37] ont constaté que la résistance à la compression du béton est également affectée par les granulométries de l'agrégat utilisé de déchets de verre, en raison de l'augmentation des propriétés pouzzolaniques. Les résultats expérimentaux ont montré que la résistance à la compression augmentait au fur et à mesure que la taille des particules de verre diminue. Une augmentation de 30 à 35 MPa dans la résistance à la compression du béton de déchets de verre a été trouvée avec une granulométrie de 80 μm [37].

En outre, les résultats expérimentaux des différentes études ont montré que la résistance à la flexion du béton a diminué avec l'augmentation du pourcentage de l'agrégat de déchets de verre en raison de la diminution de la force d'adhésion à la surface des particules de verre [41-47-42-46]. **Batayneh et al. [44]** et **Mageswari et Vidivelli [45]** ont montré une augmentation de la résistance à la flexion de béton avec l'augmentation de l'agrégat de déchets de verre fins jusqu'à 20%. Ils ont expliqué que l'augmentation de la résistance à la flexion était due à la texture de surface et à la résistance des particules de verre par rapport à celle du sable. La résistance à la traction du béton fabriqué à partir d'agrégats de déchets de verre a montré une augmentation de la résistance à la traction avec l'agrandissement du granulats de verre jusqu'à 20% [44-45] et même jusqu'à 25% [47]. L'augmentation des déchets de verre a encore diminué la résistance à la traction du béton de déchets de verre [47]. Cependant, **Topcu et Canbaz [41]**. Ont constaté que la résistance à la traction diminue quand l'agrégat de déchets de verre augmente. Les mêmes résultats ont été trouvés par **Park et al. [48]**.

Il n'existe pas d'information claire sur l'effet de l'agrégat de déchets de verre et sur la taille des particules des déchets de verre sur les propriétés mécaniques du béton. Les recherches publiées ont montré des variations dans les résultats expérimentaux des propriétés mécaniques du béton de déchets de verre produit.

Tableau II.4: Résumé des recherches utilisant des déchets de verre comme granulats.

Le type de déchet	% étudié	Taille des parties Etudié	% optima	Taille optimale	méthode de détection de la RAS	Ref
Quartz, opale, fibre de verre et verre	100	Grossière	Fissures due à la RAS	Non indique	Mortara bar lengthchange	33
Bouteilles (verre sodocalcique)	100	Moins de 19mm	Fissures due à la RAS	Non indique	Mortara bar lengthchange	35
Bouteilles (verre sodocalcique)	0-100	4.75–0.15 mm	20	Moins de 4mm	(ASTM C1260)a	36
Bouteilles (verre sodocalcique)	0-60	4–16 mm	23	Moins de 4mm	(ASTM C1260)a	41
Bouteilles (verre sodocalcique)	0-70	Moins de 5 mm	Moins de 30	Moins de 5mm	(ASTM C1260)a	42
Bouteilles (verre sodocalcique)	0-70	36–100µm	70	75um	Mortara bar lengthchange	38
Verre de construction(sodo calcique)	0-20	0.15–9.5 mm	20	0.15-9.5mm	Non étudié	44
Container et verre plat (sodocalcique)	0-20	0.15–4.75 mm	20	0.15-4.75mm	(ATSM C1260)a	32
Feuilles de verre (sodocalcique)	0-50	Moins de 4.75mm	10	Moins de 4.75	Non étudié	45
Verre de construction et par brise	0-20	fine (moins de 4mm) et Grossière(plusde 4mm)	20	Grossier	Test de rétrécissement LNECE-398(1993)	43
Bouteilles (verre sodocalcique)	0-100	0.15–4.75 mm	Moins de 25	fine	(ASTM C1260)a	47

II.1.8. Valorisation de déchets de verre en remplacement partiel du ciment

L'utilisation des déchets de verre comme agrégats grossiers et fins dans la production de béton a été très limitée et n'a pas donné de résultats satisfaisants en raison de la réaction destructive alcalin-silice entre le ciment et l'agrégat de déchets de verre et aussi en raison de la faible performance de béton, une faible résistance à la compression, à la traction et à la flexion. Les propriétés pouzzolaniques du verre ont suscité l'idée d'utiliser des déchets de verre comme matériau de ciment ou comme un remplacement partiel de ciment dans la production de béton. Les propriétés pouzzolaniques du verre sont fortement affectées par la taille des particules du verre [49].

Cependant, dans toutes les études concernant les propriétés pouzzolaniques des déchets de verre, personne n'a réussi à identifier les produits de la réaction pouzzolanique ni à en proposer le mécanisme [50].

II.1.8.1. L'effet de la granulométrie des déchets de verre :

Shao et al. [49] ont étudié l'effet de la granulométrie des déchets de verre sur les propriétés du ciment et du béton en utilisant 30% de déchets de verre comme remplacement partiel du ciment dans le béton. Les lampes fluorescentes de déchets de verre (sodocalcique) ont été utilisées avec différentes tailles de particules, 150 μm , 75 μm et 38 μm . Les déchets d'une taille de 150 μm ne sont pas considérés comme un matériau pouzzolanique en raison de la granulométrie grossière, mais seuls les 38 μm satisfont l'exigence d'être un matériau pouzzolanique selon ASTM C618. Les résultats montrent que la résistance à la compression a augmenté au fur et à mesure que la taille des particules des déchets de verre diminue.

Après 90 jours de durcissement, la résistance à la compression du béton de verre de 38 μm a été supérieure à celle du ciment Portland de 8%. Les résultats du test d'expansion de la RAS ont montré que l'expansion de toutes les granulométries des déchets de verre était inférieure à celle du béton de référence. Les résultats expérimentaux ont montré que l'expansion de la RAS a diminué avec la diminution de la taille des particules des déchets de verre.

Shao et al. [49] ont conclu que l'utilisation d'un verre de déchets de 30% avec une granulométrie de 38 μm pourrait améliorer les propriétés du ciment Portland

Khmiri et al. [51-50] ont étudié l'effet des granulométries des déchets de verre sur les propriétés pouzzolanique du verre et sur les propriétés du béton lors d'un remplacement partiel constant du ciment par 20% de déchets de verre. Quatre granulométries différentes de verre sodocalcique ont été utilisées en remplacement partiel du ciment (moins de 100 μm , moins de 80 μm , moins de 40 μm et moins de 20 μm). Les résultats expérimentaux ont montré que la résistance à la compression augmentait au fur et à mesure que la taille des particules des déchets de verre diminue. La résistance à la compression du béton de verre de 20 μm a été plus élevée que celle du béton témoin de 2 % après 90 jours de durcissement. Les résultats ont prouvé que les déchets de verre ont montré des propriétés pouzzolaniques lorsqu'ils sont à moins de 20 μm et le déchet de verre a amélioré les propriétés du béton lorsque 20% du verre de 20 μm utilisé comme remplacement partiel au ciment. Ces résultats concordent avec ceux de **Shi et al. [52]**.

De plus, **Shi et al. [52]** les résultats ont montré que l'expansion de la RAS a considérablement diminué avec l'utilisation de 20% de déchets de verre finement broyés comme remplacement partiel au ciment dans la production de béton.

II.1.8.2. Le taux de remplacement du ciment par la poudre de déchet de verre :

Différentes études ont été réalisées pour étudier le pourcentage optimal de déchets de verre qui peut être utilisé comme un remplacement partiel de ciment pour produire du béton ou du mortier.

Schwarz et al. [53] ont étudié l'utilisation de déchet de verre (5, 10 et 20%) en remplacement partiel du ciment. La poudre de verre utilisée était légèrement supérieure dans la distribution granulométrique que dans le ciment Portland. On a trouvé que le pourcentage optimal de déchet de verre était de 10 % sur la base des résultats du test de résistance à la compression.

Les résultats expérimentaux ont montré que la résistance à la compression du béton de déchet de verre était inférieure à celle du béton témoin. Les résultats du test d'expansion de la RAS ont montré que l'expansion de La RAS a diminué avec l'augmentation du pourcentage de poudre de déchets de verre parce que la réaction pouzzolanique de la poudre de verre a consommé la concentration d'hydroxyde alcalin et le CH du mélange de béton

. Les chercheurs ont conclu que le remplacement de 30 % du ciment par les déchets de verre est nécessaire pour réduire l'expansion de la RAS en dessous de 0,1%.

Nassar et Soroushian [54] ont examiné trois pourcentages (15, 20 et 23 %) de déchet de verre avec une granulométrie moyenne de 25 μm en remplacement partiel du ciment dans deux projets à l'Université d'Etat du Michigan. Les résultats de résistance à la compression ont montré que le béton avec 15 et 20 % de remplacement de déchets de verre présentait une résistance à la compression supérieure à celle du béton témoin. Alors que le béton avec 23 % de verre de remplacement a montré la même résistance à la compression du béton témoin. Les résultats de résistance à la flexion ont montré le même comportement que celui de la résistance à la compression. Les résultats expérimentaux ont montré que la résistance à l'abrasion augmentait avec l'augmentation du pourcentage de déchets de verre et que seulement 23% des déchets de béton de verre donnaient les mêmes résultats que le béton témoin. Après 2 ans de tests, le béton composé de déchets de verre a montré une très bonne performance dans les deux projets sur le terrain sans aucune apparence de l'expansion néfaste RAS. L'étude a constaté que le pourcentage optimal de déchets de verre qui peut être utilisé en toute sécurité comme un remplacement partiel de ciment était de 20 %. Les résultats expérimentaux de **Nassar et Soroushian [54]** étaient en contraste avec ceux de **Schwarz et al. [53]**, en particulier dans le pourcentage optimal de déchets de verre.

L'étude récente menée par **Ali A Aliabdo et al [55]** montre l'effet de l'utilisation de la poudre de verre comme remplacement du ciment sur la résistance à la rupture du béton pour le béton de 33 MPa et de 45 MPa. A partir de ces résultats, l'effet positif de l'utilisation de la poudre de verre comme remplacement du ciment s'étend à 15% sur la résistance à la traction du béton, soit pour le béton ayant une teneur en béton de 33 MPa, soit de 45 MPa. Le niveau optimal de remplacement de la poudre de verre est respectivement de 10 % et 15 % pour le niveau de béton de 33 MPa et de 45 MPa. L'amélioration de la résistance à la traction du béton atteignant 28 jours maximum était respectivement de 19,5% et de 18,1% pour 33 MPa et 45 MPa niveau de béton.

Tableau II. 5 : Résumé des recherches sur l'utilisation des déchets de verre en remplacement partiel du ciment.

Type de déchets de verre	% De étudié	Granulométrie étudiée	%Optimum de déchets de verre	Taille de particule optimale	Méthode de détection ASR	Réf
Lampes fluorescentes verre(soda-limon)	30	38-150um	30	38um	(ASRMC 1260)a	47
Perles de verre (soda-limon)	20	10-700 um	20	30-100um	(ASTM c1260)a	52
Verre plat des pare-brises (soda limon)	0-20	1-100um	10	1-100um	(ASRMC 1260)a	53
Bouteilles(verre soda-citron vert)	0-23	13-25um	20	13.-25 um	ASTMC 1260)a	54
Container (verre à base des odalimon)	20	20.100 um	20	20um	Non étudiée	51, 50
Déchets de verre recyclé (soda limon)	0-20	0.1-100um	20	0.1-100um	(ASTMC 1567)b	75

a: Méthode de changement de barre de mortier en longueur

.b: Méthode d'essai de la barre de mortier accélérée.

II.1.9.Effet de la poudre de verre sur les propriétés du béton frais :

La maniabilité du béton ou de mortier est une caractéristique souhaitée. Il existe de nombreux tests pour mesurer cette propriété du béton, basé sur différents principes tels que l'affaissement au cône d'Abrams et la table d'écoulement.

Vandhiyan et al. (2013) ont conclu que la maniabilité du béton réduite avec l'augmentation du remplacement du ciment par la poudre de verre. Ceci est dû à l'augmentation de la surface de la poudre de verre et aussi à la forme angulaire de ces dernières. Le même résultat a été observé par (**Olutoge, 2016**).

L'affaissement variait d'environ 40 mm pour le mélange de référence de 0% de poudre de verre à 160 mm à 40% de poudre de verre. **Khatib [56]** a montré qu'il y avait une augmentation systématique de l'affaissement au fur et à mesure que la teneur en poudre de verre dans le mélange augmentait. Khatib n'a pas mentionné la distribution granulométrique de la poudre de verre utilisée.

Chikhalikar [57] a conclu qu'il y'a une amélioration de l'affaissement du béton est observé jusqu'à 40% de poudre de verre comme remplacement de ciment. **Soroushian [54]** a utilisé 13 μm de poudre de verre et ses résultats ont montré que l'affaissement a augmenté légèrement avec la poudre de verre moulue. Au contraire, les résultats de **Vandhiyan [58]** ont montré que l'utilisation de la poudre de verre a un effet négatif sur l'ouvrabilité du béton. **Vandhiyan** a utilisé la poudre de verre de forme angulaire passant par un tamis de 90 μm et 50 % conservé dans un tamis de 75 μm . En outre, Khan et al. (2015) ont constaté que la valeur d'affaissement diminue avec l'ajout de la poudre de verre, de sorte qu'une grande quantité d'eau est requise pour obtenir la même maniabilité que le mélange témoin.

Aliabdo et al. (2016) ont montré que l'utilisation de la poudre de verre comme addition au ciment réduit l'affaissement du béton. Cette tendance peut s'expliquer par l'augmentation de la teneur en matériaux fins qui augmente la cohésion du mélange de béton et diminue ainsi l'affaissement du béton. Les résultats ont montré que l'augmentation du niveau de remplacement du ciment par la poudre de verre augmente l'affaissement du béton.

Ce comportement peut être expliqué par la faible absorption d'eau de la poudre de verre ou peut-être attribué aux particules plus grossières de la poudre de verre par rapport au ciment.

Arora (2015) a montré que l'affaissement du béton augmente avec l'augmentation de la teneur de la poudre de verre dans le mélange de béton. Keerio et al. (2017) ont constaté que la maniabilité du béton augmente lorsque le dosage des déchets de verre augmente, l'augmentation maximale de la maniabilité a été observée à 25 % de remplacement du ciment par des déchets de verre.

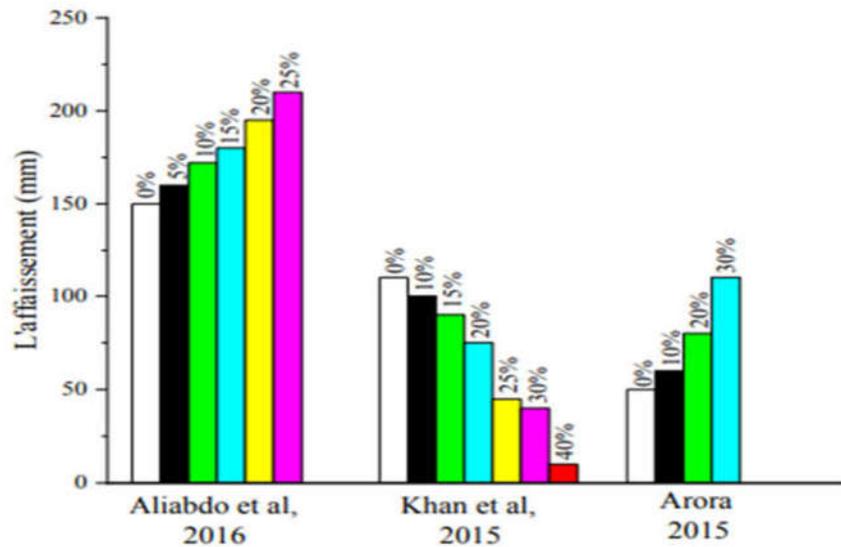


Figure II. 10 : Résumé des résultats de l'effet de la teneur de poudre de verre sur l'affaissement du béton.

II.1.10. Effet de la poudre de verre sur les propriétés du béton durci ;

En ce qui concerne les propriétés de béton durci, il existe des variations dans l'effet de la poudre de verre dans la résistance à la compression du béton et du mortier. (**Kumarappan et Khatib [59-56]**) ont conclu que l'on observe une amélioration de la résistance à la compression du béton jusqu'à 10,0% de ciment en poudre de verre de remplacement.

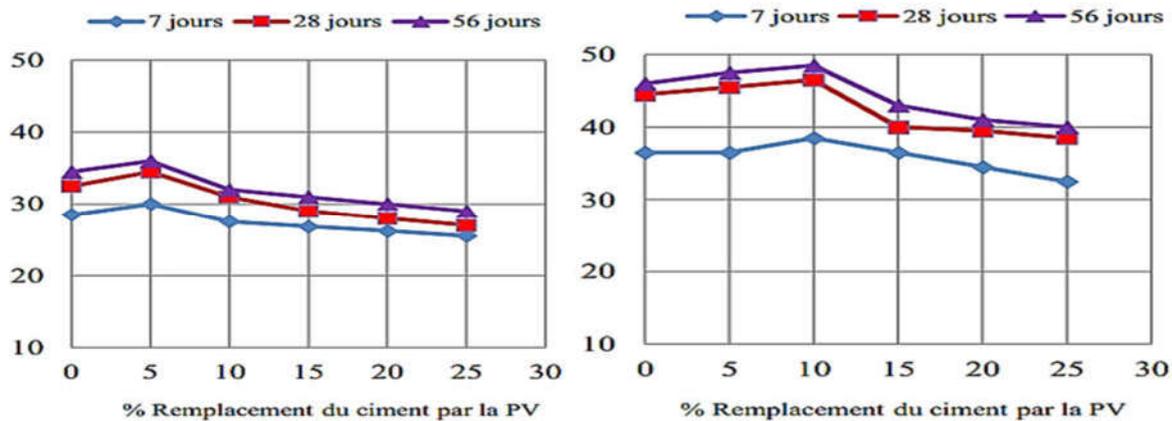
Vandhiyan [58] a étudié le remplacement du ciment par poudre de verre et a conclu que l'augmentation considérable à l'âge jeune du béton, en particulier chez les échantillons contenant 15% de poudre de verre qui ont donné une augmentation de 29% de la résistance à 7 jours de plus que l'échantillon témoin. À 28 jours, cette différence de force se réduit à 23%. L'augmentation de la résistance est optimale à 10% de remplacement. **Dali [60]** a étudié l'effet de la poudre de verre tamisée à travers un tamis de 600 μm et il a observé la résistance à la compression est améliorée jusqu'à 25% de remplacement du ciment, mais le pic est observé à 20% de remplacement.

Patil [61] a utilisé de la poudre de verre de granulométrie inférieure à 90 μm à travers un travail expérimental et a conclu qu'il y a une amélioration de la résistance à la compression du béton est observé jusqu'à 10,0% de remplacement du ciment en poudre de verre.

Les résultats des tests de **Vasudevan [62]** ont montré que l'utilisation de poudre de verre jusqu'à 20,0% renforcé la résistance à la compression du béton. De plus, **Chikhalikar [57]** a observé que la résistance à la compression du béton augmente en raison du remplacement du ciment en poudre de verre jusqu'à 20,0% et **Vijayakumar [63]** a conclu que l'utilisation de poudre de verre tamisée de 75 μm jusqu'à 40,0%.

De plus, **Chikhalikar [57]** a observé que la résistance à la compression du béton augmente en raison du remplacement du ciment en poudre de verre jusqu'à 20,0% et **Vijayakumar [63]** a conclu que l'utilisation de poudre de verre tamisée de 75 μm jusqu'à 40,0%. Le comportement perméable de la résistance à la compression du béton modifié avec de la poudre de verre comme remplacement du ciment a également été observé dans les forces de traction et de flexion [64, 57, 58, 60, 63]

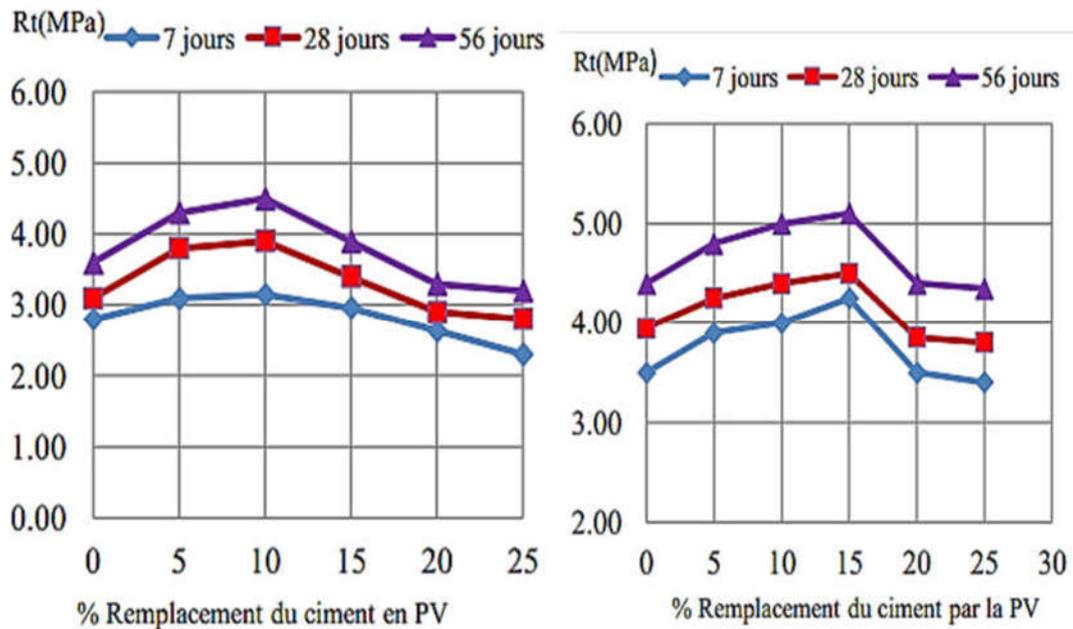
Dans l'investigation réalisée par **Ali A Aliabdo et al [55]**, il a été montré que le remplacement partiel du ciment par la PV améliore la résistance à la compression et la traction des deux bétons étudiés RN 33 et RN 45 comme illustrés sur les figures II.11 a,b et II.12a,b.



(a) Résistance à la compression RN33MPa

(b) Résistance à la compression RN45MPa

Figure II. 11: Résultats des tests de résistance à la compression du béton réalisé avec de la poudre de verre en remplacement du ciment[55].



a) Résistance à la traction RN33 MPa

(b) Résistance à la traction RN45 MPa

Figure II. 12 : Résultats des tests de résistance à la traction du béton réalisé avec de la poudre de verre en remplacement du ciment[55].

I.1.11. Valorisation de déchets de verre en remplacement partiel du ciment et agrégat dans le même mélange :

L'un des phénomènes les plus nocifs dans le béton est la réaction alcali-silice (RAS). Il s'agit d'une réaction chimique qui se produit entre les agrégats de silice réactive et les alcalis dans la pâte de ciment. Le gel alcali-silice est le résultat de cette réaction et ce gel a la capacité d'absorber l'eau et augmente en volume. Cette augmentation de volume provoque une pression élevée à l'intérieur de la pâte de ciment et causant une contrainte interne qui peut conduire à un dommage grave pour le béton. La RAS dépend de la présence de milieux basiques élevés ($\text{pH} > 12$), d'une humidité relative élevée, elle augmente avec l'augmentation de la température et nécessite beaucoup de temps pour apparaître, jusqu'à plusieurs mois [33- 66-67].

Différents matériaux ont été utilisés pour atténuer la RAS comme le **métakaolin** [68], la cendre volante [53, 69] et la fumée de silice [69]. Il a également été prouvé que les verres de verre broyés, d'une granulométrie inférieure à $75 \mu\text{m}$, ont la capacité de supprimer la RAS en raison des propriétés pouzzolaniques du déchet de verre [70].

La capacité de déchet de verre broyé à supprimer l'effet nocif de la RAS encourage les chercheurs à essayer d'utiliser des déchets de verre pour entraver l'effet RAS de l'agrégat de déchets de verre.

Shayan [71] et Shayan et Xu[72] ont étudié l'utilisation des déchets de verre comme un ciment partiel et un agrégat de remplacement dans le même mélange pour produire du béton.

On a utilisé des déchets de verre grossiers et fins en tant que remplacement partiel d'agrégats avec une plage de tailles de utilisée comme remplacement particules (0,15-12 mm) tandis que la poudre de déchets de verre a été partiel de ciment avec des granulométries inférieures à 10 μ m. Les résultats expérimentaux ont montré que la résistance à la compression du béton de déchets de verre a été améliorée par rapport à celle sans verre. Les tests ont montré que l'augmentation de la poudre de verre réduit l'effet de la RAS grâce à la réaction pouzzolanique. Les résultats ont prouvé que 30% du remplacement du ciment par la poudre de verre et 50% de remplacement de l'agrégat naturel par l'agrégat de verre grossier et fin pourrait être utilisé en toute sécurité sans aucun effet sur les propriétés du béton produit. On a également étudié l'utilisation de déchets de verre de différentes couleurs comme un ciment partiel [73]. Différents pourcentages de déchets de verre ont été utilisés comme remplacement partiel pour le ciment et l'agrégat naturel et avec des granulométries différentes comme indiqué dans le tableau II.5. Les résultats expérimentaux après 404 jours d'essais ont montré que le béton en poudre de verre ne présentait aucune trace de l'effet RAS avec un pourcentage de 30% comme remplacement de ciment et 40-50% d'agrégat de verre. Et les propriétés mécaniques du béton à déchet de verre étaient meilleures à celles du béton témoin.

Tableau II. 6 : La granulométrie des déchets de verre utilisé [71-72].

Produit	Gamme de taille des particules
Agrégat de verre grossier	12-4.75 mm
Agrégat de verre fin	4.75-0.15 mm
Poudre de verre	Moins de 10 μ m

Tableau II. 7 : Les granulométries et les pourcentages de déchets de verre [73].

Produit	Gamme de taille des particules
Agrégat de verre à déchet grossier	2.36-0.60mm
Agrégat de verre à déchet fin	0.30-0.15 mm
Poudre de verre remplacement du ciment	Moins de 15 um
Pourcentage de remplacement du ciment	20-30%
Pourcentage d'agrégat de déchet verre	40-75%

Taha et Nounu [74] ont étudié les propriétés du béton constitué de déchets de verre comme un remplacement partiel de l'agrégat et du ciment. Une poudre de verre ayant une taille moyenne de particule de (45 μm) a été utilisée en remplacement partiel du ciment avec 20% de remplacement. En outre, on a utilisé les déchets de verre comme agrégat dans le même mélange avec une taille de particule moyenne inférieure à (5 mm) et avec deux pourcentages de remplacement 50% et 100%. Les résultats ont montré que la résistance à la compression diminuait avec l'augmentation du granulats de déchet de verre.

B) Partie II: Le plastique**II.2.Introduction**

Le plastique est généralement produit à partir de matériaux à base de pétrole qui ne sont pas renouvelables. L'urbanisation et la croissance industrielle mondiale rapide ont augmenté l'utilisation de matières plastiques dans nos besoins quotidiens [75]. Par exemple, le plastique est applicable dans la fabrication de sacs en polyéthylène, de matériaux d'emballage alimentaire, de bouteilles d'eau, de récipients, de planches à découper, d'appareils électriques, de meubles, de véhicules, de boissons en plastique, de margarine, de shampoing et de bouteilles de détergent [76]. La consommation annuelle mondiale de produits en plastique était d'environ 5 millions de tonnes dans les années 1950, qui est maintenant passée à 100 millions de tonnes, ce qui a entraîné une augmentation de la production de déchets plastiques [77].

II.2.1.Historique de matière plastique(FRANCK,2013)

Le plastique est une invention étonnante qui est apparue pour la première fois en 1860, par Alexander Parks. Aujourd'hui, nous en utilisons 24,7 tonnes par an en Europe uniquement, car le plastique est le matériau du 21^e siècle. Il fait désormais partie de toutes les industries.

1496 : Racontant les événements du deuxième voyage de Christophe Colomb, il est rapporté qu'il y a un arbre en Amérique qui produit un jus laiteux appelé Ca-hu-chu par les Amérindiens, qu'ils utilisent pour fabriquer des boules de gomme élastique comme outil pour des jeux amusants.

1838 : Pour la première fois de l'histoire, le chimiste et physicien français Henri Victor Regnault fabrique du PVC. Mais le processus a traversé de nombreuses étapes avant de réussir.

1839 : Le chimiste américain Charles Goodyear invente le procédé de vulcanisation, qui est un procédé chimique qui vise à convertir les polymères apparentés en matériaux avec un degré de tolérance plus élevé en ajoutant du soufre. Cet ajout conduit à la formation de chaînes de réticulation dans la structure du caoutchouc (pour les caoutchoucs vulcanisés).

1860 : Le scientifique Alexander Parkes a mis au point un matériau qui pouvait être solide, liquide, rigide, élastique, hydrofuge et opaque, appelé PARAXINE.

1865 : Paul Schützenberger a préparé de l'acétate de cellulose, et le plus gros problème était qu'il était difficile de le dissoudre et ne pouvait donc pas être utilisé. Cependant, ce matériau présente de nombreux avantages, tels que le fait d'être ininflammable et de mieux préserver sa transparence et ses couleurs.

1907 : Le belge Léo Baekeland invente un plastique auquel il donne son nom : la Bakélite. Ce matériau présente des particularités, il est thermorésistant, isolant et thermodurcissable. Il est également léger et semi-transparent. C'est pourquoi il est beaucoup utilisé, aujourd'hui encore, comme isolant électrique.

Après la Première Guerre mondiale (1918) : Le prix du pétrole diminue et il devient donc la matière première utilisée pour fabriquer le plastique. De plus, c'est le matériau le plus facile à transformer. C'est le début de la pétrochimie..

1941 : la mélamine est créée. Son succès n'est pas immédiat mais apparaît dans l'immédiat après-guerre grâce à ses propriétés exceptionnelles de résistance à la chaleur, à la lumière, aux produits chimiques, à l'abrasion et au feu. Après la Seconde Guerre mondiale (1945) : Les PVC, nylon, formica, tergal arrivent sur le marché pour pouvoir tout reconstruire vite et remplacer les matériaux tels que le bois, le métal, le verre ou les tissus naturels.

1954 : Giulio Natta et Karl Rehn, deux chimistes respectivement italien et allemand, obtiennent, un polypropylène à structure géométrique cristalline régulière.

Aujourd'hui : Les déchets plastiques constituent plus de 7% de la masse totale des ordures ménagères ; mais, malheureusement, ils ne sont pas biodégradables. Ils sont incassables, imputrescibles et ne craignent ni le gel, ni l'assèchement. Ils sont donc une source durable de pollution. Ils rejettent lors de leur dégradation des produits toxiques pour notre environnement et notre santé. Il est à présent urgent de résoudre ce problème et de réduire notre consommation de plastique. (FRANCK, 2013).

II.2.2. Définition du plastique :

Les plastiques sont définis comme des polymères non-métalliques fabriqués par l'homme, de poids moléculaire élevé, constitués de répétition de macromolécules obtenues par la polymérisation de monomères extraits du pétrole ou du gaz. Pour leur donner les caractéristiques qui répondent aux besoins quotidiens, on y ajoute des éléments (chlore, azote, etc.) sous forme d'additifs ou adjuvants. **(Bowmer et Kershaw, 2010).[78]**



Figure II.13: Matière plastique.

II.2.3. La chimie du plastique :

Les plastiques sont des polymères constitués d'enchaînement de groupe identiques d'atomes, les monomères. Ce sont donc des macromolécules qui sont d'ailleurs très grandes comparés à celles constituant les produits organiques courants **(Carrera et al., 2012) [79]**. Celles-ci sont principalement constituées de carbone, d'hydrogène, de silicium, d'oxygène, de chlore et d'azote **(Kale et al., 2015) [79]**. Les polymères peuvent aussi comporter des monomères de natures différentes. Ils sont alors appelés copolymères, en opposition avec les homopolymères. Cette chaîne peut aussi comporter des ramifications. La structure chimique de certains polymères est reprise à la figure suivante :

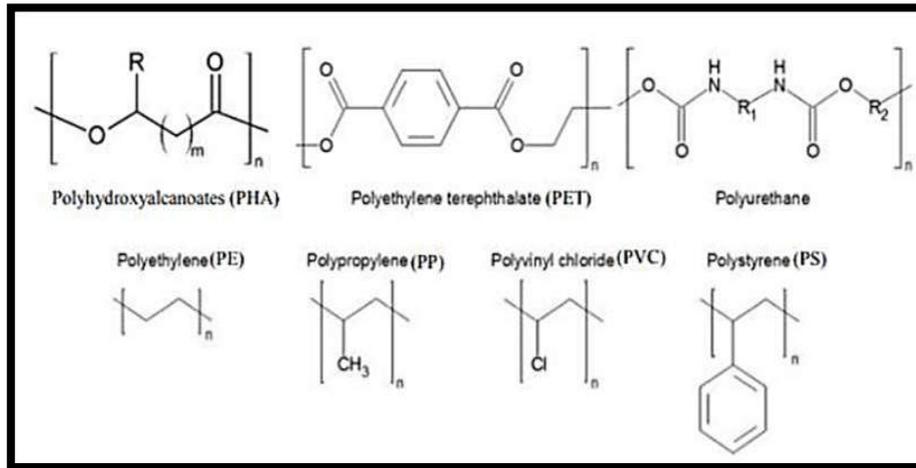


Figure II. 13: Structure chimique de polymère (d’après skruenger et al., 2015)[79].

II.2.4. Types de plastiques

Tableau II. 8 : Types de plastique.

Nom du plastique	Description	Certaines utilisations du plastique Viège	Certaines utilisations des plastiques fabriqués à Partir des déchet plastique
Poly téréphtalate d'éthylène (PET)	-Plastique claire et dure, peut être utilisé pour faire des fibres.	- Bouteilles pour boissons gazeuses et eaux , fibre textile.	-Bouteilles de boissons, bouteilles détergent, fibre de tapis.
Polyéthylène haute densité (PEHD)	- Plastique très fréquent ,habituellement blanc ou coloré	- Sacs à provisions, sacs de congélation on du lé ,bouteilles de lait et crème et Produite de nettoyage.	- Bacs à compost, caisse mobiles, poubelles tuyaux agricoles
Polychlorure de Vinyle non plastifié (UPVC)	- Plastique dure et rigide ,peut être clair	- Bouteilles de jus, douilles d'ampoules,	- Bouteille de détergent, tuiles , tuyaux et raccords de plomberie
Polyéthylène à basse de nésite (PEBD)	- Plastique mou et flexibles	- Sacs à ordures , poubelles ,feuilles de plastique noire	- Film pour l'industrie du bâtiment ,les pépinières, Sacs
Polypropylène (PP)	- Plastique dur , mais souple -de nombreuses utilisations	- Pots pour crème glacées ,paillettes pour boissons ,boite set emballage alimentaire	- Bacs de compost , usina des ans fins
Polystyrène (PS)	- Plastique rigide et fragile, peut être clair et vitreux	- Couvertres en plastique ,imitation de cristal	- Pincés linge, cintres,
Polystyrène expansé (PS E)	- Mousseux , léger ,absorbant l'énergie, Isolent thermique	- Gobelets pour boissons Chau des plats emporter et Récipient de nourritures	
Polychlorure de vin le plastifié	- Plastique souple ,claire et élastique	- tuyaux d'arrosage , semelles de chaussures et tubes pour prélèvement de sang	-Tuyaux flexibles d'intérieure , sols industrielle

II.2.5. Classification des types de déchets plastiques :

Le passage de l'état de déchets au micro-déchets s'effectue par le phénomène de fragmentation sous l'action combinée des UV (Ultra-violet) de la chaleur et de phénomènes d'abrasion mécanique. On obtient alors des déchets de grandes et petites dimensions, la dernière a la caractéristique du plancton et plus communément appelé par les scientifiques plancton plastique, formant ainsi les débris plastiques (**Ryan et al, 2009**) [80]. Une classification des déchets par la taille a été proposée (**Ryan et al., 2009; Thompson et al., 2009**) :

Micro-déchets : dimensions < 5mm

Méso-déchets : 5 mm < dimensions < 20 mm Macro-déchets : 20 mm < dimensions < 100 mm Méga-déchets : dimensions > 100 mm

II.2.6. Avantages des matières plastiques:

La croissance de l'utilisation du plastique est due à ses propriétés bénéfiques, qui comprennent :

- Polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques spécifiques.
- Un poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de carburant pendant le transport.
- Bonne sécurité d'hygiène pour les emballages alimentaires.
- Longévité et durabilité.
- Résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact.
- Propriétés d'isolation thermique et électrique.

II.2.7. Inconvénients des matières plastiques :

La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertains, à titre d'exemple les phthalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC

II.2.8. Valorisation des déchets plastiques :

Il existe en général trois grandes méthodes de valorisation du plastique (**Bruneau, 2015**) [81]:

II.2.8.1. La valorisation énergétique :

Consiste à incinérer les déchets plastiques pour récupérer l'énergie qu'ils contiennent sous forme de chaleur. Les plastiques, composés de pétrole raffiné, ont une capacité calorifique proche de celui-ci. Cette méthode de valorisation permet de recycler une grande partie des déchets plastiques.

II.2.8.2. La valorisation mécanique :

Consiste à réutiliser les déchets plastiques avec un minimum de transformation de la matière. Cette technique est utilisée pour le traitement des déchets thermoplastiques. Elle repose avant tout sur une collecte sélective ou un tri des déchets plastiques à partir des ordures ménagères. Il est très souvent nécessaire d'avoir des déchets plastiques triés par type de résine plastique. Plus le tri est efficace, plus le produit obtenu est de bonne qualité.

II.2.8.3. Valorisation chimique:

Consiste à transformer la matière plastique en molécule de base (polymère, ester...) pouvant servir à la synthèse d'une nouvelle matière plastique, ou pour la pétrochimie. Ces technologies sont encore peu développées ou limitées à certaines natures de résines plastiques. On ne les utilise que dans les pays du nord et les pays émergents [81].

II.2.9. Gestion de déchet plastique :

Le diagramme d'un système d'exploitation et de gestion des déchets plastiques est représenté schématiquement dans la figure II.16.

Les principales opérations impliquées dans un processus de gestion des déchets comprennent la collecte des déchets plastiques à l'extérieur ou l'intérieur du flux de déchets ménagers, la mise en décharge, sa récupération, le recyclage en produits utiles, et la création de marchés pour les produits recyclés

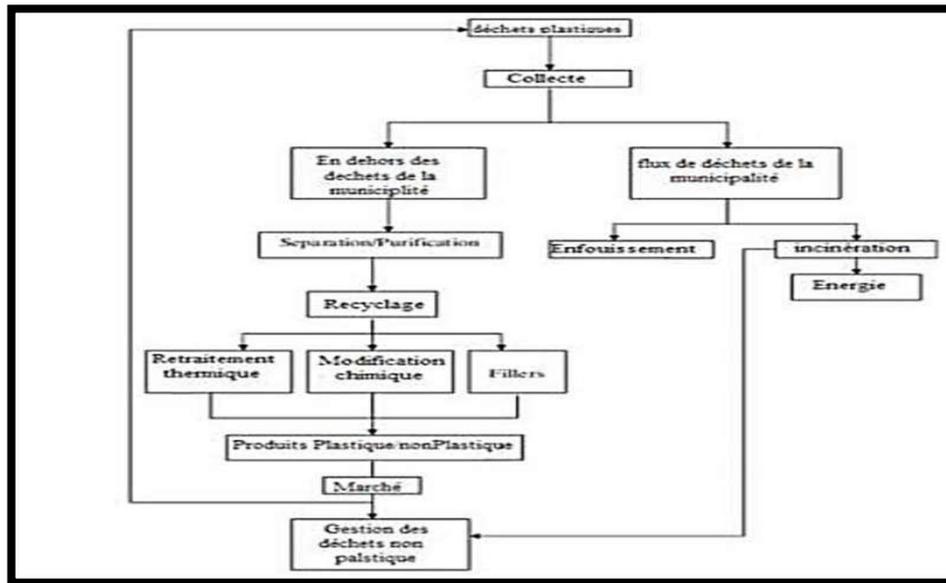


Figure II.14:Processus de gestion des déchets plastiques.

II.10. Recyclage des plastiques :

Le recyclage des plastiques doit être pris en considération dans tout programme de gestion des déchets plastiques. En plus de la réduction des quantités des déchets plastiques dans des décharges, il peut aussi contribuer de manière significative à la conservation des matières pétrochimiques et l'économie d'énergie [82]. **Rebeiz et Craft [83]** ont rapporté qu'il y a quelques contraintes technologiques et économiques qui limitent actuellement le recyclage complet et efficace des déchets plastiques en produits utiles qui sont :

- La contamination des déchets plastiques par d'autres matériaux tels que les déchets organiques et métaux qui peuvent endommager l'équipement utilisé dans le retraitement des déchets.
- Les plastiques ne sont pas des matériaux homogènes tels que l'aluminium ou le papier, mais se composent d'un grand nombre de nuances avec différentes propriétés et structures moléculaires, chaque composant en plastiques dans un déchets mixtes a un comportement de fusion différent, rhéologie et stabilité thermique.
- Les mélanges de matières plastiques sont généralement non miscibles et forment des phases discrètes et insolubles dans une phase contenue.
- Les stocks d'alimentation en déchets plastiques habituellement ne sont pas uniformes tout le temps.
- Les déchets plastiques ont une densité relativement basse. Par conséquent ils sont généralement compactés ou broyés avant le transport pour réduire le coût d'expédition.

II.2.11. Utilisation des déchets plastiques recyclés :

Les applications et l'utilisation des plastiques sont étendues. Certains articles en plastique tels que les emballages alimentaires deviennent des déchets juste après leurs achats. D'autres articles en plastique peuvent être réutilisés plusieurs fois. La réutilisation des plastiques est préférable au recyclage car elle consomme des quantités moindres d'énergie et des ressources en peuvent avoir plusieurs avantages :

- Conservation des énergies fossiles non- renouvelables, la production en plastique utilisé 8% de la production mondiale du pétrole dont 4% comme de matière première et 4 % au coure de la fabrication.
- Réduction de la consommation énergétique.
- Réduction des déchets solides mis en décharge
- Réduction des émissions du dioxyde de carbone (CO_2), l'oxydes d'azote (NO)et du dioxyde de soufre (SO_2).

II.2.12. Classification des plastiques réutilisés et valorisés dans le béton et mortiers**II.2.12.1. Polypropylène vierge :**

Les fibres de polypropylène vierge de 19, 12 et 6 mm de longueurs.

II.2.12.2. Le plastique recyclé des résidus d'automobiles broyé :

Résidus broyés d'automobiles composé essentiellement plastiques mixtes et certains en caoutchouc, avec une dimension maximale des particules de 19 mm ils sont sous forme de flocons.

II.2.12.3. Plastique recyclé (décheté ou rappé) :

La matière plastique recyclée (déchetée) est produite par broyage du plastique obtenu à partir de la récupération des plastiques mélangés, le processus donnant des flocons planes de plastique avec une dimension maximale de 25 mm (1 pouce).

II.2.12.4.. Valorisation des déchets plastiques sous forme de granulats :

Récemment, des recherches ont suggéré de réutiliser les déchets plastiques dans le béton comme remplacement naturel des agrégats pour réduire l'exploitation des ressources naturelles, et cela pourrait minimiser les impacts environnementaux négatifs de la construction [84]. Les déchets plastiques sont bon marché en raison de l'abondance de l'offre. Par conséquent, il est possible de réutiliser les déchets plastiques en remplacement des agrégats naturels car ils sont économiques et respectueux de l'environnement.

La recherche a montré que l'incorporation d'agrégats en plastique dans le béton peut être utilisée pour des applications de construction car elle peut atteindre des résistances aussi élevées que celles du béton normal [85]. **Alqahtani et coll. [84]** a déclaré que la substitution du PET dans le béton pourrait également être appliquée à la construction de trottoirs et de routes, où une résistance élevée n'est pas requise. Plusieurs études ont été réalisées pour étudier l'incorporation de déchets plastiques dans le béton, en remplaçant 10 à 30% des agrégats grossiers naturels. **Subramani et Pugal [86]** a déterminé qu'une substitution en pourcentage de 20 % était optimale, car la résistance à la compression diminuait considérablement lorsque la teneur en plastique était plus élevée. Néanmoins, la plupart des études ont simplement remplacé au hasard les agrégats de plastique dans le béton et ont observé leurs influences sur les propriétés mécaniques et de durabilité. Par exemple, de nombreux chercheurs ont découvert qu'un taux de remplacement du PET décheté par du sable de 0 % à 20 % entraînait une diminution de l'ouvrabilité et de la résistance à la compression de 43 % à 95 % et de 9 % à 62 %, respectivement [[87-88].

D'autres chercheurs ont découvert que l'augmentation du taux de remplacement du PET de 0 % à 100 % entraînait une réduction de la résistance à la compression et à la flexion de 50 % à 90 % et de 17,9 % à 88 %, respectivement [89-90]. De plus, une diminution significative de la résistance à la compression et à la traction par fendage a été observée à niveaux de remplacement inférieurs du plastique 5% [91]. Plusieurs chercheurs ont étudié l'utilisation des déchets plastiques dans le béton. La présente étude examine l'utilisation du PET en remplacement du sable dans le béton. Dans cette étude, un mélange de béton avec une résistance à la compression de 35 MPa sur 28 jours a été préparé, puis le sable naturel a été remplacé par 10 à 50 % de plastique recyclé broyé pour déterminer l'impact des niveaux de substitution sur les propriétés du béton. L'un sous forme de pellets PP remplaçant le granulat fin par 5 %, 10 % et 15 %.

Les deux autres sous forme de morceaux déchiquetés, l'un remplaçant l'agrégat fin PF avec 5 %, 10 % et 15 % et le dernier remplaçant le granulats grossier PG avec les mêmes pourcentages. Ils ont constaté que les différences de taille et de forme des granulats de PET affectent le rapport E/C ainsi que l'affaissement. La résistance à l'abrasion des mélanges de béton contenant des types de PET a été améliorée par rapport au béton de référence.

II.2.13. Effet du remplacement des granulats par des déchets plastiques sur les propriétés mécaniques des bétons :

II.2.13.1. Propriétés du béton frais :

II.2.13.1.1. Maniabilité :

L'affaissement est utilisé pour mesurer l'ouvrabilité ou la consistance du mélange de béton frais. C'est la propriété importante, l'affaissement du béton et de mortier contenant un agrégat de plastique a été étudié de façon approfondie.

. Dans plusieurs études par exemple, une valeur inférieure d'affaissement du béton frais a été observé à raison de plusieurs type de granulats plastique incorporé des celle du mélange de béton conventionnelle, il a été observé qu'une addition de plus en plus importante en matière plastique abaisse encore le taux d'affaissement du mélange [92]. D'autre part, dans quelques études et une augmentation de la valeur de l'affaissement due à l'incorporation de granulats en plastique est également signalée [93,94], l'augmentation de l'affaissement des mélanges de béton en raison de l'incorporation d'agrégats plastiques est due à la présence d'eau libre plus importante dans les mélanges contenant du plastique que dans le mélange de béton contenant un agrégat naturel, donc à la différence des granulats naturels, les agrégats en plastique ne peuvent pas absorber de l'eau lors du gâchage [94].

Guendouz et al. (2016) [95], ont montré que l'utilisation de déchets plastiques de type polyéthylène basse densité comme remplacement partiel du sable contribue à augmenter la maniabilité du béton d'environ 40 %. Ceci est probablement dû au fait que la quantité d'eau libre dans les mélanges contenant du plastique est supérieure à celle du béton avec des granulats naturels. D'autre part, les valeurs d'affaissement diminuent en raison de l'ajoute de fines et grossières floconneux agrégat en plastique sont attribués au fait que ces agrégats PET ont des bords plus aiguisés par rapport aux granulats naturels.

Islam et al. (2016) [96] ont étudié l'effet des déchets plastiques PET en tant que granulats grossiers sur diverses propriétés fraîches et durcies du béton. Ils ont conclu que la maniabilité du béton de granulats de PET s'est améliorée par rapport au béton ordinaire avec le même rapport E/C.

II.2.13.1.2. Densité :

Quelle que soit la classe et taille des substituant, l'incorporation de matières plastique comme agrégat diminue généralement densités à l'état frais et durci du béton résultant du fait de la légèreté de l'agrégat en plastique [97-98].

Ismail et Al- Hashmi [92] ont rapporté que la densité de béton contenant des matières plastique comme agrégat fin. Leurs résultats indiquent que la densité du béton frais contenant agrégat plastique par substitution de 10%, 15%, et 20% de granulats fins tend à diminuer la densité respectivement de 5% ,7%, et 8% par rapport au béton de référence. **Al-Manaseer et Dalal [102]** ont également constatés une diminution de la densité de 2.5 %, 6% et 13% des mélange de béton contenant respectivement 10%, 30% et 50% des agrégat en plastique. La réduction des poids unitaires peut s'expliquer par la faible masse volumique du plastique PET par rapport à l'agrégat conventionne.

Silva et al. (2013) [99] ont constaté que la densité fraîche du béton avec plastique est inférieure à celle du béton témoin, en raison de la plus faible densité des granulats plastiques. La perte de densité était plus importante lorsque des granulats plastiques progressivement plus gros et plus floconneux étaient incorporés.

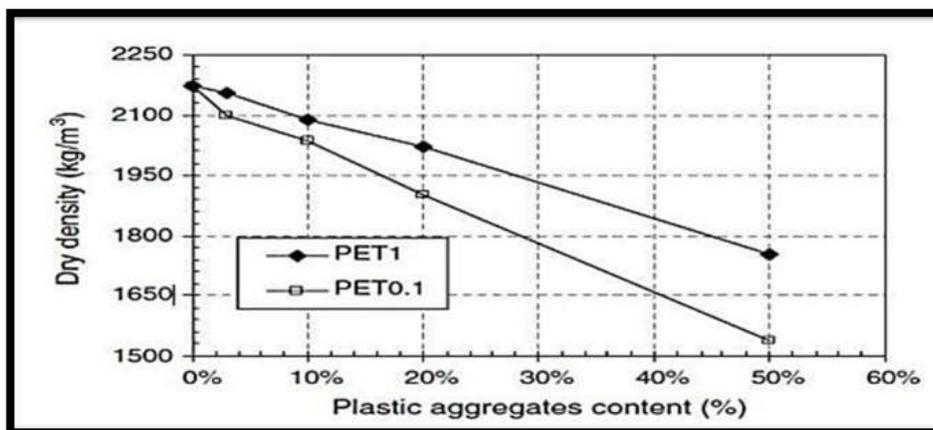


Figure II.15: Densité à sec par rapport au volume des ab le remplacé par les PET

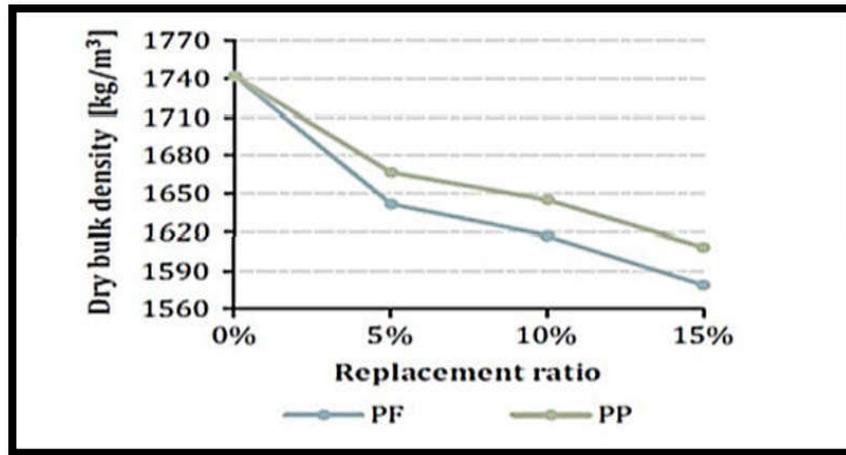


Figure II. 16: Densité du mortier à base de déchets plastiques (PF=PET flakes; PP=PET pellets).

II.2.14.2. Propriétés mécaniques :

II.2.14.2.1. Résistance à la compression :

La résistance à la compression du béton et du mortier est une propriété fondamentale qui a été étudiée en détails dans la plus part des travaux de recherche liés aux agrégats en plastique [100] et [101]. Dans toutes ces études, il a été montré que l'incorporation des agrégats de plastique a diminué la résistance à la compression du béton/ou mortier résultant [102].

La figure II.20 montre quelques résultats à 28 jours, la performance des résistances à la compression du béton contenant des déchets plastiques par la substitution partielle des fines et grossiers agrégats naturels. Les facteurs qui peuvent être responsables de faible résistance à la compression contenant des granulats en plastique sont les suivants :

- force d'adhésion est très faible entre la surface des déchets de plastique et la pâte de ciment .
- la nature hydrophobe des déchets en plastique, qui peut inhiber la réaction d'hydratation du ciment en limitant le mouvement de l'eau.

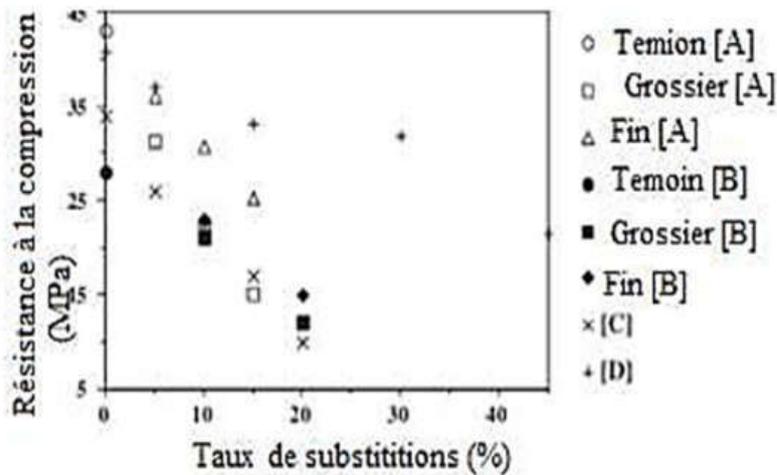


Figure II. 17 : La résistance à comprissions en fonction des teneurs d'agrégat plastique.

Batayneh et al.[103] ont observé également une diminution de la résistance à la compression du béton due à l'ajout de déchet plastique en tant que substitution partielle de granulat fins, pour 20% de substitution la résistance à la compression a connu 'une forte diminution jusqu'à 72% de la résistance initiale et pour 5 % de substitution la résistance à la compression a diminué de 23%. **Ismail et Al- Hashmi [92]** ont indiqué que la résistance en compression du béton préparé en remplaçant 10% ,15%, et 20% de granulat naturels fins par des granulat PET fines sont plus élevés que la résistance en compression minimale requise pour le béton structurel, qui est 17.24MPa, même si les valeurs sont inférieures à la résistance à la compression du béton contenant seulement granulat Naturel. **Hannawi et al.[104]** ont rapporté que la résistance de compression à 28jour de mortier contenant des agrégat PET par le remplacement de 3%, 10% 20% et 50% de sable, une diminution de la résistance à compression a été observée lorsque la teneur des agrégats en plastique dans le mortier augmente.

II.2.14.2.2. La résistance à la traction par flexion :

Par rapport à la résistance à la compression, la résistance à la traction du béton est relativement faible mais on a parfois besoin de la connaître [105]. De manière similaire au comportement de la résistance à la compression, l'incorporation de tout type d'agrégat plastique abaisse la résistance à la traction par flexion du béton selon plusieurs études faites en ce type d'agrégats.

Selon **Albano et al [106]** la diminution de la résistance à la traction pour flexion est due à la porosité accrue de béton causée par l'incorporation des granulats PET ainsi que l'augmentation du rapport E/C.] Concluent après une enquête en utilisant le polyéthylène (PET) comme des agrégats que les résistances des mélanges de béton ont diminués de 19 %, 31 % et 54 % avec l'augmentation des agrégats de PET de 25 %, 50 % et 75 % respectivement [107]. **Manjunath (2016) [109]** a étudié l'utilisation des déchets plastiques dans le béton sous forme de granulats fins et grossiers à des pourcentages de 10 %, 20 % et 30 %. Il a conclu que la résistance à la traction des mélanges de béton à base de déchets plastiques diminuait par rapport au mélange de béton de référence à 28 jours.

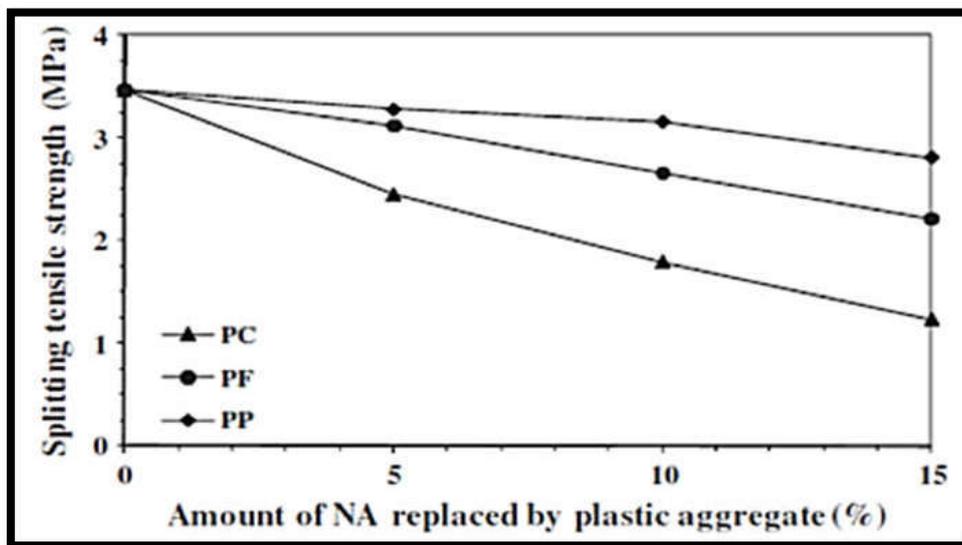


Figure II.19: Résistance à la traction en fonction du pourcentage des agrégats plastique

II.2.14.2.3. La résistance à la flexion :

En ce qui concerne la résistance à la flexion, **Batayneh et al. [103]** ont également signalé une tangence à la baisse de la résistance à la flexion avec l'augmentation de la teneur des déchets plastiques dans le béton. Toutefois, cette réduction n'était pas aussi marquée comme c'est le cas pour la résistance à la compression. **Ismail et Al - Hashmi [92]**, ont signalé que la résistance à la flexion du béton contenant 10%, 15% et 20% de déchet de plastique comme agrégat en remplacement des granulats naturels, que la résistance à la flexion du béton contenant des déchets plastiques à chaque échéance de durcissement diminuait avec l'augmentation du ratio de déchet plastique dans ces mélanges de béton.

Saikia et de Brito [110] ont également constaté des valeurs plus faibles des résistance à la flexion pour le béton contenant l'agrégat en PET que pour le béton contenant des granulats naturels **Shayan et Drishya (2017) [111]** ont étudié le remplacement des granulats fins par de la poudre de polyéthylène haute densité (PHD) à des pourcentages de 5 %, 10 %, 15 % et 20 %. Ils ont conclu que la valeur optimale est obtenue avec un remplacement de 5 % de l'agrégat fin par de la poudre de PHD. La résistance à la flexion a augmenté de 46,34 % à 5 % du remplacement et largement supérieure à celle des échantillons de contrôle et tous les autres pourcentages de substitution.

II.2.14.2.4.L'absorption d'eau et la porosité accessible et la durabilité:

Albano et al. [88] ont signalé que l'absorption d'eau est plus élevée pour les bétons contenant des granulats de PET par rapport le béton contenant uniquement les granulats naturels L'absorption d'eau est en outre proportionnelle à la teneur globale croissant de PET dans le béton, l'augmentation, de taille des agrégats de PET et l'augmentation du rapport E/C.

Marzouk et al. [90] ont constaté des diminutions de la sportivité pour les mortiers contenant du PET comme agrégat par rapport aux mortiers ne contenant pas de déchets de plastique. Ainsi, leurs résultats suggèrent une meilleure performance de la durabilité pour les mortiers contenant des agrégats de PET que pour les mortiers contenant des agrégats naturels lorsque ceux-ci entrent en contact avec des solutions agressives. **Choi et al. [93]** ont mesuré le coefficient de sportivité des mortier durcis après 28 jour, qu'ils ont préparé en remplacement 0%, 25%, 50% et 75 % de granulat Natural par le sable de PET. Leurs résultats ont indiqués que sportivité des mortiers contenant in agrégat de PET à 25% de substitutions était inférieure à celui du mortier témoins. Selon les autres, à 50% et 75%, le changement de taille de classe granulométrique du mélange des granulat fins à l'intérieure augmentait la porosité du mortier et par la conséquent l'augmentation de la sportivité

II.2.15. L'effet de l'utilisation des déchets plastiques sous forme des fibres dans les bétons:**II.2.15.1. Valorisation des déchets plastiques sous forme de fibres dans le béton:**

Le béton se caractérise par un certain nombre de défauts tels qu'une faible résistance à la traction, une faible ductilité, un poids élevé et une faible absorption d'énergie. Ces inconvénients ont poussé les ingénieurs civils à utiliser le renforcement conventionnel afin d'augmenter la résistance à la traction et la ductilité. L'idée d'utiliser des fibres comme renfort n'est pas nouvelle. L'ajout de fibres au béton agirait comme interdire les fissures et augmenterait la résistance à la traction, la résistance à la fissuration, la résistance aux chocs, l'usure, la résistance à la fatigue et la ductilité du béton (**M. Sulyman et al. 2016, Bon-Min Koo et al. 1996-1944**) [112]. Outre l'avantage du recyclage de DSM, l'incorporation de plastiques tels que les déchets de PET dans les bétons est essentielle en tant que granulats légers. La réduction du poids unitaire du béton est l'un des objectifs de la production de structures parasitiques. Il a été prouvé expérimentalement que le béton renforcé de fibres de PET est plus performant (**R. N. Nibudey et al. 2013, Ms. K. Ramadevi et al. 2012, R. N. Nibudey et al. 2014, Margareth da Silva Magalhães et al. 2015**) [112]. Les fibres de PET ou les fibres synthétiques connaissent le plus de succès dans les applications pratiques et les expériences car elles ont des qualités uniques par rapport à la fibre ordinaire.

Irwan et al. (2013) [113] ont étudié les performances du béton contenant des déchets de bouteilles en polyéthylène téréphtalate PET sous forme de fibres à trois pourcentages en volume 0,5 %, 1 %, 1,5 %. Les résultats ont révélé que la présence de fibres de PET dans le béton augmente ces performances.

Pesic et al (2016) [114] ont étudié les propriétés mécaniques du béton renforcé avec des fibres plastiques extrudées de polyéthylène haute densité (PHD) recyclée. Deux diamètres de fibres de 0,25 mm et 0,40 mm avec trois fractions volumiques de 0,40 %, 0,75 % et 1,25 % ont été utilisés dans cette étude. Ils ont conclu que l'introduction de la fibre PHD ne produit aucun effet sur le module d'élasticité et la résistance à la compression du béton.

Marthong et Sarma (2015) [115] ont examiné l'influence de différentes géométries de fibres PET sur les propriétés physiques et mécaniques du béton. Les résultats des tests ont montré que la géométrie de la fibre a un effet marginal sur la maniabilité du béton. Cependant, elle joue un rôle important dans l'obtention d'une bonne résistance à la compression et à la traction du béton. **Chacko et George (2017) [116]** ont étudié les performances du béton avec des fibres de PET (polyester thermoplastique). La longueur des fibres a été maintenue à 5 mm, 15 mm, 20 mm et la largeur à 2 mm. Les résultats ont montré que la résistance était plus élevée à $RA = 2,5$ (longueur de 5 mm et largeur de 2 mm).

II.2.15.2. Propriétés du béton frais:

Bhogayata et Arora (2017) [117] ont constaté que la maniabilité du béton est affectée par les deux paramètres d'essai, à savoir la fraction et le type de fibres de déchets plastiques métallisés. Le béton contenant des fibres de type A (5 mm) a montré une réduction de l'affaissement de 5 %, 8 %, 12 % et 16 % pour faire varier la fraction de 0,5 % à 2 %. Les bétons contenant des fibres de type B (10 mm) et de type C (20 mm) ont réduit l'affaissement relativement plus que le premier type. Ils ont conclu qu'un dosage plus élevé de fibres augmente la viscosité de la matrice et diminue la consistance du mélange frais à une fraction volumique plus élevée, ont conclu que pour le rapport eau/ciment constant de 0,57 qui a été utilisé dans la conception du mélange, à mesure que la teneur en fibres de PET augmentait dans le mélange, il y avait une réduction des niveaux d'ouvrabilité comme indiqué par une réduction des valeurs d'affaissement de 45 pour le béton normal à des pourcentages de réduction de 33 %, 48,9 % et 62,2 % pour 1 %, 2 % et 3 % d'ajout de fibres de PET respectivement par rapport au témoin. Comme il y avait une réduction de l'affaissement avec l'ajout de fibres de PET dans le mélange, le béton est resté de nature maniable. Cette réduction de l'affaissement du béton a été attribuée à la présence de fibres dans le mélange alors qu'elles s'agglutinent les unes sur les autres, réduisant l'affaissement alors que le mélange est en cor utilisable.

De plus, une réduction de l'ouvrabilité du béton frais peut être causée par une adhérence dans le béton et le maintien des autres ingrédients du béton ensemble empêchant un écoulement facile, comme cela a été rapporté par **Nibudey et al (2014) [118]**.

Shahidan et al. (2018) [119] ont constaté que l'affaissement du béton continu diminue avec l'ajout de fibres dans le mélange de béton. La raison de cette diminution était due à la présence de fibres de PET dans le béton, qui provoque une plus grande friction entre les particules.

II.2.15.3. Propriétés du béton durci :

R.N. Nibudey et al. 2013 [120] a rapporté que les fibres fabriquées à partir de déchets de bouteilles en PET étaient appropriées pour le renforcement du béton. Il a été constaté que la résistance à la compression expérimentale du béton renforcé de fibres de PET augmentait de 7,35% par rapport au béton normal pour le grade M20 de rapport d'aspect 50 pour une fraction volumique de fibres de 1%, par la suite, la résistance diminuait à des pourcentages de volumes de fraction plus élevés, comme ils l'ont noté une chute de 27 % de la résistance à la compression pour une fraction volumique de fibres de 3 % pour la même qualité et le même rapport d'aspect. L'augmentation de la résistance à la compression pour le béton de grade M30 est très faible et la chute de la résistance lors de l'augmentation de la fraction volumique de fibres était faible. Dans l'analyse des tests effectués par Mme **K. Ramadevi et Al. 2012 [121]** pour une conception de mélange de béton de grade M25, une augmentation appréciable de la résistance à la compression est observée jusqu'à 2 % de remplacement des granulats fins par des fibres de bouteilles en PET, puis la résistance à la compression diminue progressivement (**R. Kandasamy et al. 2011) [122]**..

Borg et al. (2016) [123] ont étudié les performances du béton renforcé par des fibres produites à partir de déchets plastiques, le polyéthylène téréphtalate (PET). Différents types de fibres de PET recyclé déchiquetées, droites et déformées, ainsi que différentes longueurs de 30 mm et 50 mm ont été évaluées pour un pourcentage d'ajout allant de 0,5 % à 1 % dans le béton. Ils ont conclu que l'ajout de fibres de PET recyclé entraîne une réduction de la résistance à la compression de 0,5 à 8,5 % par rapport au mélange de contrôle.

Taherkhani (2014) [124] a étudié l'utilisation de déchets de PET comme fibre dans le béton avec différentes longueurs de 1,2 cm et 3 cm à des pourcentages de 0,5 à 1 % en volume du mélange. Ils ont conclu que la résistance à la compression à 7 et 28 jours diminue avec l'augmentation de la longueur et de la teneur en fibres. Avec la plus faible résistance pour le mélange contenant 1 % de PET de 3 cm. Cette réduction a été attribuée au manque de liaison adéquate entre les fibres et la pâte de ciment, et à un potentiel plus important de développement de fissures.

Mohammadhosseini et al. (2018) [125], ont conclu que l'incorporation de déchets plastiques métallisés avec des pourcentages de 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 % et 1,25 % réduit la résistance de 6 %, 7 %, 11 %, 18 % et 21 %, respectivement. Cette diminution pourrait être attribuée à l'existence de vides d'air dans la matrice qui sont augmentés par l'ajout de fibres dans le béton. La résistance à la flexion des éprouvettes avec augmentation du pourcentage de remplacement (**R.Kandasamy et R.Murugesan 2011**).[122] . **Mme K. Ramadevi et. Al. 2012 [121]** a déclaré à partir de son analyse que la résistance à la flexion du béton de grade M25 modifié a augmenté à 2 % de remplacement des granulats fins par des fibres de bouteilles en PET, a progressivement diminué de 4 % et reste la même pour 6% de remplacement. Pour la résistance à la traction, les expériences de **J. M. Irwan et. Al. 2013 [113]** montre que la fibre PET peut améliorer la résistance à la traction du béton cylindre. La résistance du béton contenant des fibres de PET augmente de 0,5 % à 1,5 % par rapport au béton normal à tous les âges. A 28 jours, l'augmentation de la résistance à la traction par fendage du béton contenant des fibres de PET à 0,5 %, 1,0 % et 1,5 % était de 9,1 %, 15,5% et 23,6 % respectivement. La résistance à la traction fendue semble augmenter jusqu'au remplacement de 2 % d'agrégats fins par des fibres de bouteilles en PET, puis diminue progressivement avec l'augmentation du remplacement (**R.Kandasamy et R.Murugesan 2011**)[122] [. Comme le rôle de l'ajout de fibre PET dans le béton est de traverser la fissure et d'améliorer la liaison de son élément dans le béton, nous pouvons conclure que la fibre PET ajoutée améliorera la résistance à la flexion ainsi que la résistance à la traction par fendage. **Bui et al. (2018) [126]**, ont conclu que les déchets de bouteilles en PET recyclées et les déchets de sacs en plastique tissé recyclés améliorent la résistance à la traction du béton d'agrégats recyclés. La résistance à la traction du béton de granulats recyclés renforcé avec des fibres de PET a augmenté de 11,8 à 20,3 %, tandis que les fibres de sacs en plastique n'ont amélioré la résistance que de 9; 16;6%. **Mohammadhosseini et al. (2018) [125]**, ont conclu que la résistance à la traction augmente de 12 %, 19 %, 17 %, 13 % et 8 % pour les dosages de fibres plastiques de 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 % et 1,25 %, respectivement par rapport au béton de référence.

Les Références bibliographiques chapitre 2

- [1] **ABDELKIBIRE Messaod et BEN OUELHA Fayçal**-Mémoire de fin d'études valorisation des déchets de verre comme sable dans la confection des bétons. UNIVERSIT2MOUHAMED BOUDAIF-M'SILA.2005.
- [2]- **Peter Rice; Hugh Dutton**, Le verre structurel, Editions du Moniteur Paris, 1990.
- [3]- **Louis Nicolas**, Encyclopédie Méthodique, P 362, 1815.
- [4]- **Claude guillemet**, Technique de l'ingénieur (A 2100-1-2100-9) édition 1993
- [5]- **W.L BRAGG, Fonda**: fluorescence de la rhodamine. —Journal de physique, série VII, n°8, août 1936.
- [6]- **Zachariassen, W. H.** "The atomic arrangement in glass", Journal of the American chemical society, vol. 54, p.3841-3851, 1932.
- [7]- **B.E. Warren**, "X-ray determination of the structure of glass". Journal of American Ceramic Society, vol. 17, no 8. 1934.
- [8] **YahyaJani, William Hogland, 2014.** Waste glass in the production of cement and concrete– A review, Journal of Environmental Chemical Engineering.
- [9] **IB. Topçu, M. Canbaz, 2003-2004.** Properties of concrete containing waste glass, Cement and Concrete Research, Page: 267–274
- [10] **M. Saito, M. Shukuya, 1996.** Energy and material use in the production of insulating gglass win do. Solar Energy 58, pages: 247–252
- [11] **M. Ruth, P. Dell Anno, 1997**, an industrial ecology of the US glass industry, 109–124
- [12] **A. Schmitz, J. Kaminski, Scalet B. Maria, A. Soria, 2011.** Energy consumption and CO2emissions of the European glass industry, Energy Policy. Page: 142–155.
- 13] DJAFER-KHODJA Miloud, 2016-2017**, étude de l'effet de la finesse de la poudre de verre sur les propriétés physico-mécaniques du béton, UNIVERSITE AKLI MOHANDOULHADJ– BOUIRA, 104p
- [14] **H. Isa**, The need for waste management in the glass industries: a review, Scientific Research and Essay 3 (2008) 276–279
- [15] **L.M. Federico, S.E. Chidiac, .2009.** Waste glass as a supplementary cementations material in concrete, critical review of treatment methods, Cement and Concrete Composites pages: 606–610
- [16] **K.H. Tan, H. Du, 2013.** Use of waste glass as sand in mortar, mechanical and durability properties. Cement and Concerte Composites 35. Pages: 109–117

- [17] **L.A. Pereira-de-Oliveira, J.P. Castro-Gomes, P.M.S. Santos, 2012.** The potential pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars components, *Construction and Building Materials* 31. Pages: 197–203
- [18] **T. Zhang, P. Gao, P. Gao, J. Wei, Q. Yu, 2013.** Effectiveness of novel and traditional methods to incorporate industrial wastes in cementations materials an overview. *Resources and conservation and recycling* 74. Pages: 134–143
- [19] **K.M. Lee, H.K. Lee, S.H. Lee, G.Y. Kim,** Autogenously shrinkage of concrete containing granulated blast furnace slag, *Cement and Concrete Research* 7 (2006) .
- [20] **N. Farzadnia, Ali A.A. Abang, R. Demirboga, M.P. Anwar,** Effect of halo site nanoclay on mechanical properties, thermal behaviour and microstructure of cement mortars, *Cement and Concrete Research* 48 (2013) 97–104,
- [21] **N. Lairaksa, A.R. Moon, N. Makul,** Utilization of cathode ray tube waste: encapsulation of PbO-containing funnel glass in Portland cement clinker, *Journal of Environmental Management* 117 (2013)
- [22] **S. Kou, C. Poon,** A novel polymer concrete made with recycled glass aggregates, fly as hand met kaolin, *Construction and Building Materials* 41 (2013) 146–151,
- [23] **S. de Castro, J. de Brito,** Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregates, *Journal of Cleaner Production* 41 (2013)
- [24] **R.G. Pike. D,** hub bard, 1957. Physicochemical studies of the destructive alkali aggregate reaction in concrete, *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 59, pages:127–132.
- [25] **K.H. Tan, H. Du, 2013.** Using of waste glass as sand in mortar. Part I. Fresh, mechanical and durability properties, *Cement and Concrete Composites* 35, pages: 109–117.
- [26] **Y. Shao, T. Lefort, S. Moras, D. Rodriguez, 2000.** Studies on concrete containing ground waste glass, *Cement and Concrete Research* 30, pages: 91–100.
- [27] **R. Idir, M. Cyr, A. 2011.**Tagnit-Hamou, Pozzolanic properties of fine and coarse color-mixed glass cullet, *Cement and Concrete Composites* 33, pages: 19–29.
- [28] **A. Shayan, 2002.**Valueadded utilization of waste glass in concrete, IABSE Symposium,Melbourne,286p.
- [29] **KOJIMA, T., TAKAGI, N. et HARUTA, K.** Expanding characteristics of mortar in glass powder produced from waste bottles, 11th international conference on Alkali Aggregate Reaction, Quebec.
- [30] **H .SCHOLZE.** Le verre, nature, structure et propriétés ; institut du verre, Paris 1980

- [31] **Rachida IDIR *Martin CYR Arezki TAGNIT-HAMOU** (DECEMBRE 2010) Peut-on valoriser massivement le verre dans les bétons ? Etude des propriétés des bétons de verre, rapport. Centre d'Etudes Techniques Université de Toulouse France
- [32] **Z.Z. Ismail, E.A. Al-Hashmi**, Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete, *Waste Management* (New York, N.Y.) 29 (2009) 655–659, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.012>. 18848773
- [33] **R.G. Pike, D. Hubbard**, Physicochemical studies of the destructive alkali aggregate reaction in concrete, *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 59 (2) (1957)127–132, <http://dx.doi.org/10.6028/jres.059.013>
- [34] **J.D. Heldman**, *Techniques of Glass Manipulation in Scientific Research*, Prentice Hall, New York, 1946.
- [35] **C.D. Johnston**, Waste glass as coarse aggregate for concrete, *Journal of Testing and Evaluation* 2 (5) (1974) 344–350, <http://dx.doi.org/10.1520/JTE10117J>.
- [36] **R. Takata, S. Sato, T. Nonaka, H. Ogata, K. Hattori**, Investigation on alkali–silica reaction utilizing waste glass in concrete and suppression effect by natural zeolot, 29th Conference on Our World in Concrete and Structures: 25–26 August, Singapore, 2004).
- [37] **R. Idir, M. Cyr, A. Tagnit-Hamou**, Use of fine glass as ASR inhibitor in glass aggregate mortars, *Construction and Building Materials* 24 (2010) 1309–1312,
- [38] **V. Corinaldesi, G. Gnappi, G. Moriconi, A. Montenero**, Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars, *Waste Management* (New York, N.Y.) 25 (2005) 197–201, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2004.12.009>. 15737718.
- [39] **R. Idir, M. Cyr, A. Tagnit-Hamou**, Pozzolanic properties of fine and coarse color mixed glass cullet, *Cement and Concrete Composites* 33 (2011)
- [40] **W. Hogland**, Remediation of an old landfill site, *ESPR-Environmental Science and Pollution Research* 1 (2002) 49–54
- [41] **IB. Topçu, M. Canbaz**, Properties of concrete containing waste glass, *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 267–274,
- [42] **S.B. Park, B.C. Lee, J.H. Kim**, Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate, *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 2181 – 2189, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.006>. [43] **S. de Castro, J. de Brito**, Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregates, *Journal of Cleaner Production* 41 (2013) 7–14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.021>.

- [44] **M. Batayneh, I. Marie, I. Asi**, Use of selected waste materials in concrete mixes, *WasteManagement (New York, N.Y.)* 27 (2007) 1870–1876, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.026>. 17084070
- [45] **M. Mageswari, B. Vidivelli**, The use of sheet glass powder as fine aggregate replacement in concrete, *Open Civil Engineering Journal* 4 (2010) 65–71, <http://dx.doi.org/10.2174/1874149501004010065>.
- [46] **N. Degirmenci, A. Yilmaz, O. Cakir**, Utilization of waste glass as sand replacement in cement mortar, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences* 18 (2011) 303–308
- [47] **K.H. Tan, H. Du**, Use of waste glass as sand in mortar. Part I. Fresh, mechanical and durability properties, *Cement and Concrete Composites* 35 (2013) 109–117, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.028>
- [48] **S.B. Park, B.C. Lee, J.H. Kim**, Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate, *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 2181 – 2189, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.006>
- [49] **Y. Shao, T. Lefort, S. Moras, D. Rodriguez**, Studies on concrete containing ground waste glass, *Cement and Concrete Research* 30 (2000) 91 –100, [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00213-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00213-6).
- [50] **A. Khmiri, M. Chaabouni, B. Samet**, Chemical behaviour of ground waste glass when used as partial cement replacement in mortars, *Construction and Building Materials* 44 (2013) 74–80, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuild-mat.2013.02.040>
- [51] **A. Khmiri, B. Samet, M. Chaabouni**, A cross mixture design to optimise the formulation of a ground waste glass blended cement, *Construction and Building Materials* 28 (2012) 680– 686, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.032>.
- [52] **C. Shi, Y. Wu, C. Riefler, H. Wang**, Characteristic and pozzolanic reactivity of glass powders, *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 987 993, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.015>.
- [53] **N. Schwarz, H. Cam, N. Neithalath**, Influence of a fine glass powder on the durability characteristics of concrete and its comparison to fly ash, *Cement and Concrete Composites* 30 (2008) 486–496, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemcon-comp.2008.02.001>
- [54] **R. Nassar, P. Soroushian**, Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement, *Construction and Building Materials* 29 (2012) 368–377, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuild-mat.2011.10.061>.

- [55] **Ali A. Aliabdo, Abdelmoaty M. Abdelmoaty, Ahmed Y. Aboshama**, Utilization of waste glasspowder in the production of cement and concrete, *Construction and Building Materials* 124 (2016).
- [56] **J.M. Khatib, E.M. Negim, H.S. Sohl, N. Chileshe**, Glass powder utilization in concrete production, *Eur. J. Appl. Sci.* 4 (4) (2012) 173–176
- [57] **S.M. Chikhalikar, S.N. Tande**, An experimental investigation on characteristics properties of fibrereinforced concrete containing waste glass powder as pozzolona, in: 37th Conference on Our Worldin Concrete and Structures, Singapore, 2012
- [58] **R. Vandhiyan, K. Ramkumar, R. Ramya**, Experimental study on replacement of cement by glasspowder, *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2 (5) (2013). ESRSA Publications.
- [69] **N. Kumarappan**, Partial replacement cement in concrete using waste glass, *Int.J. Eng. Res.Technol.* 2 (10) (2013). ESRSA Publications.
- [60] **J.S. Dali, S.N. Tande**, Performance of concrete containing mineral admixtures subjected to hightemperature, in: 37th Conference on Our World in Concrete and Structures, Singapore, August, 2012
- [61] **D.M. Patil, K.K. Sangle**, Experimental investigation of waste glass powder as partial replacementof cement in concrete, *Int. J. Adv. Technol. Civ. Eng.* 2 (1) (2013).
- [62] **G. Vasudevan, S.G.K. Pillay**, Performance of using waste glass powder in concrete asreplacement of cement, *Am. J. Eng. Res.* 2 (12) (2013) 175–181.
- [63] **G. Vijayakumar, H. Vishaliny, D. Govindarajulu**, Studies on mechanical properties of concretecontaining waste glass powder as a partial replacement of cement in concrete, *Int. J. Emerg. Technol.Adv. Eng.* 3 (2)
- [64] **M.N. Bajad, C.D. Modhera, A.K. Desai**, Effect of glass on strength of concrete subjected tosulphate attack, *Int. J. Civ. Eng. Res. Dev.* 1 (2) (2011) 01 –13
- [65] **R. Vandhiyan, K. Ramkumar, R. Ramya**, Experimental study on replacement of cement by glasspowder, *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2 (5) (2013). ESRSA Publications
- [66] **S. Diamond**, A review of alkali–silica reaction and expansion mechanisms. 1. Alkalise in cementsand in concrete pore solutions, *Cement and Concrete Research* 5
- [67] **M.R. Farshad, M. Hamed, E.F.Gregor**, Investigating the alkali–silica reaction of recycled glassaggregates in concrete materials, *Journal of Materials in Civil*
- [68] **T.H. Panzera, P.H.R. Borges, A.L.R. Sabariz, F.P. Cota**, Recycled glass as potential aggregate forconcrete tiles: a statistical analysis of the physical and engineering properties, *International Journalof Environment and Waste Management.*

- [69] **H. Du, K.H. Tan**, Use of waste glass as sand in mortar. Part II. Alkali–silica reaction and mitigation methods, *Cement and Concrete Composites*
- [70] **D. Serpa, [70]Silva A. Santos, J. de Brito, J. Pontes, D. Soares**, ASR of mortars containing glass, *Construction and Building Materials* 47 (2013)
- [71] **A. Shayan**, Value-added utilization of waste glass in concrete, IABSE Symposium, Melbourne, 2002, pp. 1 –11
- [72] **A. Shayan, A. Xu**, Value-added utilisation of waste glass in concrete, *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 81 –89, [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00251](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00251)
- [73] **A. Shayan, A. Xu**, Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: a field trial on concrete slabs, *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 457–468, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.12.012>.
- [74] **B. Taha, G. Nounu**, Properties of concrete contains mixed colour waste recycled glass as sand and cement replacement, *Construction and Building Materials* 22 (2008) 713–720, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.019>
- [75]. **Suganthi ,P, Chandrasekar , D et Kumer ,S.P.K (2013)** Utilisation du plastique pulvérisé dans le béton de ciment comme agrégat un *International Journal of Research in Engineering and Technologie* , 2.1015-1018.
- [76]. **Williams , E A et Williams , P T (1997)** Analysis of products Derived from the Fast Paralysis of Plastic Waste *Journal of Analytical and Applied Paralysis* ,40, 347-363.
- [77]. **Zhao , R, Torley ,P and Halley P.J (2008)** Emerging Biodegradable Maternal , Starch and Proteins Based Bio-Nan composites. *Journal of Maternal Science* ,43.3058-3071.
- [78]. **BOWMER , T et KERSHAW ,P ,2010** , Proceedings of the GESAMP International Workshop on micro plastic particles as a vector in transporting persistent , bio- accumulating and toxic substances in the ocean . Paris : UNESCO-IOC.
- [79] : **M. Buyck**, ‘Gestion des déchets plastiques et détection de micro-déchets plastiques en station d’épuration en Wallonie’, mémoire de master, Université Gembloux, 2018.
- [80] **RAYAN P.G .MOORE CI ; VAN FRANKER I.A et MOLONEY C.L 2009** MONITORING the abundance of plastic debris in the marine environment *philosophical transactions of the Royal Society H .Biological sciences* 364,1999-2012.
- [81] : **B. Traore**, ‘ Elaboration et caractérisation d’une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés) : Amélioration de la résistance par des charges en argiles’, thèse de doctorat, Université de Félix Houphouët- Boigny, 30 novembre 2018

- [82] EPA .1991 plastic wastes : management , control ,recycling and disposal .Pollution technology review N0 201, naves Data corporation, , park ridge , NJ.
- [83] **K.S ZOOROB , L.B Suparma ,2000** .Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt) .cement δ concrete composite 22,233-242.
- [84] **F. K. Alqahtani, G. Ghataora, K.M. Iqbal, S. Dirar, A.Kioul et M. Al-Otaibi,** « Lightweight concrete containing recycled plastic aggregates », dans Proceedings of the International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT 2015), pp. 527-533, Zhuhai City, Chine, octobre 2015.
- [85] **M. A.B. Abdullah, S. Tamizi, A. Tamizi et Y. Zarina,** « Investigation of HDPE plastic waste aggregate on the properties of concrete », *Journal of Asian Scientific Research*, vol. 1, no 7, p. 340-345, 2011.
- [86] **T. Subramaniet V. Pugal,** « Experimental study on plastic waste as A coarse aggregate for structural concrete », *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAEM)*, vol. 4, no 5, pp. 144-152, 2015.
- [87]. **Saikia N, de Brito J.** Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Constar Build Mater* 2014;52:236–44
- [88]**Albano C, Camacho N, Hernandez M, Matheus A, Gutierrez A.** Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behaviour at different w/c ratios. *Waste Manag* 2009;29(10):2707–16.
- [89]**Akc,aözoglu˘ S, Atis, CD, Akc,aözoglu˘ K.** An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Manag* 2010;30(2):285–90.
- [90]**Marzouk OY, Dheilly RM, Queneudec M.** Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. *Waste Manag* 2007;27(2):310–8
- [91]**Frigione M.** Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Manag*
- [92]**Ismail ZZ , Al -Hashmi EA .**Use of plastic waste in concrete mixture as aggregate replacement .*Waste Manage* 2008,28,2041-7
- [93] **Choi YW , Moon DJ Kim YJ ? Lachemi M.** characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles .*Constar build mater* 2009,23,2829-35.

- [94] **Al-ManaseerAA ,Dalal TR.** concrete containing plastic aggregates concrete International 19(8) , 47-52.
- [95]**Guendouz M, Debieb F, Boukendakdji O, Kadri EH, BentchikouM etSoualhi H** (2016) Use of plastic waste in sand concrete. Journal of Materials and Environment Science 7: 382–389.
- [96] **Islam MJ, Meherier MS et Islam AKMR (2016)** Effects of waste pet as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete. Construction and Building Materials 125: 946–951.
- [97] **Marzouk OY , Dheilily RM , QueneudecM.** Valorisation of post-consumer plastic waste in cementations concrete composites .Waste Manage 2007; 27:310-8
- [98]**Kou SC , Lee G , Poon CS , Lai WL .**properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes waste manage 2009; 29:621-8.
- [99] **Silva RV, De Brito J and Saikia N (2013)** Influence of curing conditions on the durability related performance of concrete made with selected plastic waste aggregates. Cement and Concrete Composites 35: 23–31.
- [100] **Akçaözoğlu, S., Akçaözoğlu, K., Duran Atiş, C., 2013.** Thermal conductivity, compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementations composite containing waste PET lightweight aggregate (WPLA).
- [101] **Yazoghli, O., Dheilily, R.M., Quéneudec, M., 2005.** The valorisation of plastic waste: thermal conductivity of concrete formulated with PET
- [102] **Kou, S.C., Lee, G., Poon, C.S., Lai, W.W.L., 2008.** Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes 29.
- [103] **Batayneh M , Marie I , Asi I ,2007.**Use of selected waste materials in concrete mixes .Waste Management 27(12), 1870,1876.
- [104]**Hannawi K ,Kamali-Bernard S , Prince W .**Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregate .Waste Manage 2010;30;2312-20
- [105] **Guendouze Mohammed, M., 2017.** Contribution à la formulation et a la caractérisation d'un Eco-matériaux de construction à base de déchets plastique : application au béton de sable. (Doctorat). YAHIA FARÈS DE MÉDÉA
- [106] **Albano C , Moon DJ ,Kim YJ .** LachmiM. Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles .Constar build mater 009;23:2829-35.
- [107] **N, Yarahmadi , I.Jakubowicz , L.Martnsson ,2003.**PVC floorings as post-consumer products for mechanical recycling and energy recovery .

- [108] **Harini B et Ramana K V (2015)** Use of recycled plastic waste as partial replacement for fine aggregate in concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 4: 8596–8603.
- [109] **Manjunath BTA (2016)** Partial replacement of e-plastic waste as coarse aggregate in concrete. *Procedia Environmental Sciences* 35: 731–739
- [110] **Saikia N , de Brito J.** Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded pet waste bottle aggregate as a partial substitution of natural aggregate .cement δ concrete compos , submitted for publication.
- [111] **Martin-Alfonso J.E , Valencia C , Sanchez M.C .Franco J.M ,Gallegos C ,2007.** Development of new lubricating grease formulation using recycled LDPE as theology modifier additive .*European polymer Journal* 43(1) ,139-149.
- engineering Research ISSN No.5, Issue Special 1 pp : 304-307
- [113] **Irwan JM, Asyraf RM, Othman N, Koh HB, Annas MMK et Faisal SK (2013)** The mechanical properties of PET fiber reinforced concrete from recycled bottle wastes. *Advanced Materials Research* 795: 347–351.
- [114] **Pešić N, Živanović S, Garcia R et Papastergiou P (2016)** Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres. *Construction and Building Materials* 115: 362– 370
- [115] **Marthong C et Sarma DK (2015)** Mechanical behaviour of recycled pet fibre reinforced concrete matrix. *International Scholarly and Scientific Research and Innovation* 9:879–883.
- [116] **Chacko B et George S (2017)** Performance of concrete with pet fibres. *International Journal of Engineering Science Invention Research and Development* 3:725–728.
- [117] **Bhogayata AC et Arora NK (2017)** Fresh and strength properties of concrete reinforced with metalized plastic waste fibres'. *Construction and Building Materials* 146: 455–463
- [118] **Nibudey RN, Nagarnaik PB, Parbat DK et Pande AM (2014).** Compressive strength and sorptivity properties of pet fiber reinforced concrete. *International Journal of Advances in Engineering and Technology* 7: 1206-1216
- [119] **Shahidan S, Ranle NA, Zuki SSM, Khalid FS, Ridzuan ARM et Nazri FM (2018)** Concrete incorporated with optimum percentages of recycled polyethylene terephthalate (pet) bottle fiber. *International Journal of Integrated Engineering* 10: 1–8

- [120] **R. N. Nibudey, Dr P.B. Nagarnaik, Dr. D. K. Parbat, Dr. A.M. Pande** /International Journal of Recherche et applications en ingénierie (IJERA) Vol. 3, Numéro 1, janvier-février 2013, pp.1818-1825 .www.ijera.com.
- [121]**Ramadevi, K., et R. Manju.** « Étude expérimentale sur les propriétés du béton avec des fibres plastiques PET (bouteille) en tant qu'agrégats fins. » *International journal of emerging technology and advanced engineering* 2.6 (2012): 42-46.
- [122]**Kandasamy, R., &Murugesan, R. (2011).** Béton armé de fibres utilisant des déchets plastiques domestiques comme fibres. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(3), 75-82
- [123] **Borg RP, Baldacchino O et Ferrara L (2016)** Early age performance and mechanical characteristics of recycled pet fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials* 108: 29–47
- [124]**Taherkhani H (2014)**An investigation on the properties of the concrete containing waste pet fibres'. *International Journal of Science and Engineering Investigations* 3: 37-43.
- [125] **Mohammadhosseini H, Tahir MM et Sam ARM (2018)** The feasibility of improving impact resistance and strength properties of sustainable concrete composites by adding waste metalized plastic fibres. *Construction and Building Materials* 169: 223–236 *Advanced Materials Research* Vol. 795 (2013) pp 347-351 (2013) Trans Tech Publications, www.scientific.net/AMR.795.347
- [126] **Bui NK, Satomi T et Takahashi H (2018)** Recycling woven plastic sack waste and pet bottle waste as fibre in recycled aggregate concrete: An experimental study. *Waste Management* 78: 79–93
- [127]**Pešić N, Živanović S, Garcia R et Papastergiou P (2016)** Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres. *Construction and Building Materials* 115: 362– 370.
- [128] **Kim SB, Yi NH, Kim HY, Kim JHJ et Song YC (2010)** Material and structural performance evaluation of recycled PET fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Composite* 32 :232–240.
- [129] **Aswathy N et Abraham A (2016).** Experimental study on concrete with straight and crimped plastic fibres. *International Journal of Science and Research* 5: 1589–159

Chapitre III

Partie pratique

III.1.Introduction:

Cette partie est consacrée à la formulation de plusieurs variantes de mortier avec différents pourcentages de poudre verre (10% ; 20% et 30%) et déchet de plastique de forme de fibre langues (15 cm) avec des pourcentages de (1% ,2% et 3%). L'ensemble des variantes seront soumises aux essais physicomécaniques, telles que la détermination des masses volumiques et les résistances mécaniques en flexion et en compression à différents âges (7 jours et 14 jours et 28 jours), qui seront comparés à la variante témoins.

III.2.Les matériaux utilisés dans cette partie sont:

- ✓ Le sable de carrière de kaddara (0/3);
- ✓ Le ciment; II/A-M(P-L) 42,5 N
- ✓ L'eau potable du laboratoire ;
- ✓ Adjuvant Super plastifiant (SIKA visocrete 655) ;
- ✓ Poudre de verre ;
- ✓ Plastique (ruban d'emballage feuillards en polyester).

III.2.1.Ciment:

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment Portland composé CEM II/A-M (P-L) 42,5 N

III.2.1.1.Caractéristiques du ciment CEM II/A-M(P-L) 42,5 N

A).Descriptions du produit :

Ciment Portland composé. Dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques satisfont aux exigences du ciment selon la norme NA442/2013 [1].

B).Constituants principaux :

Les constituants principaux du ciment et les caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé sont présentés dans les tableaux III.1 et III.2 suivants :

Tableau III.1 :Les constituants principaux de ciment.

Composés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	CaO _I	PAFa 1000C°
%	20.06	03.99	03.04	61.57	1.62	0.54	0.26	0.06	<0.001	1.56	7.16

Tableau III.2: Représente les Caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé.

Surface spécifique g/cm	Consistance Normal (%)	Début de prise(min)	Fin de prise(min)
4000	26.11	151	322

II.2.2. La poudre de verre:

La poudre de verre est obtenue après le broyage de débris de verre ramassés dans un broyeur de la FSI. Un tamisage est réalisé en laboratoire pour obtenir une taille inférieure à 80 µm, le broyage dure plus d'une heure pour aboutir aux finesses désirées. La densité de cette poudre est de 2590 kg/m³ et la composition chimique de la poudre de verre est présentée dans le tableau III.3.



Figure III.1: Poudre de verre.

Les tableaux III.3 et III.4 illustrent les caractéristiques physiques et la composition chimique de la poudre de verre utilisée.

Tableau III.3 : Caractéristiques physiques de la poudre de verre.

Masse volumique absolue	2500 kg/m ³
Surface spécifique Blaine	SSB=de 2000 à 3600 cm ² /g
Couleur	Blanc grisâtre

Tableau III.4: Composition chimique de la poudre de verre.

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃
Teneur(%)	70.50	1.40	0.10	8.40	4.00	15.30	0.30

III.2.3. Déchet plastique(feillard de polyester) :

L'idée d'introduire des feillard en polyester vient dans le but de les valoriser et pour améliorer certaines caractéristiques mécanique (résistance à la flexion) de notre mortier, ce déchet est récupéré du chantier puis découper en fibres langues de dimensions (2*150) mm.

La Figure (III.2) présente un échantillon des déchets plastique utilisés



Figure III. 2 :Fibre de plastique.

III.2.4.L'eau de gâchage :

L'eau utilisée dans cette étude est l'eau potable du robinet.

III.2.5.Adjuvant « plastifiant » :

L'adjuvant utilisé est un Super plastifiant / Haut réducteur d'eau fabriqué par la société, Algérienne « SIKA-Algérie » (Voir l'annexe). Le SIKA viscocrete 655 (fiche technique dans l'annexe) de forme liquide de couleur marron, d'un PH égal à $5 \pm 0,01$, de densité $1,085 \pm 0,015$ et d'une teneur en chlore $< 1 \%$.

III.2.6.Sable :

Le sable de base de notre recherche provient : sable kaddara 0/3.

III.2.6.1.Masse volumique absolu : NF P 18-554 [2] :

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu

Mode opératoire :

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide du pycnomètre de capacité 1litre.
- Remplir un pycnomètre gradué avec un volume V1 d'eau jusqu'à 500ml.
- Peser un échantillon sec M de sable (et l'introduire dans pycnomètre en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- montre le pycnomètre avec le sable dans bain l'eau pendant 1 h, après remplir le pycnomètre jusqu'à intérieur de l'eau est mesure la masse m2.
- on pèse la même quantité de sable et le lavons ensuite un tamis 0.063 µm. puis le laissons sécher pendant 24h, et mesure la masse sable sèche en m³.

On calculer la masse volumique avec la relation suivante :

$$\rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \rho_w$$

M2= masse dans l'eau du panier contenant l'échantillon de granulat.M3 = masse dans l'eau du panier vide.

M4= masse de la pris d'essai sèche.

ρw = la masse volumique de l'eau .

Résultats : les résultats d'essai de masse volumique absolue sont mentionnés dans le tableau III.5 suivant :

Tableau III.5:Résultats des masses volumiques.

Masse dans l'eau du panier contenant l'échantillon de granulat	M2=1897.92g
Masse dans l'eau du panier vide	M3=1738.05g
Masse de la pris d'essai sèche	M4=240g
La masse volumique de l'eau.	ρw=0.9980 T/m³
La masse volumique absolu	ρa =2.99 T/m³

.III.2.6.2.Equivalent de sable Norme (NF P 18 -598) [3] :

Cet essai d'équivalent de sable permet, selon un processus normalisé, de quantifier la notion de propreté d'un sable.

A).But de l'essai :

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

B).mode opératoire :

- ✓ Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
Prendre une pesée de 120g
- ✓ Remplir l'éprouvette avec la solution lavant jusqu'au premier repère (10 cm).
- ✓ A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- ✓ Laisser reposer pendant **10** minute.
- ✓ Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de **20** cm de cours horizontale en **30** secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- ✓ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le **2ème** repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minute.
- ✓ Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h1 du niveau supérieur du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- ✓ Mesurer également avec la règle la hauteur h2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.
- ✓ On calculer équivalent de sable avec la relation suivant :

$$ESP = \frac{h2}{h1} * 100\%$$

Résultats : les résultats d'essai d'équivalent de sable sont mentionnés dans le tableau III.6suivant :

Tableau III.6:Résultats d'essai d'équivalent de sable.

Calcule et expression des résultats	Première éprouvette	Deuxième éprouvette
Masse des éprouvettes(g)	121	121
H1(mm)	124	123
H2(mm)	82	79.5
H2/h1*100	66.12	64.63
Vérification de l'essai:		1.49 <4
ES	65	

Pour le sable KADDARA : Sable légèrement argileux de propreté admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.

III.2.6.3. Teneur en eau : NF EN1097-5 (OCTOBER 2008) [4] :

Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25 %** de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

A) .Mode opératoire :

Peser un échantillon de sable humide, soit son poids ($M1 = 444.13$ g).

- Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de **105°C à 110 °C** pendant **24heurs** ($M2 = 440.98$ g).
- Peser l'échantillon de nouveau, soit $M3$ son poids.

$$W = \frac{M1 - M3}{M3} \%$$

Résultats : les résultats d'essai de teneur en eau sont illustrés dans le tableau III.7 suivant

:**Tableau III.7 :**Résultats d'essai de teneur en eau

Masse de prise de l'essai	444.13
La masse de la prise sèche	440.98
La teneur en eau	0.71

III.2.6.4. Analyse granulométrique : (NF P 18-560) [5]

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle comprend deux opérations :

- ✓ Tamisage.
- ✓ Sédimentation.

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau, elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

- ✓ En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeur croissante.

En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la fraction du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant) on constate que la courbe granulométrique

A) Mode opératoire :

- ✓ Prélever (**500 kg**) de matériau (sable sec).
- ✓ Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit m_i la masse du tamis.
- ✓ Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : **4-2-1-0.5-0.125-0.063**. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- ✓ Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant **10** minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- ✓ Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis1.
- ✓ Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- ✓ Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumuler du tamis2 ($R_2=R_1+\text{Refus partiel sur tamis}$).
- ✓ Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_3, R_4, \dots . Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante :

$$T = 100 - R_c.$$

Où : T: Tamisât en % et R_c : Refus cumulés en %

A) Analyse granulométrique sable KADDARA 0/3

Les résultats d'analyse granulométrique du sable de kaddra sont mentionnés dans le tableau III.8 ci-après.

Ouverture tamis (mm)	Masse de refus $R_i = R_{p1} + R_{p2}$	Masse de refus cumulé R_n	Refus cumulé %	Cumulé de tamisât %
5	0	0	0	100
4	24.50	24.50	4.9	95.1
2	128.36	152.86	30.57	69.43
1	99.12	251.98	50.39	49.61
0.5	58.70	310.68	62.13	37.87
0.25	46.34	357.02	71.40	28.6
0.125	99.80	456.82	91.36	8.64
0.063	30.40	487.22	97.44	2.56
Fond tamis	2.30			

Tableau III.8:Résultats d'analyse granulométrique du sable de keddara

. III.2.6.5. Module de finesse:

Le module de finesse (MF) d'un granulat peut aussi donner un aperçu sur le classement des échantillons de sable. Selon la Norme Française NF EN 933-1, le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 5 - 4- 2 - 1 - 0.5 - 0.25 - 0.125 - 0.063 mm. En général, le sable est classé selon la valeur du module de finesse MF. Il est classé comme suit :

MF = 1.8 à 2.2 : le sable est à majorité de grains fins,

MF = 2.2 à 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel,

MF = 2.8 à 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

D'après ces résultats, on calcule le module de finesse du sable : $MF = \frac{\sum \text{refus} (\%)}{100\%}$

100%MF = 3.53

Commentaire : notre sable est un peu grossier il faut corrige avec sable fin Boussaâda 0/1 .

B).Analyse granulométrique sable Boussaâda0/1:

Les résultats d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda sont mentionnés dans le tableau III.9 ci-après

Tableau III.9 :Résultats d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda.

Ouverture de Tamis	Masse de refus Ri=Rp1+Rp2	Masse de refus cumulé %	Refus cumulé %	Cumulés tamisât%
5	0	0	0	100
4	0.84	0.84	0.232	99.76
2	1.45	2.29	0.632	99.36
1	4.88	7.17	1.98	98.02
0.5	20.73	27.9	7.71	92.29
0.25	90.50	118.4	32.72	67.28
0.125	208.33	326.73	90.29	9.71
0.063	25.80	352.53	98	2
Fond tamis	0.59			

$$MF = \frac{\sum \text{refus}(\%)}{100\%} \implies MF = 1.33$$

$$S(G) = \frac{2.8 - 1.33}{3.53 - 1.33} * 100 = 66.81\%$$

$$S(f) = \frac{M(Sg) - MF(p)}{MF(Sg) - MF(Sf)} * 100$$

$$S(f) = \frac{3.53 - 2.8}{3.53 - 1.33} * 100 = 33.18\%$$

Pour effectuer la correction du sable, on prend 66.81% de sable KADDARA et 33.18% de sable Boussaâda.

c-Analyse granulométrique sable corrigé:

Tableau III.10: Résultats d'analyse granulométrique du sable corrigé.

Ouverture de tamis	Massederefus	Massederefus cumulé %	Refus cumulé%	Cumuléde tamisât%
4	23.48	21.03	4.23	95.77
2	123.51	144.54	29.12	70.88
1	98.37	242.91	48.94	51.06
0.5	52.58	295.49	59.53	40.47
0.25	44.34	339.83	68.47	31.53
0.125	99.57	433.4	87.32	12.68
0.063	26.51	459.91	93	7
Fond de tamis	0.81			
Mf	2.9			

D.la courbe granulométrique:



Figure III.3 : Courbe d'analyse granulométrique du sable.

II.3. Formulation de composite:

Les formulations réalisées sont effectuées selon les conditions suivantes:

- ✓ . Au début on détermine la consistance normale et on fixe le rapport $E/C=0.50$.
- ✓ On va couper les déchets de plastique à des morceaux avec une épaisseur de 2 mm et de longueur de 15 cm.
- ✓ On considère que : tous les pourcentages (Eau, Poudre de verre, déchet de plastique) sont par rapport à la quantité du ciment de la composition concernée.

Les mélanges préparés sont comme suit :

Mélange 1 : (témoin), Pâte pure en mortier, avec un rapport ($E/C=0.50$).

Mélange 2 : constitué de mortier avec ajouts de poudre de verre de teneur de 10 % avec pourcentage du feuillard en plastique de 1%.

Mélange 3 : constitué de mortier avec ajouts de poudre de verre de teneur de 20 % avec pourcentage du feuillard en plastique de 2%

Mélange 4 : constitué de mortier avec ajouts de poudre de verre de teneur de 30 % avec pourcentage du feuillard en plastique de 3 %.

Tableau III. 11 : Composition massique des variantes étudiées.

	Témoins	Variante 1 (10% PV + 1FP)	Variante 2 (20% PV + 2% FP)	Variante 3 (30% PV + 3% FP)
	Quantités(g)			
Ciment	450	405	360	315
Sable	1350	1350	1350	1350
E/C	0,5	0,5	0,5	0,5
Adjuvant	0,8	0,8	0,8	0,8
Poudre de verre	0	45	90	135
Fibres Plastiques	0	2,6	5,2	7,6

III.3.1. Préparation, confection et conservation des variantes d'études Mode opératoire :

Le mode opératoire a été réalisé au moyen d'un malaxeur automatique, axe verticale, à trois vitesses et de capacité de cinq (5) litre. La confection du ciment, poudre de verre et les super plastifiant est comme suite:

- ✓ Mettre le malaxeur en marche sur la première vitesse;
- ✓ Verser la quantité d'eau (80%de quantité d'eau);
- ✓ Verser le ciment +poudre de verre;
- ✓ Malaxerpendant30savitessefaible



Figure III.4:Malaxeur de mortier.

- ✓ Verser la quantité de sable et la quantité de adjuvant 20% et malaxeur pendant 30 sa vitesse faible.
- ✓ Arrêter le malaxage et racler les côtés pendant30s;
- ✓ Mettre le malaxeur en deuxième vitesse rapide et malaxe rpendant 60s;
- ✓ Arrête déterminer le malaxage;
- ✓ Verser le mortier dans des moule sprismatiques(4×4×16) cm³.



FigureI II.5:Fabrication et conditionnement des éprouvettes.

- ✓ Utiliser la table vibrante (table des chocs) pendant 10 seconds.
- ✓ A la fin d'essai, les moules sont conservés dans les conditions du laboratoire ($T=30\pm 2^{\circ}\text{C}$) et une humidité relative (HR) de $(65\pm 5\%)$ durant 24h, on effectue après l'opération de démoulage de 36 éprouvettes, 09 éprouvettes pour chaque variante.

Les éprouvettes seront numérotées par rapport aux jours des essais physico-mécaniques prévus (7, 14 et 28 jours après le démoulage différentes variantes, voir la figure IV.6).

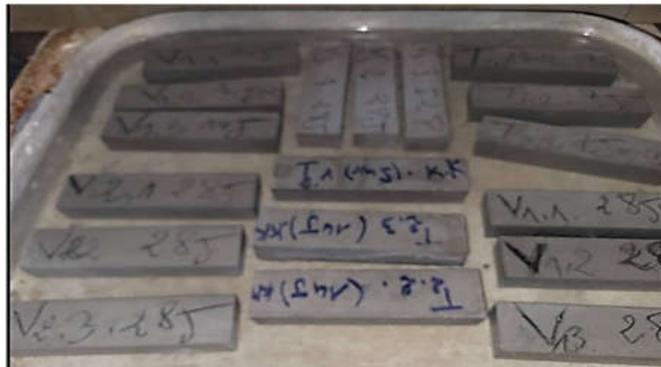


Figure III. 6 : Numérotation des éprouvettes après l'opération de démoulage

Mélange 2 : 10% PV et 1% de FP.

Les variantes contenant la poudre de verre et les fibres plastiques, sont préparées selon la procédure suivante :

- ✓ Préparer les surfaces intérieures des moules (nettoyage, huilage, serrage).
- ✓ Peser les quantités totales nécessaires pour le Mélange (ciment, sable, eau, FP, PV).
- ✓ Mettre le malaxeur en marche sur la première vitesse ;
- ✓ Verser la quantité d'eau (80% de quantité d'eau) ;
- ✓ Verser le ciment + poudre de verre ;
- ✓ Malaxer pendant 30s à vitesse faible ;
- ✓ Verser la quantité de sable et la quantité de adjuvant 20 % et malaxer pendant 30 s à vitesse faible ;
- ✓ Arrêter le malaxage et racler les côtés pendant 30 s ;

- ✓ Mettre le malaxeur en deuxième vitesse rapide et malaxer pendant 60s ;
- ✓ Arrêter et terminer le malaxage ;
- ✓ Mettre les fibres plastiques langues sur le fond du moule ;
- ✓ Mettre le mélange dans les moules.

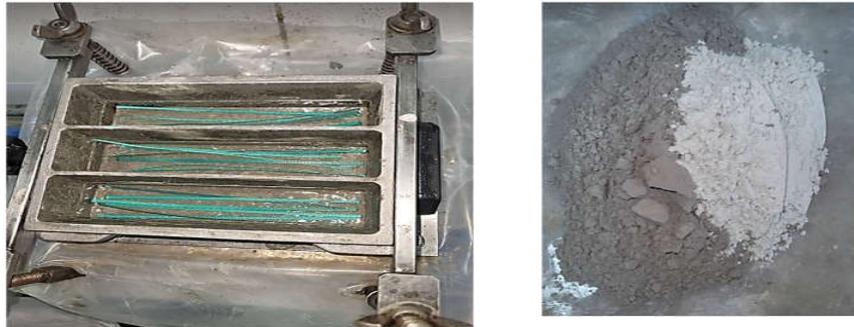


Figure III. 7:Elaboration des éprouvettes avec fibre de plastique et poudre de verre

III.3.2.Les quantités des constituants de mortier pour une moule (4×4×16) cm³ :

III.3.2.1.Pour la variante (Témoin):

Les paramètres retenus pour la formulation sont comme suit :

- $\frac{E}{C}=0.5$
- Ciment : 450 Kg / m³.
- Eau : 225 Kg / m³
- Adjuvant 0.8% de poids de ciment = 3.6 kg /m³

III.3.2.2.Pour le mortier avec poudre de verre et fibre de plastique :

A) Pour la variante (10% PV+ 1% FP)

- Poudre de verre : $X1 = 450 \times 10\% = 45\text{gr}$
- Ciment = $450 - 45 = 405\text{ gr}$
- Eau : 202.5gr
- Adjuvant : $405 \times 0,8\% = 3.24\text{ gr}$
- Fibre de Plastique = 2.6 gr .

B) Pour la variante (20% PV+2% FP)

- Poudre de verre : $X2=450 \times 20\% = 90\text{ gr}$
- Ciment : 360gr
- Eau : 180 gr
- Adjuvant : 2.88 gr
- fibre de plastique 5.2 gr

C) Pour la variante (30% PV + 3% FP)

- Verre: $X3=450 \times 30\% = 135\text{gr}$
- Ciment : 315 gr
- Eau : 157.5 gr
- Adjuvant: 2.52g
- Fibre de Plastique = 7.68gr

III.4. Essais physiques;

III.4.1. Essai de la masse volumique

L'essai consiste de déterminer la masse volumique apparente des poudres (de verre et de ciment) d'un côté, les masses volumiques apparentes à l'état durci des éprouvettes par rapport à leur volume ($4 \times 4 \times 16$) cm³, par rapport aux jours (7, 14 et 28 jours). La relation suivante définit l'équation générale de la masse volumique.

$$Mv = \frac{M}{v} \text{ avec } Mv: \text{kg/m}^3.$$

III.4.1.1. La masse volumique apparente (la masse volumique apparente des poudres):

L'essai de la masse volumique apparente des poudres est défini comme la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

III.4.1.1.1. Principe d'essai:

Savoir la différence de la masse volumique de ciment et de poudre de verre utilisés en tenant compte le volume des vides qui se trouvent dans les deux poudres étudiées.

A) . Mode opératoire de l'essai

- Prendre l'échantillon dans les deux mains.
- Verser l'échantillon toujours au centre du récipient, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône, raser à la règle et Peser le contenu.
- Calculer la masse volumique apparente à partir de la formule suivante :

$$Mv_{ap} = \frac{(MT - M0)}{V}$$

- $M0$: La masse du récipient de mesure vide.

- MT : La masse du récipient avec la poudre.

V : le volume du récipient de mesure

B) .Les résultats d'essai:

Les résultats sont résumés dans le tableau III.12 suivant :

Tableau III.12:Résultats d'essais physique sur les déchets utiliser.

Les poudres étudiées	Mapp poudres×10-3 (Kg)	Volume de récipient ×10-6(m ³)	Masse volumique apparente(Kg/m ³)
Poudre de verre	105	50	2100
Fibre de plastique	0.21	0.204	1029

III.4.2.1.Les masses volumiques apparentes des éprouvettes à 7, 14 et28 jours (l'étatdurci):

L'essai consiste à mesurer les masses volumiques apparentes de différentes variantes étudiées des éprouvettes réalisées selon leur numérotation, obtenues à 7, 14 et à 28 jours. Dont on mesure le poids de chaque éprouvette par rapport à son volume (Volume d'éprouvette = 265×10-6 m³). Les résultats sont résumés dans le tableau III. 13 et la figure III.8 ci-dessous

Tableau III. 13 : Les masses Volumiques apparentes des différentes variantes à 7, 14 et 28jours.

Variantes	Pour 7 jour			Pour 14 jour			Pour 28 jour					
	N°	La masse <10-3(Kg)	Mv (Kg/m ³)	Mv moy (Kg/m ³)	N°	La masse <10-3 (Kg)	Mv (Kg/m ³)	Mv moy (Kg/m ³)	N°	La masse <10-3(Kg)	Mv (Kg/m ³)	Mv moy (Kg/m ³)
Témoïn	1	590.6	2307.03	2037.93	1'	577.6	2256.25	2253.64	1''	583.1	2277.73	2277.73
	2	593.3	2317.57		2'	576.6	2248.43		2''	584.9	2284.76	
	3	588.6	2299.21		3'	577.6	2256.25		3''	581.3	2270.70	
Variante 1: 10% PV et 1% FP	4	573.9	2241.79	2265.49	4'	571.2	2231.25	2204.42	4''	575.5	2248.04	2255.46
	5	580.2	2265.62		5'	561.8	2194.53		5''	578.1	2258.20	
	6	586	2289.06		6'	560.3	2187.5		6''	578.6	2260.15	
Variante 2 : 20% PV et 2% FP	7	567.6	2217.18	2223.04	7'	562.8	2198.43	2220.04	7''	570.6	2228.90	2231.63
	8	569.8	2225.78		8'	571.6	2230.46		8''	568.8	2221.87	
	9	569.9	2226.17		9'	571.2	2231.25		9''	574.5	2244.14	
Variante 3 : 30% PV et 3% F" P	10	562.8	2198.43	2225.90	10'	568.6	2221.09	2210.15	10''	561.8	2194.53	2190.75
	11	575.5	2248.04		11'	559.4	2185.15		11''	562.2	2196.09	
	12	571.2	2231.25		12'	569.4	2224.21		12''	558.5	2181.64	

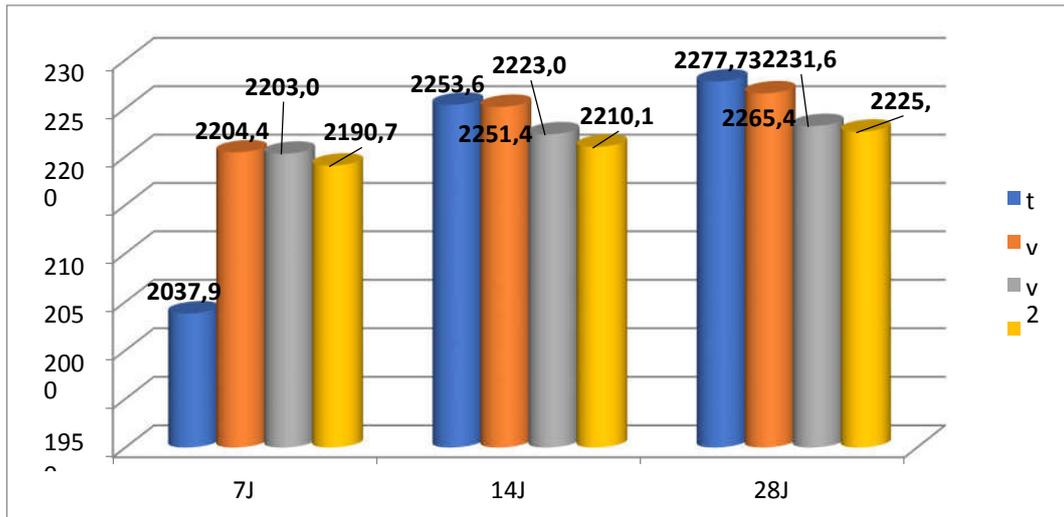


Figure III. 8 : Les masses volumiques des variantes étudiées à 7, 14 et 28 jours

Remarques:

- a) Les résultats obtenus dans la figure III.8 montrent une diminution des masses volumiques des variantes (10%PV +1%FP, 20%PV+2% FP et 30%PV +3% FP) par rapport à la variante témoin.
- b) Les résultats de la figure III.8 montrent une augmentation des masses volumiques dans les mêmes variantes en fonction de l'âge.

III.5.L'essai mécanique :

L'essai de résistance à la traction par flexion (trois points) et de la résistance à la compression.

III.5.1.Résistance à la traction par flexion:

. Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de 50 N/s ± 10 N/s, jusqu'à rupture. Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression.



Figure III. 9 : Essai de flexion.

La résistance en flexion R_f (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{1.5 pl}{b^3}$$

Où :

- **R_f** : la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.
- **B** : le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.
- **F_f** : la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.
- **l** : est la distance entre les appuis, en millimètres.

III.5.2. Résistance en compression:

Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0.5 mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm Augmenter la charge avec une vitesse providence durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture).

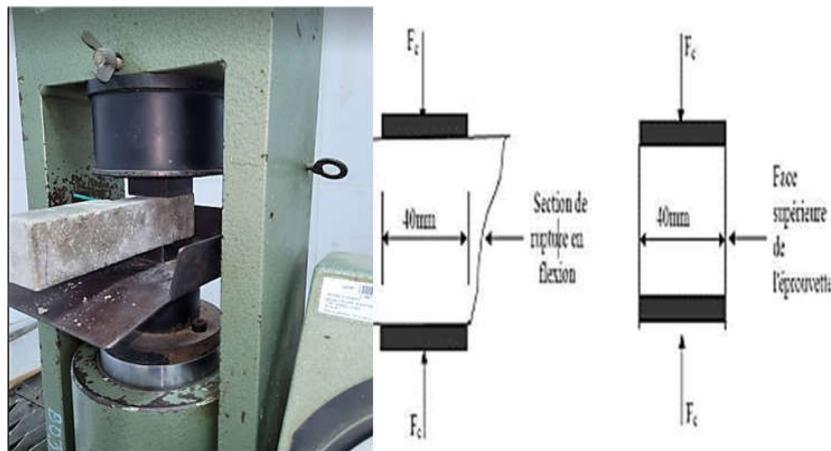


Figure III.10 :Essai de compression

La résistance en compression R_c (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

ou :

- **R_c** : Résistance en compression (MPa).
- **F_c** : Charge de rupture (N).
- **b** : Côte de l'éprouvette est égale à 40 mm.

III.5.3.Résultats d'essai

III.5.3.1.L'écrasement à 7jours

Les résultats de l'essai de résistance à la flexion et en compression de différentes variantes étudiées à 7jours sont résumés dans le tableau III.14 montré ci-dessous.

Tableau III.14 :Résultats des différentes variantes étudiées à 7jours.

Variantes	N°	La masse volumique(Kg/m ³)	Rf(MPa)	Rf moyenne(MPa)	Rc(MPa)	Rc moy(MPa)
Témoin	1	2307.03	7.73	6.71	35	35.20
	2	2317.57	6.32		35.62	
	3	2299.21	6.09		35	
Variante 1 10%PV+1%FP	4	2241.79	9.37	9.70	33.75	29.54
	5	2265.62	9.37		21.75	
	6	2289.06	10.37		33.125	
Variante2: 20%PV+2%FP	7	2217.18	9.14	11.32	23.12	21.87
	8	2225.78	12.65		18.75	
	9	2226.17	12.18		23.75	
Variante3: 30%PV+3%FP	10	2198.43	7.96	7.96	21.25	21.41
	11	2248.04	8.43		23	
	12	2231.25	7.5		20	

III.5.3.2.L'écrasement à 14jours

Les résultats d'essai de résistance à la flexion et en compression de différentes variantes étudiées à 14 jours sont résumés dans le tableau.III.15 montré ci-dessous :

Tableau III.15 :Résultats des différentes variantes étudiées à 14jours.

Variantes	N°	La masse volumique(Kg/m ³)	Rf(MPa)	Rf moy(MPa)	Rc(MPa)	Rc moy(MPa)
Témoin	1	2256.25	9.14	9.45	35	35.20
	2	2248.43	9.84		35.62	
	3	2256.25	9.37		35	
Variante 1 :10%PV+1%FP	4	2231.25	12.65	11.73	33.75	26.20
	5	2194.53	11.71		21.75	
	6	2187.5	11.02		33.125	
Variante2: 20%PV+2%FP	7	2198.43	12	12.37	23.125	21.87
	8	2230.46	13.12		18.75	
	9	2231.25	12		23.75	
Variante3: 30%PV+3%FP	10	2221.09	8.43	11.08	21.25	21.45
	11	2185.15	11.71		21.10	
	12	2224.21	13.125		22	

III.5.3.3.L'écrasement à 28jours :

Les résultats d'essai de résistance à la flexion et en compression de différentes variante étudiées à 28 jours sont résumés dans le tableau.III. 16montré ci-dessous :

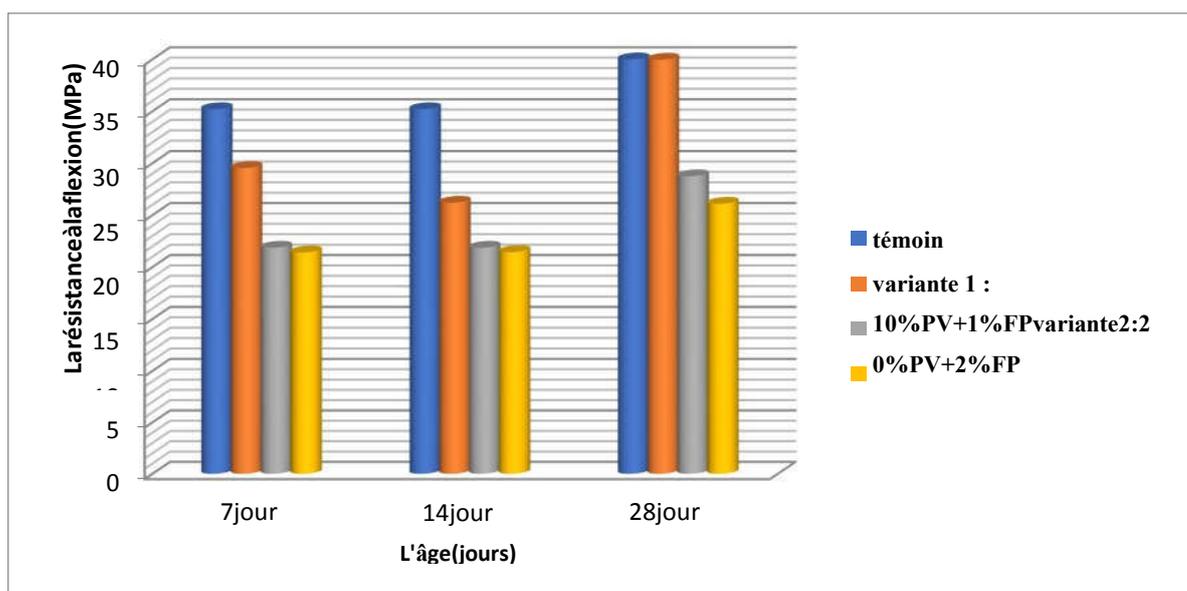
TableauIII.16 :Résultats des différentes variantes étudiées à 28Jours.

Variantes	N ^o	La masse volumique(Kg/m ³)	Rf (MPa)	Rfmoy n(MPa)	Re* (MPa)	Rmoy (MPa)
Témoin	1	2277.73	9.37	9.68	40	40
	2	2284.76	9.84		40	
	3	2270.70	9.84		40	
Variante 1 :10%PV+1%FP	4	2248.04	11.90	11.96	38.125	39.97
	5	2258.20	11.98		40	
	6	2260.15	12		41.79	
Variante2: 20%PV+2%FP	7	2228.90	14.53	14.56	28.75	28.75
	8	2221.87	14.65		28.75	
	9	2244.14	14.52		28.75	
Variante3: 30%PV+3%FP	10	2194.53	14.53	15.18	27	26.10
	11	2196.09	15.06		27.33	
	12	2181.64	15.96		24.02	

III.5.3.4.Résultats d'essai par rapport aux âges (7,14et28jours) :

Les moyennes de résistance à la flexion et à la compression par rapport à 7, 14 et 28 jours ,les résultats sont résumés dans les figures III.11 et III.12montrés ci-dessous :

FigureIII. 11 :Résistance en flexion des variantes étudiées à 7, 14 et 28jours.



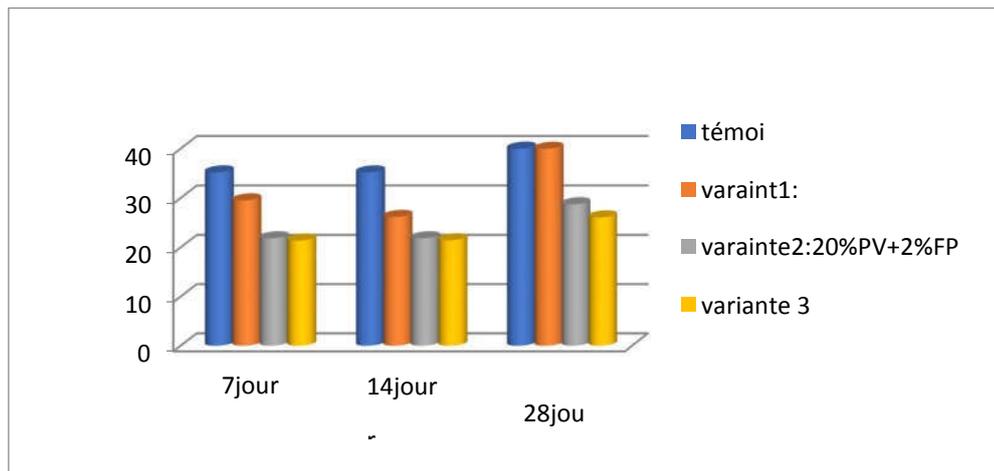


Figure III.12: Résistance en compression variantes étudiées à 7, 14 et 28 jours.

Remarques:

D'après les résultats d'essais de flexion sur les éprouvettes élaborées, on note qu'une amélioration de la résistance à la flexion en fonction de l'augmentation des pourcentages de fibres plastique (1 et 2 % et 3%).

La résistance à la compression, à l'âge de 28 jours augmente avec l'augmentation des pourcentages de poudre de verre. Cette croissance est confirmée aussi par la littérature, car la poudre de verre améliore la résistance à la compression, on peut dire que dans notre travail nous arrivons à améliorer la résistance à la compression du mortier par l'augmentation de pourcentage de poudre de verre.

Les résultats obtenus dans les figures III.11 montrent aussi une augmentation de résistances en flexion au cours du temps, respectivement (7, 14 et 28) jours pour chaque variante étudiée.

Interprétation des résultats ;

D'après la figure (III.11) on observe une diminution de la résistance à la flexion pour la teneur de (2 % FP+20 % PV) et (3 % FP+30 % PV) par rapport (1 % FP+10 % PV).

D'après les tableaux (III.13), on remarque que la résistance à la compression est inférieure à la résistance des éprouvettes témoins pour toutes les mélanges élaborés. Ceci peut être expliqué par l'intégration des fibres plastiques et l'ajout de poudre de verre dans le mortier.

D'après la figure (III.12), on remarque que la résistance à la compression à l'âge de 28 jours augmente avec l'ajout de fibre plastique et poudre de verre, de 15.78 MPa pour la composition mortier 1 % FP et 10 % PV à MPa. Cela est expliquée par l'incorporation de poudre de verre et fibres plastiques et aussi par l'augmentation de pourcentage de poudre de verre de 10 % à 20 % à 30 %

Conclusion du chapitre III:

Dans ce chapitre nous avons fait plusieurs essais sur plusieurs types d'éprouvettes qui sont : mortier témoins ; mortier + 30 % PV+ 3 % FP ; mortier + 10 % PV+ 1 % FP ; mortier + 20 % PV+ 2 % FP ; et on a fait les essais sur le comportement de différentes éprouvettes et on arrive aux conclusions suivantes :

- L'incorporation des fibres plastiques améliore la résistance à la flexion.
- L'incorporation de poudre de verre améliore la résistance à la compression avec l'augmentation de pourcentage de cette dernière.
- Le mélange entre les différents pourcentages de poudre de verre et les fibres plastiques améliore les deux types de comportement (compression + flexion).
- Les résultats de la résistance à la flexion montrent l'avantage d'introduire des fibres plastiques dans le mortier.

Références bibliographiques chapitre 3

- [1] Arrêté interministériel du 26 Rabie El Aouel 1437 correspondant au 7 janvier 2016 portant adoption du règlement technique relatif aux « ciments courants »
- [2] NORMEN FEN 1097-6 (4 janvier 2014) réf: E.M-G/6
- [3] NORMEN FEN 933-8+A1 (mars 2015) réf: E.M-G/1
- [4] NORMEN FEN 1097-5 (octobre 2008) NA451 (2005) réf: E.M-G/2
- [5] ANALYSE GRANULOMETRIQUE NORMEN FEN 933-1 (mai 2012) réf: E.M-G/3

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre Projet de recherche s'inscrit dans le cadre de valoriser les déchets de verre et les déchets plastiques dans le matériau mortier.

L'objectif principal de ce travail est de développer les caractéristique physique et mécanique d'un mortier, par le recyclage des déchets (poudre de verre et les déchets plastiques), et contribuer dans le mortier, pour formuler un composite.

Les résultats obtenus au cours de ce travail mènent aux conclusions suivantes :

- L'utilisation des déchets de verre et déchet plastique dans l'industrie de la construction peut offrir une solution respectueuse de l'environnement pour ces déchets, et participereffectivement à la gestion de ce type de déchet.
- Les fibres plastique améliorent, d'une façon très significatives la résistance à la flexion.
- Le mélange des déférents pourcentages de poudre de verre et les fibres plastiques aidentà obtenir des meilleurs résultats (compression flexion).
- L'utilisation des déchets plastiques et de verre dans le mortier peuvent être très importants et souhaitable à cause des bénéfices environnementaux par l'élimination deces déchets dans la nature et économique par la réduction de coût du mortier.

On conclut que l'ajout des déchets de verre et déchets plastiques au mortier a un effet positif sur son comportement physico-mécanique, qu'est l'objectif principal de ce travail



NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete®-665

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete®-665 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique. Sika® ViscoCrete®-665 est compatible avec tous les ciments même avec un taux C3A faible.

DOMAINES D'APPLICATION

Sika® ViscoCrete®-665 permet la fabrication :

- de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- de bétons à longs maintiens de rhéologie (>2h30), sans reprise de fluidité dans le temps.

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete®-665 est un superplastifiant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- Longue rhéologie (>2h30)
- Evolution rapide des résistances à court et à long terme
- Réduction de la viscosité Amélioration de la stabilité du béton frais et limitation de la ségrégation avec des granulats concassés
- Pas de reprise de fluidité dans le temps
- Qualité de parement
- Diminution du retrait
- Très bonne étanchiéité

AGRÉMENTS / NORMES

PV CNERIB : DTEM/171/2021

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	Fût de 200 kg Cubi de 1000 kg Vrac
Aspect / Couleur	Liquide marron
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact
Conditions de Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Sika® ViscoCrete®-665 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Densité	1,085 ± 0,015
Valeur pH	5 ± 1,0
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0,1%
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 1,0%

Notice produit
Sika® ViscoCrete®-665
Décembre 2021, Version 01.03
021301011000002749

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	0,4 à 2% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.
Distribution	Sika® ViscoCrete®-665 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

RESTRICTIONS LOCALES

Veuillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le

droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA
08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dza.sika.com



Notice produit
Sika® ViscoCrete®-665
Décembre 2021, Version 01.03
021301011000002749

2 / 2

SikaViscoCrete-665-fr-DZ-[12-2021]-1-3.pdf

