



République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique  
Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement  
Technologique-Skikda



Département de Technologie  
Filière : Génie civil

Mémoire  
Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de professeur d'enseignement  
Secondaire technique  
Thème :

## Substitution de sable de carrière avec un sable de brique dans le béton ordinaire

Présenté par : DJEBAH Abd el moktadir  
MEDIANI Mohammed Abdellah  
MAMOUNI Bachir

Jury de Soutenance :

Nom et prénom	Grade	Université	Role
DOB Hanane	MCB	ENSET-Skikda	Président
MOUDJARI Maroua	MCB	ENSET-Skikda	Encadrant
BISKRI Yasmina	MCA	ENSET-Skikda	Examineur

Année universitaire : 2023/2024

## Remerciement

Nous remercions ﷻ Tout-Puissant de nous avoir accordé le succès dans la réalisation de notre mémoire scientifique.

Nous exprimons également nos plus profonds remerciements et gratitude au Dr MOUDJARI Maroua, qui a aimablement acceptée de superviser notre mémoire, et qui nous a donnée de son temps précieux et de la mer de ses informations et de ses expériences approfondies, ce qui a constitué un excellent ajout à la recherche de ce Travail, car ses conseils et ses orientations ont été le phare que nous avons utilisés tout au long de notre travail de recherche, je demande donc à ﷻ que le Tout-Puissant la récompense de la meilleure des récompenses.

Merci aux distingués membres du comité de discussion, Dr DOB Hanane et Dr BISKRI Yasmina, d'avoir aimablement accepter de discuter notre mémoire.

Nous remercions également tous les travailleurs du laboratoire LTPE de Skikda.

Merci à tous ceux qui nous ont accompagnés de près ou de loin.

## DÉDICACES

*À ceux qui ont une biographie parfumée et une pensée éclairée ;*

*Ils ont été les premiers à nous aider à poursuivre des études supérieures*

*(Nos chers parents), que Dieu prolonge leur vie.*

*À Celui qui nous a mis sur le chemin de la vie et nous a rendus fermes,*

*Elle a pris soin de nous jusqu'à ce que nous devenions adultes*

*(Nos chères mères), que Dieu prolonge leur vie.*

*À nos frères ; Qui a eu un grand impact sur de nombreux obstacles et*

*difficultés.*

*À tous nos estimés professeurs ; Qui n'ont pas hésités à nous tendre la*

*main*

*À tous ceux qui aiment la science et s'efforcent de la diffuser et de la*

*développer.*

*Nous vous dédions cette recherche à l'occasion de notre remise des*

*diplômes de l'Ecole Supérieure d'Enseignement Technologique*

*-Skikda-*

## Résumé

La tendance actuelle dans le monde est de trouver des nouveaux matériaux respectueux de l'environnement et à moindre coût pouvant garantir des meilleures performances lors de leurs incorporations dans les bétons. Parmi ces matériaux on trouve le béton avec sable recyclés, qui est devenue l'objet des plusieurs chercheurs depuis quelques années.

Le recyclage des déchets a devenu aujourd'hui la bonne solution qui peut offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent dans le processus de la construction dans le domaine de génie civil et ainsi pour protéger l'environnement.

La procédure expérimentale mise en place vise à déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats recyclés (sable de brique), et à étudier les propriétés des bétons fabriqués à partir de ces granulés.

Pour mener à bien cette étude, nous avons introduit ces déchets avec un taux de substitution de 30%, 50%, 70% et 100%, et étudié le développement des propriétés de ces bétons à l'état frais (l'ouvrabilité) et à l'état durci (résistance mécanique à l'âge de 7 et 28 jours.).

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de conclure que l'utilisation des déchets de brique est très avantageuse dans les bétons soit à l'état frais ou à l'état durci, permet d'améliorer les caractéristiques physicomécaniques des bétons à base de 30% d'agrégat recyclé.

**Mots clés** : Valorisation, Déchets de brique, Granules naturels, résistance mécanique.

## Abstract

The current trend in the world is to find new environmentally friendly and lower cost materials that can guarantee better performance when incorporated into concrete. Among these materials we find concrete with recycled sand, which has become the subject of several researchers in recent years.

Waste recycling has today become the right solution that can offer new renewable and sustainable resources that contribute to the construction process in the field of civil engineering and thus to protect the environment.

The experimental procedure implemented aims to determine the physical and mechanical characteristics of recycled aggregates (brick sand), and to study the properties of concrete made from these granules.

To carry out this study, we introduced these wastes with a substitution rate of 30%, 50%, 70% and 100%, and studied the development of the properties of these concretes in the fresh state (workability) and in the hardened state (mechanical resistance at the age of 7 and 28 days.).

The results obtained in this experimental study allow us to conclude that the use of brick waste is very advantageous in concretes either in the fresh state or in the hardened state, makes it possible to improve the physic mechanical characteristics concretes based on 30% recycled aggregate.

**Keywords:** Recovery, Brick waste, Natural granules, mechanical resistance.

## ملخص

إن الاتجاه الحالي في العالم هو إيجاد مواد جديدة صديقة للبيئة ومنخفضة التكلفة يمكنها ضمان أداء أفضل عند دمجها في الخرسانة. ومن بين هذه المواد نجد الخرسانة ذات الرمل المعاد تدويره التي أصبحت موضوع العديد من الباحثين في السنوات الأخيرة.

لقد أصبح إعادة تدوير النفايات اليوم هو الحل الصحيح الذي يمكن أن يوفر موارد جديدة متجددة ومستدامة تساهم في عملية البناء في مجال الهندسة المدنية وبالتالي حماية البيئة.

يهدف الإجراء التجريبي الذي تم تنفيذه إلى تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للركام المعاد تدويره (الطوب الرملي)، ودراسة خواص الخرسانة المصنعة من هذه الحبيبات.

وللقيام بهذه الدراسة قمنا بإدخال هذه المخلفات بنسبة إحلال 30%، 50%، 70%، 100%، ودراسة تطور خواص هذه الخرسانة في الحالة الطازجة (قابلية التشغيل) وفي الحالة المتصلبة (المقاومة الميكانيكية عند عمر 7 و28 يوماً).

النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة التجريبية تسمح لنا أن نستنتج أن استخدام مخلفات الطوب مفيد للغاية في الخرسانة سواء في الحالة الطازجة أو في الحالة المتصلبة، مما يجعل من الممكن تحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية على أساس 30% الركام المعاد تدويره.

**الكلمات المفتاحية:** إعادة تدوير، مخلفات الطوب، الحبيبات الطبيعية، المقاومة الميكانيكية.

## TABLE DE MATIERE

Remercîment .....	I
DÉDICACES .....	II
Résumé .....	III
Abstract .....	IV
ملخص .....	IV
TABLE DE MATIERE .....	VI
Liste des figures .....	IX
Liste des tableaux .....	XI
Liste des schémas .....	XIII
Introduction générale.....	1
<b>CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>4</b>
Introduction .....	5
1.1 Historique.....	5
1.2 Définition .....	5
1.3 Méthode de formulation du béton .....	6
1.4 Constituants du béton.....	6
1.4.1 Le ciment .....	6
1.4.2 Les granulats .....	9
1.4.3 L'eau de gâchage.....	11
1.4.4 Les adjuvants .....	11
1.5 Caractéristiques principales du béton.....	11
1.5.1 L'état frais .....	11
1.5.2 L'état durci .....	12
1.6 Les différents types du béton .....	13
1.6.1 Béton ordinaire (Bo) .....	13
1.6.2 Les bétons spéciaux .....	13
1.7 Principaux avantage et inconvénient du béton .....	15
1.7.1 Avantage du béton .....	15
1.7.2 Inconvénients du béton .....	15
1.8 Domaine d'utilisation du béton .....	15
1.9 Conclusion.....	16
<b>CHAPITRE 2 : DIFFERENTS TYPES DE DECHETS .....</b>	<b>17</b>
Introduction .....	18
2.1 Définitions des déchets .....	18
2.2 Origine de la production de déchets .....	18
2.3. Différents types de déchets .....	18
2.3.1 Déchets ultimes .....	18
2.3.2 Déchets ménagers et assimilés .....	19

2.3.3 Déchets organiques .....	19
2.3.4 Déchets verts .....	19
2.3.5 Déchets industriels banals (DIB).....	19
2.3.6 Déchets dangereux .....	19
2.3.7 Déchets inertes .....	20
2.4 Classification des déchets .....	20
2.5 Déchets utilisés en génie civil .....	21
2.5.1 Les déchets utilisés comme granulats du béton .....	21
2.5.1.1 Déchets de démolition.....	21
2.5.1.2 Déchets de production de l'industrie du béton .....	22
2.5.1.3 Laitiers .....	22
2.5.1.4 Brique et déchets de brique .....	24
2.5.1.5 Marbre et déchets de marbre .....	28
2.5.1.6 Verres et déchets de verres .....	31
2.5.1.7 Céramique et déchet de céramique.....	35
2.5.1.8 Plastiques et déchets plastiques.....	39
2.5.2 Déchets pour liants hydrauliques .....	41
2.5.2.1 Ciments au laitier .....	41
2.5.2.2 Ciments aux cendres .....	42
2.5.2.3 Autres types de déchets utilisés en cimenterie .....	42
2.6 Conclusion.....	43
<b>CHAPITRE 3 : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES .....</b>	<b>44</b>
Introduction .....	45
3.1 Matériaux utilisés .....	45
3.1.1 Sable .....	45
3.1.2 Ciment.....	45
3.1.3 Gravier .....	46
3.1.4 Eau .....	46
3.1.5 Adjuvant (Super plastifiant) .....	46
3.2 Essais réalisés.....	46
3.2.1 Essais sur granulats.....	46
3.2.2 Caractéristiques de ciment .....	60
3.2.3 L'eau de gâchage les résultats .....	62
3.3 Formulations des bétons étudiés .....	63
3.3.1 La méthode de « Dreux-Gorisse » .....	63
3.3.2 Calcul de la composition du béton.....	63
3.3.3 Application de la méthode (Formulation de béton).....	67
3.3.4 Préparation de mélange.....	69
3.3.5 Malaxage du béton.....	70
3.4 Caractérisation du béton à l'état durci .....	74
3.4.1 Essai de résistance à la compression [NA EN 12390-3] .....	74
3.4.2 Essai de rupture par flexion (la traction) [NA EN 12390-3] .....	75
3.5 Conclusion.....	76

<b>CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS</b> .....	<b>77</b>
Introduction .....	78
4.1 Caractérisation des bétons à l'état frais .....	78
4.1.1 Masse volumique .....	78
4.1.2 Mesure de l'ouvrabilité.....	78
4.2 Caractérisation des bétons à l'état durci.....	81
4.2.1 Essais mécaniques (Résistance à la compression).....	81
4.2.2 Essais mécaniques (Résistance à la traction en flexion).....	83
4.2.3 Relation résistance traction et compression.....	85
4.3 Conclusion.....	87
Conclusion générale .....	88
Références bibliographiques .....	91

## Liste des figures

Figure 1: Ancien maison de bois. ....	5
Figure 2: Composition d'un béton. ....	6
Figure 3 : Différents types de granulats. ....	10
Figure 4 : Bétons autoplaçants .....	13
Figure 5 : Exemple du béton de fibres .....	14
Figure 6: Exemples des déchets dangereux. ....	19
Figure 7: Les différents types de déchets. ....	20
Figure 8: Déchets de démolition. ....	21
Figure 9 : Composition de base des déchets de démolition en Europe (2004) ....	22
Figure 10: Industrie du béton. ....	22
Figure 11: Laitier de haut fourneau.....	23
Figure 12 : Laitier d'acier. ....	24
Figure 13 Déchets de brique.....	24
Figure 14 : Briques creuses et pleines.....	27
Figure 15 : Briques perforées.....	27
Figure 16 : La roche de marbre. ....	29
Figure 17 : Types de marbre .....	30
Figure 18 : Déchet de verre. ....	31
Figure 19 : Un exemple de composition d'un verre silico-sodo-calcique. ....	32
Figure 20 : céramiques .....	35
Figure 21 : Porterie.....	36
Figure 22 : Model de faïence.....	36
Figure 23 : Les porcelaines. ....	37
Figure 24 : Vases de céramiques.....	37
Figure 25 : Ciment avec laitier. ....	41
Figure 26 : Les cendres volantes. ....	42
Figure 27 : kaolin sac 25 kg. ....	42
Figure 28 : baryte. ....	42
Figure 29 : les goudrons de houille. ....	42
Figure 30 : les sels.....	43
Figure 31 : les boues rouges.....	43
Figure 32 : Sable de brique [LTPE,2024]. ....	45
Figure (a , b) 33: Deux types de gravier (8/15) et (15/25) [LTPE,2024]. ....	46
Figure 34 : Tamis analyse granulométrique de sable et gravier [LTPE,2024]. ....	47
Figure 35 : Courbe granulométrique du sable utilisé. ....	48
Figure 36 : Courbe granulométrique du sable de brique utilisé. ....	49
Figure 37 : Courbe granulométrique du gravier utilisé 8/15.....	50
Figure 38 : Courbe granulométrique du gravier utilisé 15/25.....	51
Figure 39 : L'essai d'aplatissement des granulats [LTPE,2024]. ....	51
Figure 40 : l'essai de la masse volumique apparent [LTPE,2024]. ....	53
Figure 41 : l'essai de la masse volumique absolue [LTPE,2024].....	54
Figure 42 : Résistance a l'usure : essai micro-Deval [LTPE,2024]. ....	56
Figure 43 : l'essai Équivalent de sable[LTPE,2024]. ....	57
Figure 44 : L'essai au bleu de méthylène [LTPE,2024]. ....	58
Figure 45: Ciment portland composée CPJ-CEM II/A-M (S-L) [LTPE, 2024]. ....	61

Figure 46 : Dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée.....	64
Figure 47 : Préparation des moules [LTPE, 2024].....	71
Figure 48 : Préparation du matériel [LTPE, 2024].....	71
Figure 49 : Versement des constituants [LTPE,2024]. ....	72
Figure 50 : Malaxage de béton [LTPE,2024].....	72
Figure 51 : Affaissement au cône d'Abram [LTPE,2024]. ....	73
Figure 52 : Remplissage des moules et mode de mise en place [LTPE ,2024]. ....	74
Figure 53 : Conservation après démoulage [LTPE,2024].....	74
Figure 54 : Essai de résistance à la compression [LTPE,2024]. ....	75
Figure 55 : Essai de rupture par flexion (la traction) [LNHC,2024].....	76
Figure 56: La variation de la masse volumique en fonction chaque type de béton [LTPE,2024]. ....	78
Figure 57: La variation de l'affaissement en fonction chaque type de béton [LTPE, 2024]. ....	79
Figure 58: La variation de Rapport E/C en fonction chaque type de béton [LTPE, 2024].....	80
Figure 59 :la résistance à la compression pour les différents mélanges du béton à 7j [LTPE,2024].	81
Figure 60: la résistance à la compression pour les différents mélanges du béton à 28j [LTPE,2024]. .....	82
Figure 61: la résistance à la la traction pour les différents mélanges du béton à 7j [LTPE,2024].....	83
Figure 62: la résistance à la la traction pour les différents mélanges du béton à 28j [LTPE,2024]...	84
Figure 63: Évolution de la Résistance à la Traction des Bétons. ....	84
Figure 64: Relation entre résistance à la traction et celle à la compression à 7jour.....	86
Figure 65: Relation entre résistance à la traction et celle à la compression à 28 jour.....	86

## Liste des tableaux

Tableau 1: Types de ciment et composition.....	7
Tableau 2 : Spécification mécaniques et physiques des ciments. ....	8
Tableau 3: Domienne d’emploi des différents types des ciments .....	9
Tableau 4 : Caractéristiques et types de granulats .....	10
Tableau 5 : Composition minéralogique de brique .....	25
Tableau 6 : Composition chimique de la brique réfractaire .....	26
Tableau 7 : Caractéristiques physico-mécaniques de marbre de la carrière de FIL-FILA. ....	30
Tableau 8 : Composition céramiques .....	36
Tableau 9 : Propriétés mécaniques de quelques types des céramiques [LEMA 2009] .....	38
Tableau 10 : Avantages et les inconvénients de céramique. ....	38
Tableau 11 : Les types de plastiques. ....	39
Tableau 12 : Avantages et les inconvénients de plastique. ....	40
Tableau 13 : Quelque caractéristique de SIKAPLAST BV+40.....	46
Tableau 14 : Analyse granulométrique du sable carrière. ....	48
Tableau 15 : Analyse granulométrique du sable de brique. ....	48
Tableau 16 : Analyse granulométrique du gravier 8/15. ....	50
Tableau 17 : Analyse granulométrique du gravier 15/25. ....	50
Tableau 18 : résultat d'aplatissement 8/15 [LTPE, 2024]. ....	52
Tableau 19 : résultat d'aplatissement 15/25 [LTPE,2024]. ....	52
Tableau 20 : Masse volumique apparente du granulats [LTPE,2024]. ....	54
Tableau 21 : Masse volumique absolue du granulats [LTPE,2024]. ....	55
Tableau 22 : Adaptation des charges des boulets correspondant à la classe granulaire.....	55
Tableau 23 : Résultats d’essai de Los Angeles du gravier [LTPE,2024].....	56
Tableau 24 : Résultats d’essai de Micro Deval [LTPE,2024].....	57
Tableau 25 : Les résultats de l’équivalent de sable carrière et sable déchet de brique [LTPE, 2024]. .....	58
Tableau 26 : la Valeur du bleu de méthylène[LTPE,2024].....	60
Tableau 27 : Les résultats d’absorption d’eau pour les granulats étudiés [LTPE,2024].....	60
Tableau 28 : Essais physiques sur éprouvette de ciment .....	61
Tableau 29 : Masse volumique apparente d’un ciment[LTPE,2024].....	62
Tableau 30 :La masse volumique absolue du ciment.....	62
Tableau 31 : Analyses chimiques de l’eau de gâchage .....	63
Tableau 32 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.....	63
Tableau 33 : Correction du dosage en eau selon le diamètre, D du mélange granulaire. ....	65
Tableau 34 : Valeur correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l’angularité des granulats.....	66
Tableau 35 : Coefficient de compacité ( $\gamma$ ).....	67
Tableau 36 : Le pourcentage de (SC, SDBR). ....	68
Tableau 37 : La fluidité requise du béton frais.....	68
Tableau 38 : Les pourcentages des granulats. ....	69

Tableau 39 : Dosage en volume des granulats. ....	69
Tableau 40 : Dosage en masse des composants. ....	69
Tableau 41 : Formulation des mélanges de béton(Kg/ m3) [LTPE,2024]. ....	69
Tableau 42 : Formulation des mélanges de béton avec un dosage de ciment (0.305Kg/ m3) [LTPE,2024]. ....	70
Tableau 43 : Formulation des mélanges de béton avec un dosage de ciment (0.490Kg/ m3) [LTPE,2024]. ....	70
Tableau 44: La variation de la masse volumique en fonction chaque type de béton. ....	78
Tableau 45: La variation de Rapport E/C et l'affaissement en fonction chaque type de béton .....	79
Tableau 46: La résistance à la compression pour les différents mélanges du béton à 7j et 28j [LTPE,2024]. ....	81
Tableau 47: La résistance à la la traction pour les différents mélanges du béton à 7j et 28j [LTPE,2024]. ....	83
Tableau 48: Relation entre résistance à la traction et celle à la compression. ....	85

## Liste des schémas

Schéma 1 : Technologique de fabrication du ciment. ....	7
Schéma 2 : Fabrication des briques .....	25
Schéma 3: Les étapes fabrication de verre .....	32
Schéma 4 : Cycle du recyclage du verre .....	35
Schéma 5 : Déchet de céramiques.....	39
Schéma 6 : Le cycle de production des matières plastiques. ....	40
Schéma 7 : Processus de recyclage mécanique des déchets plastiques.....	41

## **Introduction générale**

Le granulat est un élément essentiel dans le secteur du bâtiment et des travaux publics. Son utilisation est massive à travers le monde, mais les ressources naturelles ne sont pas infinies et les sites d'extraction s'éloignent de plus en plus des lieux de consommation, ce qui entraîne une augmentation des coûts. Parallèlement, l'urbanisation croissante génère des quantités considérables de sous-produits et de déchets issus de la fabrication de matériaux de construction et des activités de construction, rénovation et déconstruction.

Ces sous-produits et déchets, posent aujourd'hui un défi économique et environnemental majeur. Leur accumulation croissante nécessite des surfaces de stockage importantes, limitant la disponibilité des terrains et engendrant une pollution environnementale aux conséquences néfastes.

Pour répondre à la fois aux besoins de la construction et aux impératifs de préservation des ressources et de protection de l'environnement, il est crucial de s'orienter vers une production de granulats plus durable et plus respectueuse de l'environnement. C'est dans ce cadre que l'utilisation de déchets et sous-produits comme granulats pour le béton s'avère prometteuse.

La présente étude porte sur l'analyse des caractéristiques et le réemploi des granulats recyclés et la réutilisation des déchets et sous-produits dans la fabrication des bétons. Le programme de cette recherche comprend donc des travaux portant sur la valorisation de ces matériaux avec intégration de matières premières algériennes (déchet de brique), valoriser ces granulats issus des bétons de démolition ou d'autres déchets pour la fabrication de plusieurs types des bétons, et peut étendre leur domaine d'utilisation actuel. Malgré plusieurs études de recherche dans ce domaine, les granulats recyclés trouvent peu d'application en tant que granulats de béton. Néanmoins des pays comme la Suisse ou encore le Danemark ont adopté des normes pour la fabrication de béton de granulats recyclés.

Cette valorisation présente un intérêt d'ordre économique. En effet, le réemploi des matériaux de démolition pourrait être envisagé directement sur site ou sur les plateformes de recyclage chargées du traitement. Ces plateformes pourraient alors s'occuper de la fabrication de béton à base de ces granulats recyclés.

La diminution des coûts de transports des granulats et des déchets de démolition constitue l'enjeu économique principal de ce projet, les granulats n'étant pas toujours disponibles à proximité des chantiers de construction.

Plusieurs recherches à travers le monde ont permis de poser le problème de la faisabilité des bétons à base de granulats recyclés, les résultats obtenus à cet effet sont encourageants, cependant la substitution partielle ou totale des granulats naturels par des granulats recyclés conduit à des bétons présentant des performances inférieures à celles des bétons classiques.

La condition fondamentale pour la valorisation de ces granulats est qu'ils remplissent la fonction requise dans la position qu'ils occupent et qu'ils continuent à remplir celle-ci durant toute l'existence de la construction sans manifester d'effets secondaires négatifs qui conduisent à des désordres dans l'ouvrage.

## **Problématique**

Les agrégats sont une constituante fondamentale dans la construction et les travaux publics. Par exemple, une résidence familiale nécessite en moyenne 100 tonnes d'agrégats. La consommation d'agrégats est particulièrement importante dans les travaux publics, les infrastructures et les réseaux de toute sorte.

Les agrégats font partie des richesses naturelles, Ils sont caractérisés comme suit :

- ✓ Disponibles dans la nature en quantité limitée, et ne sont pas renouvelables ;
- ✓ Une fois utilisés, ils sont récupérables et recyclables ;
- ✓ Le coût du transport en vrac est basé sur la distance à parcourir ; donc, plus le site est éloigné, plus élevé est le coût de la matière première ;
- ✓ En Algérie, la récupération et le recyclage des agrégats ne sont pas identifiés comme un objectif prioritaire dans le domaine des richesses naturelles.

La demande pour les agrégats vise la construction de routes, les divers établissements (l'enseignement, les hôpitaux, l'habitations et le besoin d'entreprises). Les ressources en agrégats sont également en demande dans le secteur manufacturier pour produire de l'acier, du vinyle, du verre, de la peinture, du papier, des produits pharmaceutiques, des fertilisants et du ciment.

Grâce à l'accessibilité de ses ressources en agrégats, l'Algérie a pu offrir des coûts d'infrastructures et de logement abordables. La gestion judicieuse des ressources en agrégats et le juste équilibre des intérêts pour ces ressources assureront un approvisionnement continu à proximité du marché.

La prise en compte des agrégats recyclés sur les caractéristiques physicomécaniques, des bétons devant avoir une valeur variable en fonction de l'âge et des paramètres de formulation (dosage en ciment, en additions, en eau, en adjuvants et nature de ciments et des granulats).

Avec l'amenuisement des réserves naturelles des agrégats, il est nécessaire de se préoccuper aujourd'hui à l'utilisation des granulats recyclés, de façon à fabriquer des bétons économiques et durables.

Dans ce contexte, notre travail a pour objectif principal de contribuer à la valorisation des bétons de démolition, et les déchets de brique comme substitut aux granulats naturels, dans la production de nouveaux bétons structurels, dans le but de :

- ✓ Contribuer à préserver l'environnement par l'élimination du dépôt sauvage des gravats et la limitation d'extraction des granulats de carrière et alluvionnaires.
- ✓ Répondre à la demande croissante en granulats.
- ✓ Contribuer à mettre en valeur des granulats recyclés.
- ✓ Contribuer aux études menées sur l'emploi des granulats recyclés dans les bétons et substitution des granulats naturels.
- ✓ Réduire le cout global des ouvrages en bétons.

## **Objectifs**

Notre mémoire a pour objectif premier de caractériser les différents agrégats recyclés disponibles provenant de la démolition (déchet de brique). Ces matériaux récupérés sont principalement du béton de ciment recyclés et de déchets (broyage de brique) sous forme de produit fins 0/3 (comme des ajouts), peuvent être mélangés partiellement avec le sable recyclé pour ressortir un mélange sableux répond au condition de résistance et de durabilité (sable idéal).

L'étude consiste aussi à l'évaluation expérimentale de l'influence des agrégats recyclés et les fines de brique sur les caractéristiques physico-mécaniques, ainsi que la durabilité des bétons conçus à base de ces agrégats et à déterminer l'efficacité (favorise) de ces proportions.

### **Plan de travail**

Pour bien cerner le sujet et arriver aux objectifs fixés. Nous avons donc mené un plan de travail qui se compose des chapitres suivants :

- Une introduction générale qui fait définir la problématique du sujet ainsi que les objectifs visés et un plan de travail.
- Dans le premier et le deuxième chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique détaillée sur les types de béton et leurs compositions, les déchets, la politique et l'utilisation de ces produits dans le génie civil ainsi que l'intérêt et l'activité de recyclage des matériaux de construction et de démolition sont présentes. L'aspect normatif du recyclage et la situation en Algérie sont également soulignés.
- Puis dans le troisième chapitre qui résume les caractérisations des différents matériaux et procédures utilisés dans le cadre du programme expérimental, les modalités d'essais sont également présentées.
- Le dernier chapitre est consacré à l'analyse et à la discussion des résultats obtenus de l'étude expérimentale, et faisant des observations sur le béton témoin composé à 100% des granulats recyclés sans sable de brique et des autres résultats du béton avec un taux de sable de brique (30%,50%,70% et 100%).
- Enfin, notre travail est achevé par une conclusion générale et de recommandations au service de travaux ultérieurement.

**CHAPITRE 1**  
**Synthèse**  
**bibliographique**

## Introduction

Le béton est un matériau de construction incontournable de notre quotidien. Il est utilisé dans tous types de construction, des bâtiments aux ouvrages d'art, en passant par les monuments et les éléments de décoration. Il est également utilisé pour la fabrication de produits préfabriqués, tels que les blocs, les poutrelles, les pavés, les planchers, les cloisons et les escaliers. Le béton est un matériau complexe dont les performances sont influencées par de nombreux facteurs. Les études menées sur le béton ont permis de mieux comprendre ces facteurs et de les quantifier.

Aujourd'hui, il est possible d'obtenir des bétons de haute qualité en tenant compte de ces facteurs. Le béton est un matériau de construction très utilisé dans le monde, notamment en raison de ses nombreuses qualités, telles que sa résistance à la compression, son isolation phonique et thermique, et son coût relativement bas. Cette tendance est également visible en Algérie, où le béton est le matériau de construction par excellence.

L'objectif de ce chapitre est de fournir un examen détaillé de la littérature sur le béton de sable, y compris ses composants, ses caractéristiques, sa conception et son application.

### 1.1 Historique

L'ancienne méthode de construction c'est l'utilisation du bois en tant que matériau principal. Le bois fut alors associé à des peaux d'animaux ou à du feuillage. Ensuite est venue la méthode de la maçonnerie consistant à l'assemblage des briques crues ou cuites, de moellons et de pierres à l'aide de l'argile.

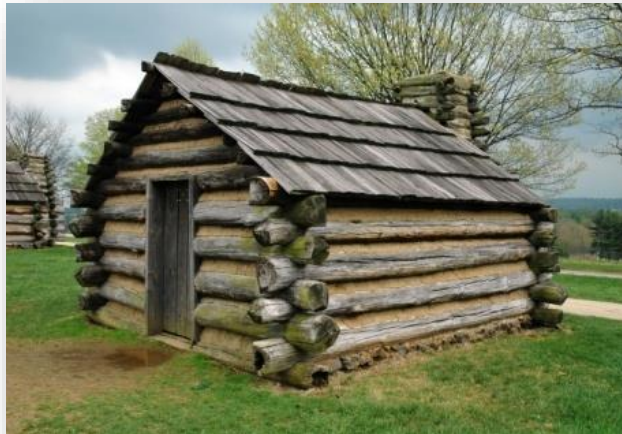


Figure 1: Ancien maison de bois. [1]

Historiquement, le béton est né du besoin d'avoir un matériau de construction bon marché, malléable au moment de le mettre en place et résistant ensuite. La forme la plus ancienne du béton remonte à 7000 ans avant Jésus Christ. Un matériau similaire était connu des égyptiens et des Romains, mais l'essor réel du béton tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'anglais Joseph Aspdin qui en 1824 fait breveter le ciment Portland[2].

### 1.2 Définition

Le béton est essentiellement un mélange de deux constituants : le granulats et la pâte. Le granulats se compose normalement de sable et de gravier ou de pierre concassée. La pâte se compose normalement de liants (ciment portland avec ou sans ajouts) d'eau et d'air. La pâte, agissant comme

une colle, durcit et forme une masse qui, du fait de la réaction chimique du ciment et de l'eau, prend la consistance de la roche, pour former ce qu'on appelle le béton. [3]

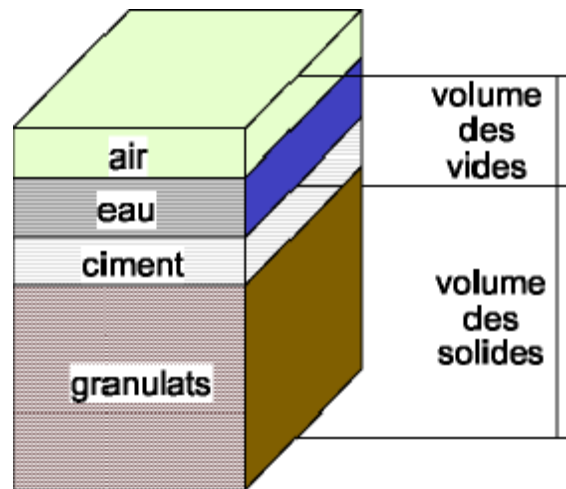


Figure 2: Composition d'un béton.

### 1.3 Méthode de formulation du béton

On a recours il existe plusieurs méthodes de détermination de la composition du béton proposé et appliqué dans les différentes payes du monde, permis ces méthodes on peut citer :

- Méthode de Faury
- Méthode de Bolomey
- Méthode de LA VALETTE
- Méthode de Caquot
- Méthode de Joisel
- Méthode Japonaise
- Méthode américaine
- Méthode britannique (BRE 1988)
- Méthode de coefficient G/S [4]

### 1.4 Constituants du béton

#### 1.4.1 Le ciment

##### a) Définition [5]

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

##### b) Procédé de fabrication du ciment [6]

- **La voie humide** : Très peu utilisée dans le monde même en Algérie, car nécessite beaucoup d'énergie et d'eau.
- **La voie semi – humide** : Elle consiste à préparer des granules dans le granulateur qui sont ensuite cuits sur une grille.
- **La voie semi – sèche** : Elle consiste à humidifier la poudre obtenue après broyage et séchage simultané pour l'agglomérer sous forme de granules qui sont ensuite cuits sur une grille.

- **La voie sèche** : le procédé le plus utilisé, il présente plusieurs avantages notamment l'économie d'énergie et d'eau.

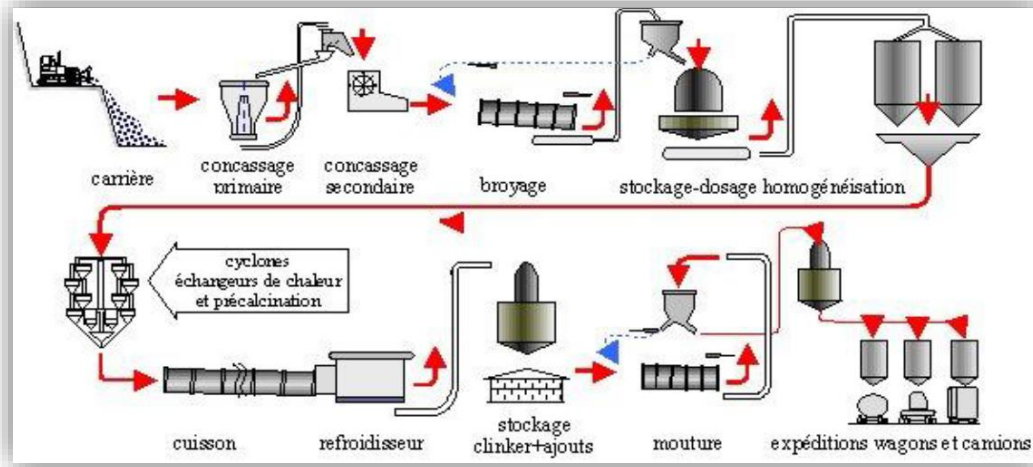


Schéma 1 : Technologie de fabrication du ciment. [7]

### c) Classification des ciments[2]

#### ➤ Classification en fonction de leur composition

Les ciments sont classés, en fonction de leur composition, en cinq types principaux selon la norme Algérienne NA442. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains. Ils sont regroupés dans le tableau 1.

Tableau 1: Types de ciment et composition.

Type de ciment	Notation	Clinker (K)	Autres Constituants	Constituants Secondaires
<b>Ciment Portland</b>	CPA-CEM I	95 -100	-	0 - 5
<b>Ciment Portland compose</b>	CPJ-CEM II/A	80 - 94 <sup>a</sup>	6- 20	0 - 5
	CPJ-CEM II/B	65 - 79 <sup>a</sup>	21 – 35	0 - 5
<b>Ciment de Haut fourneau</b>	CHF-CEM III/A	35 - 64 <sup>b</sup>	36 -65	0 - 5
	CHF-CEM III/B	20 - 34 <sup>b</sup>	66 - 80	0 - 5
	CLK-CEM III/C	5 - 19 <sup>b</sup>	81 – 95	0 - 5
<b>Ciment pouzzolanique</b>	CPZ-CEM IV/A	65 -90 <sup>c</sup>	10 – 35	0 - 5
	CPZ-CEM IV/B	45 - 64 <sup>c</sup>	36 – 55	0 - 5
<b>Ciment au laitier et aux cendres</b>	CLC-CEM V/A	40 - 64 <sup>d</sup>	18 – 30	0 - 5
	CLC-CEM V/B	20 - 39 <sup>d</sup>	31 – 50	0 - 5

#### ➤ Classification en fonction de leur résistance normale

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours ; des sous-classes «R» sont associées à ces 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge

sont élevées. Ces classes sont notées classe 32,5, classe 42,5 et classe 52,5. Elles doivent respecter les spécifications et valeurs garanties du tableau 2.

**Tableau 2 : Spécification mécaniques et physiques des ciments.**

Classe	Résistance à la compression (MPa)				Retrait à 28 jours ( $\mu\text{m/m}$ )	Début de prise (min)	Stabilité (mm)
	Au jeune âge		À 28 jours				
	2 Jours	7 Jours	Min	Max			
32,5	-	-	$\geq 32.5$	$\leq 52.5$	$\leq 800$	$\geq 90$	$\leq 10$
32,5R	$\geq 13,5$	-					
42,5	$\geq 12.5$	-	$\geq 42.5$	$\leq 62.5$	$\leq 1000$	$\geq 60$	
42,5R	$\geq 20$	-					
52,5	$\geq 20$	-	$\geq 52.5$	-	-		
52,5R	$\geq 30$	-					

d) Utilisation [8]

Tableau 3: Domienne d'emploi des différents types des ciments [8].

Type de ciment	Désignation	Domaine d'emploi
A/Ciments courants	CEM I	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Béton arme en général coule sur place ou préfabrique.</li> <li>- Béton précontraint.</li> <li>- Décoffrage rapide, mise en service rapide (de résistance classe R).</li> <li>- Béton étuve ou auto-étuve.</li> </ul>
	CEM II / A ou B	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Béton en élévation, arme ou non, d'ouvrages courants.</li> <li>- Dallages, sols industriels.</li> <li>- Maçonneries.</li> <li>- Stabilisation des sols.</li> </ul>
	CEM III / A, B ou C CEMV/ A ou B	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux en béton arme ou non, hydrauliques et souterrains (fondation).</li> <li>- Travaux nécessitant une faible chaleur d'hydratation.</li> <li>- Stabilisation des sols.</li> </ul>
B/Autres ciments usage spécifique :	Le ciment alumineux Fondu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bétonnage par temps froid.</li> <li>- Pour béton devant subir des chocs thermiques ou une forte abrasion.</li> <li>- Pour béton devant résister à des températures jusqu'à 1250°C.</li> <li>- Travaux à la mer.</li> </ul>
	Le ciment prompt naturel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ouvrages nécessitant une prise très rapide : scellements courants, blocages, aveuglements, voies d'eau, calfatages.</li> <li>- Enduits, moulages, tableaux, aretes, reperes, charges importantes.</li> <li>- Petits ouvrages : chainages, regards, appuis.</li> </ul>

1.4.2 Les granulats

a) Définition

Le granulat, qu'on appelle aussi agrégat, est un fragment de roche, d'une taille inférieure à 125 mm (sables, gravillons et graviers), destiné à entrer dans la composition des matériaux destinés à la fabrication d'ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Les granulats constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (Gros et Fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton[9].

b) Les grandes familles de granulats[9]

Un granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux, qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 6 familles (voir le tableau 4).

Tableau 4 : Caractéristiques et types de granulats[9].

Familles	Caractéristiques
Fillers	D<2 mm avec au moins 85 % de passant à 1,25mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sablons	D≤1 mm avec moins de 10% de passant à 0,063 mm
Sables	0mm <D≤ 4 mm
Graves	D<6.3 mm
Gravillons	d>2 mm et D < 63 mm
Ballasts	d≥ 31.5 mm et D= 50 ou 63 mm

**c) Les différents types de granulats[10]**

Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée :

- « **Naturels** », lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions) ;
- « **Artificiels** », lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais ;
- « **Recyclés** », lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés.

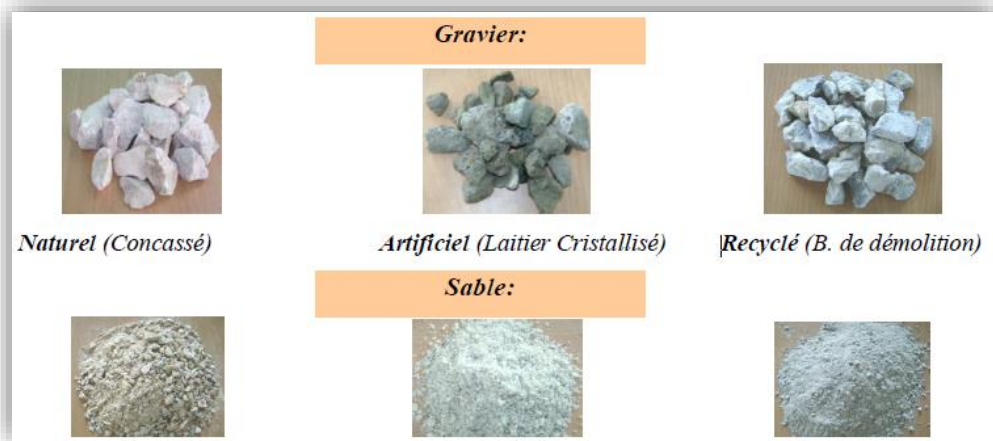


Figure 3 : Différents types de granulats[53].

**d) Le gravier**

On appelle gravier l'accumulation des grains de 5 à 70 mm provenant de la distraction naturelle des roches. Tandis que la pierre concasser par broyage des roches massives, de gravier pierre artificielle, en morceaux dont les dimensions varient de : 5 à 70 mm [11] . La granularité du gravier est fixée par le D prescrit ou admissible pour le béton à préparer.

### e) Le sable[11]

Le sable est un élément très important dans la constitution des bétons, il est une masse meuble de matières minérales inorganiques, finement granuleuses (0.08 à 5mm), habituellement composées de quartz (silice), et d'une petite proportion de mica, de feldspath, de magnétite et autres minéraux durs. C'est le résultat de l'érosion, dégradation et abrasion des roches par des processus chimiques et mécaniques.

Dans le béton le sable occupe presque  $\frac{1}{4}$  de son volume par conséquent la qualité du sable influant considérablement sur la qualité du béton. Il remplit avec le ciment et l'eau tous les vides entre les grains de gravier décidant ainsi la structure compacte du béton, d'autre part de son coût de revient, puis qu'il est toujours moins cher que le ciment.

On a trois types de sable suivant leurs grosseurs :

- a) sable fin : 0.08 à 0.315 mm
- b) sable moyen : 0.315 à 2.00 mm
- c) sable gros : 2.00 à 5.00 mm

### 1.4.3 L'eau de gâchage

L'eau est nécessaire à l'hydratation du ciment et à la mise en œuvre du béton. Cependant, un excès d'eau peut réduire la résistance mécanique et la durabilité du béton. L'eau utilisée doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles. La quantité d'eau varie en fonction de plusieurs facteurs. Il est important de tenir compte de l'eau apportée par les granulats et de contrôler la plasticité du béton frais. Le rapport E/C est un paramètre important des études de béton.

### 1.4.4 Les adjuvants [4]

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5% en masse du poids de ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et/ou à l'état durci.

#### Catégories d'adjuvants

- **Adjuvants modificateurs de l'ouvrabilité et la rhéologie du béton**
  - Plastifiants réducteurs d'eau.
  - Super plastifiants hauts réducteurs d'eau.
- **Adjuvants modificateurs de prise et de durcissement du béton**
  - Accélérateurs de prise.
  - Accélérateurs de durcissement.
  - Retardateurs de prise.
- **Autres catégories normalisées d'adjuvants**
  - Hydrofuges de masse.
  - Entraîneurs d'air.

## 1.5 Caractéristiques principales du béton

### 1.5.1 L'état frais

#### ➤ **ouvrabilité** [5]

L'ouvrabilité ou la maniabilité est une qualité essentielle du béton ; elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour:

- Le remplissage parfait du coffrage,

- L'enrobage des aciers,
- Et l'obtention d'un parement brut de belle apparence.

L'ouvrabilité dépend de nombreux facteurs, plus particulièrement:

- Granulométrie, surtout pour les éléments fins,
- Angularité des constituants ; granulats concassés ou non,
- Dosage en ciment et dosage en eau,
- Emploi d'un plastifiant,

➤ **Résistance [12]**

La résistance du béton frais est faible, mais elle intéresse plus particulièrement les fabricants pour le démoulage immédiat (avant prise du ciment) d'éléments de grande série. La résistance en compression peut atteindre 0,3 à 0,4 MPa tandis que celle en traction ne dépasse 1/100 de ces valeurs, soit 0,004 MPa.

➤ **Masse volumique apparente du béton frais[2]**

La masse volumique est la masse par unité de volume d'un béton. L'essai est effectué conformément à la norme CSA A23.2-4C ou ASTM C231. L'appareillage utilisé est un air-mètre. Le béton est placé en 3 couches consolidées avec 25 coups de pilon. La surface supérieure du béton est ensuite arasée à l'aide de la règle. La masse du contenant rempli de béton – la tare divisée par le volume du contenant donne la masse volumique du béton.

➤ **Teneur en air[2]**

À l'aide de l'aéromètre on mesure le volume d'air occlus ou entraîné du béton. Le taux en air occlus ne doit pas dépasser les 3%.

### 1.5.2 L'état durci

➤ **Durabilité[13]**

La durabilité du béton dépend de plusieurs facteurs (d'actions physiques, chimiques ou mécaniques) qui affectent sa durée de vie. Plus particulièrement le gel, les agents chimiques et l'abrasion. La résistance du béton à ces différents facteurs dépend essentiellement de sa qualité générale et de la qualité de chacun de ses constituants.

➤ **Durcissement[14]**

La condition favorable pour le durcissement d'un béton :

- L'humidité.
- La température supérieure à 50 °c.
- Absence de sollicitation d'ordre mécanique ou physique.

➤ **La résistance en compression[12]**

La résistance en compression à 28 jours est désignée par  $f_{c28}$ . Elle se mesure par compression axiale de cylindres droits de révolution et d'une hauteur double de leur diamètre. Le cylindre le plus couramment employé est le cylindre de 16 (d = 15,96 cm) dont la section est de 200 cm<sup>2</sup>. La normalisation européenne indique comme dimension des cylindres d = 15 cm de H = 30 cm.

➤ **La résistance en traction[12]**

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais on a parfois besoin de connaître la résistance en traction, en flexion, au cisaillement. La résistance en traction à 28 jours est désignée par  $f_{t28}$ .

### 1.6 Les différents types du béton

Nous assistons à différents types de béton d'où :

#### 1.6.1 Béton ordinaire (Bo) [15]

Le béton est un ensemble homogène obtenu par le mélange du ciment, de l'eau, des granulats et quelque fois d'adjuvants. Sa masse volumique se situe aux alentours de 2 500 Kg/m<sup>3</sup>, Les bétons peuvent être armés ou non, ou même précontraints. C'est un matériau dont le moulage est assez facile et il est adapté à tous les types de formes d'ouvrage. Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression  $f_{c28}$  qui se situe entre 20MPa et 50MPa.

#### 1.6.2 Les bétons spéciaux

##### a) Les bétons à Hautes Performances (BHP)

Ces nouveaux bétons atteignent des résistances de plus de 100 MPa, grâce à l'emploi d'ultrafines (essentiellement fumées de silice) et de super plastifiants. Leur très forte compacité leur confère une très grande durabilité qui, jointe aux résistances élevées, les privilégie pour les ouvrages très sollicités – à court et à long terme – ou en ambiance agressive [16].

Les Bétons à Hautes Performances (BHP) se caractérisent par :

- Une résistance à la compression à **28 jours** supérieure à **50 MPa** sur cylindre ;
- Un rapport Eau efficace/liant équivalent inférieur à **0,35**.
- Ils présentent une structure très dense, une faible porosité et une très bonne résistance à la pénétration d'agents agressifs.[17]

##### ➤ Principaux domaines d'applications [17]

- Ponts routiers.
- Tunnels et Travaux Souterrains.
- Préfabrication.
- Ouvrage en site maritime.

##### b) Les bétons autoplaçants (BAP) [16]

Les BAP se caractérisent par leur hyper fluidité qui permet une mise en place sans recours à la vibration. Ils ont des compositions granulométriques fortement chargées en éléments fins. Des adjuvants de type super plastifiants ou plastifiants réducteur d'eau sont utilisés systématiquement.



Figure 4 : Bétons autoplaçants[16].

### ➤ Domaines d'application du béton autoplaçants [18]

Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des :

- Densités de ferrailage importantes.
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes.
- Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts.
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

### c) Les bétons de fibrés [19]

Le béton renforcé de fibres est un béton auquel on ajoute des fibres, généralement des fibres métalliques ou polymères au moment de la fabrication, afin d'améliorer le comportement structural et l'aptitude service. L'addition de fibres peut réduire l'ouverture des fissures par la formation d'une multitude de très fines fissures qui sont en général sans conséquences. De cette manière, le développement des fissures est fortement limité dans le béton.



Figure 5 : Exemple du béton de fibres[19].

### ➤ Domaines d'application du béton de fibrés [16]

- Pièces minces architectoniques.
- Eléments décoratifs.
- Dallages industriels.
- Tuyaux et bétons projetés.

### d) Les bétons fibrés à ultra hautes performances (BFUP) [16]

Les bétons fibrés à ultra hautes performances, outre leur durabilité absolue, se distinguent par leur extrême résistance à la compression et leur ductilité.

### e) Le béton précontraint [16]

Le béton est un matériau qui dispose d'une grande résistance face à la compression mais qui est fragile face à la flexion. De ce fait, le béton précontraint est un béton dans lequel on introduit, avant sa mise en service, des tensions opposées à celles qu'il devra subir.

### f) Béton Léger [17]

Le béton léger se distingue du béton courant par sa masse volumique réduite, obtenue grâce à l'ajout de granulats légers à haute porosité ou de faible masse volumique. Le béton utilisé à des fins d'isolation et d'allègement ou les deux à la fois, il peut également être utilisé pour des éléments porteurs à condition que l'on possède les granulats permettant d'atteindre les résistances voulues.

### g) Béton Lourd [17]

Béton dont les agrégats sont constitués d'éléments plus lourds que les agrégats pierreux ordinaires, par exemple par l'utilisation d'agrégats d'oxyde de baryum (baryte) combinés à des agrégats normaux.

### h) Béton de sable [17]

Le béton de sable est défini selon la norme NF P18- 500[NF P18- 500, 2005] comme un béton fin, constitué par le mélange d'un ou plusieurs sables, de ciment, d'additions et d'eau. D'autres additions peuvent être incorporées : adjuvants, fibres, gravillons.

### i) Béton de résine [17]

Le béton de résine est un matériau composite dont le liant est constitué entièrement d'un polymère organique synthétique. On l'appelle aussi béton de résine synthétique ou béton de résine plastique. Comparativement au béton de ciment Portland, le béton de résine possède une plus grande résistance mécanique, résiste mieux aux produits chimiques et aux agents corrosifs, absorbe moins d'eau et présente une plus grande stabilité aux cycles gel dégel.

## 1.7 Principaux avantage et inconvénient du béton [19]

### 1.7.1 Avantage du béton

- ❖ **Coût** : le béton est un matériau peu coûteux à produire, ce qui le rend accessible à un large public. Il est également facile à fabriquer, ce qui réduit les coûts de main-d'œuvre.
- ❖ **Formes** : le béton peut être moulé dans n'importe quelle forme, ce qui le rend adapté à de nombreux types de construction. Il est également possible de modifier les dimensions du béton après sa fabrication, ce qui permet d'adapter les ouvrages aux besoins spécifiques.
- ❖ **Résistance** : le béton est un matériau très résistant à la compression, ce qui en fait un matériau de construction idéal pour les structures lourdes. Il est également résistant au feu et aux actions mécaniques.
- ❖ **Armature** : le béton armé est un matériau composite qui combine les avantages du béton et de l'acier. Il est plus résistant à la traction et aux chocs que le béton seul, ce qui le rend adapté à des applications plus exigeantes.
- ❖ **Ressources** : les ressources nécessaires à la production du béton sont abondantes et disponibles dans de nombreux pays.
- ❖ **Énergie** : la production du béton nécessite relativement peu d'énergie, ce qui en fait un matériau durable.

### 1.7.2 Inconvénients du béton

- ❖ Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure et à moins de 1,0 dans le cas de bétons légers d'isolation) .
- ❖ Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux).
- ❖ Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage.

## 1.8 Domaine d'utilisation du béton [19]

### ➤ Le bâtiment

Le béton est un matériau de construction incontournable dans l'urbanisme moderne. Il est utilisé dans la construction de logements, de bureaux, d'hôpitaux, de locaux commerciaux et de bâtiments industriels.

### ➤ Les travaux publics

Le béton est un matériau de construction polyvalent qui est utilisé dans une grande variété d'ouvrages d'art, notamment :

- **Les ponts** : Le béton permet de réaliser des ponts de plus en plus longs et résistants. Les progrès techniques ont permis de réaliser des portées atteignant plusieurs centaines de mètres.
- **Les tunnels** : Le béton est utilisé pour la construction de tunnels de grande taille, soit en béton coulé sur place, soit en voussoirs préfabriqués.
- **Les barrages** : Les grands barrages sont le plus souvent en béton. Ce matériau permet de construire des ouvrages résistants et durables, même dans les sites les plus difficiles.
- **Les routes** : Le béton est de plus en plus utilisé pour la construction de chaussées routières et autoroutières. Les techniques modernes de construction du béton permettent de réaliser des chaussées durables et nécessitant peu d'entretien.
- **Autres ouvrages** : Le béton est également utilisé pour la construction d'autres ouvrages d'art, tels que les structures offshore ou les centrales nucléaires. Dans ces cas, le béton doit répondre à des exigences particulières en matière de résistance mécanique et de durabilité.

### 1.9 Conclusion

Le béton est un matériau omniprésent dans notre cadre de vie. Il est utilisé pour construire des ouvrages de toute nature, des bâtiments aux ouvrages d'art, en passant par les infrastructures de transport et les plates-formes pétrolières.

Le béton est un matériau fascinant qui continuera à jouer un rôle majeur dans la construction de notre monde de demain. Sa force, sa durabilité et son adaptabilité en font un allié précieux pour répondre aux défis de l'urbanisation, de la croissance démographique et de la transition écologique.

Nous avons illustré à travers ce chapitre une vue générale sur les bétons de sable et leurs constituants y compris leurs diverses propriétés, formulation, fabrication et mise en œuvre et leurs domaines d'utilisation ainsi que leurs avantages et inconvénients.

# **CHAPITRE 2**

## **Différents types de déchets**

### Introduction

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. Cela concerne des matériaux de grande diffusion fabriqués à de forts tonnages et de prix assez modeste qui vont constituer un débouché tout à fait indiqué pour les déchets et sous-produit disponibles en grande quantité et de faible valeur marchande [20].

Pour valoriser un déchet, il est nécessaire de le caractériser en fonction de son origine, de son état actuel et de son comportement dans le temps. Cette approche globale permet de définir le type de valorisation le plus adapté.

Dans ce chapitre, nous présentons la réglementation concernant les déchets, la gestion et l'activité de recyclage de ces matériaux en abordant le cas de certains pays qui ont adopté cette politique et en soulignant la situation en Algérie. Nous présentons aussi les différents déchets utilisés dans le domaine du génie civil et les diverses applications dans lesquelles elles peuvent être utilisées.

### 2.1 Définitions des déchets [21]

Usuellement, un déchet désigne : la quantité perdue dans l'usage d'un produit, ce qui reste après l'utilisation.

Le déchet est défini, d'après la loi algérienne N°01-19 du 12/12/2001, comme « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ». Cependant, la notion de déchet est parfois ambiguë car ce qui est considéré comme déchet pour une personne, peut être considéré comme matière première pour une autre.

### 2.2 Origine de la production de déchets [22]

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- **Biologiques** : tout cycle de vie produit des métabolites (matière fécale, cadavre...).
- **Chimiques** : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit C à partir de deux autres produits A et B par réaction  $A+B \rightarrow C+D$  ; D sera un sous-produit qu'il faut gérer si on n'en a pas l'usage évidente.
- **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** : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont aussi à l'origine de déchets.

### 2.3 Différents types de déchets

#### 2.3.1 Déchets ultimes

La loi du 13 juillet 1992 a introduit la notion de déchets ultimes et en donne la définition suivante : « un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ».

A terme, seuls les déchets qui n'ont pu être ni recyclés, ni incinérés avec récupération d'énergie, pourront être mis en décharges.

Les déchets ultimes issus des usines d'incinération d'ordures ménagères et déchets assimilés, dénommés mâchefers, peuvent être transformés après traitement en granulats et utilisés pour réaliser les fondations de route [23] .

### 2.3.2 Déchets ménagers et assimilés

Ce terme regroupe l'ensemble des déchets produits dans le cadre de notre vie quotidienne : emballages, restes de repas, électroménagers, vieux meubles, déchets verts, vieux vêtements [24].

### 2.3.3 Déchets organiques [25]

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères).

Il s'agit de :

- ✓ Déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts).
- ✓ Déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées... etc).

### 2.3.4 Déchets verts

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)[25].

### 2.3.5 Déchets industriels banals (DIB)

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie [25].

### 2.3.6 Déchets dangereux [25]

#### a) Déchets industriels spéciaux (DIS)

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière ... etc.

#### b) Déchets ménagers spéciaux (DMS)

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé.



Figure 6: Exemples des déchets dangereux. [25]

### 2.3.7 Déchets inertes

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction. Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux [26].

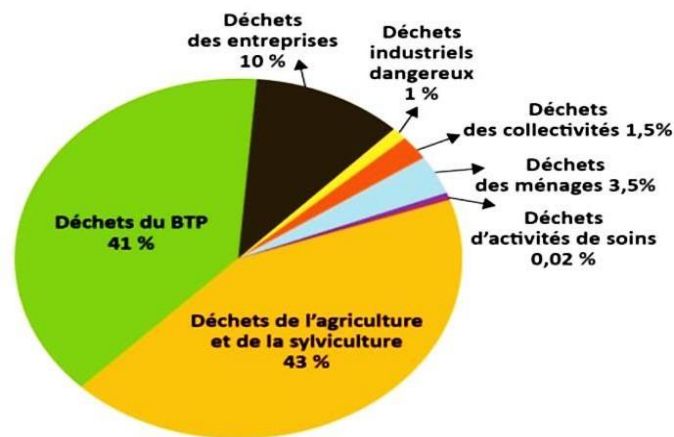


Figure 7: Les différents types de déchets [8].

## 2.4 Classification des déchets [27]

### ➤ Selon l'origine :

Après le tri et le traitement on adoptera une étape cruciale dans le processus de valorisation de ces déchets. La bonne gestion nous permettra de mieux exploiter ces déchets et ainsi réduire leurs nuisances et leurs impacts environnementaux, leur réutilisation devient ainsi profitable et conduit à un résultat très positif sur le plan économique.

On a deux classes :

- ✓ Déchets industriels.
- ✓ Déchets urbains.

### ➤ Selon leur mode de traitement :

Les professionnels et les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets en quatre grandes familles.

- ✓ Les déchets inertes.
- ✓ Les déchets banals.
- ✓ Les déchets spéciaux.
- ✓ Les déchets dangereux.

### ➤ Selon leur effet sur l'environnement :

A ce titre on distingue :

- ✓ Les déchets inertes.
- ✓ Les déchets fermentescibles.

- ✓ Les déchets toxiques.

### 2.5 Déchets utilisés en génie civil

#### 2.5.1 Les déchets utilisés comme granulats du béton

##### 2.5.1.1 Déchets de démolition [28]

Le béton constitue presque 75%, en poids de tous les matériaux de construction. Il s'ensuit donc que la plus grande partie de rebuts de démolition est constituée de béton. Par ailleurs, les sinistres (principalement les séismes) fournissent chaque année des millions de tonnes de débris de béton.

Aujourd'hui, les producteurs de granulats recyclés ont une politique de sélection des matériaux de démolition. Ainsi, on distingue cinq catégories de matériaux de démolition en fonction de leur nature :

- 1) les bétons armés sans enduit ni plâtre.
- 2) les matériaux composés de briques, de tuiles, de graves, de pierres et de blocs rocheux, etc.
- 3) les matériaux mélangés avec une faible teneur en plâtre, bois, plastique, etc.
- 4) les mauvais matériaux avec une teneur en bois, plâtre, plastique : supérieure à 10%.
- 5) les autres matériaux n'entrant pas dans les catégories précédentes.



Figure 8: Déchets de démolition.

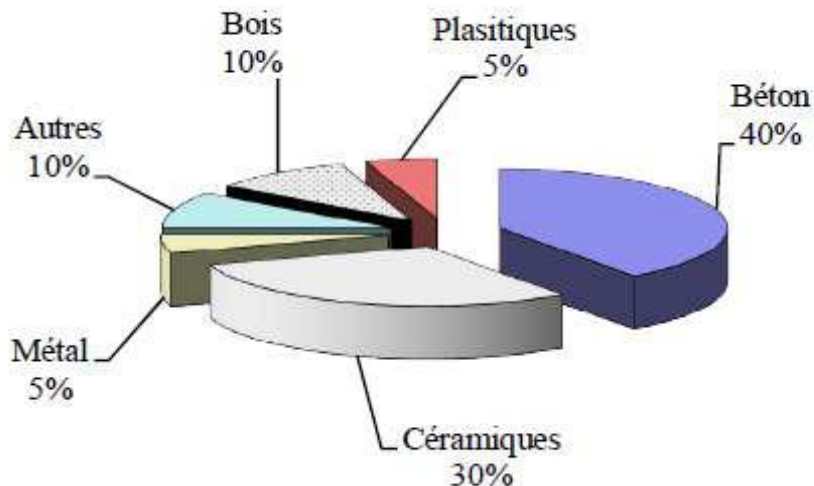


Figure 9 : Composition de base des déchets de démolition en Europe (2004) [54]

### 2.5.1.2 Déchets de production de l'industrie du béton [28]

Les granulats de déchets de production ont deux origines :

- 1) Les débris de béton générés tout au long des étapes de la production ; ils résultent du nettoyage des installations de fabrication et du transport du béton frais (chutes de béton) ; il peut également s'agir de béton provenant de gâchées non utilisées ou non utilisables.
- 2) Les produits défectueux, mal formés, partiellement cassés ou d'aspect non conforme ; à ces produits défectueux s'ajoutent les produits ayant fait l'objet d'essais de résistance à la rupture.



Figure 10: Industrie du béton.

### 2.5.1.3 Laitiers [29]

#### a) Laitier de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de « laitier refroidi à l'air » ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom de « laitier expansé ».

### ➤ **Le laitier refroidi à l'air**

Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulats pour le béton. La comparaison entre la résistance à la compression du béton constitué de granulats de laitier de haut fourneau et celle du béton constitué de gravier et de calcaire concassé indique que le béton de laitier est plus résistant. Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications.

### ➤ **Le laitier expansé**

La quantité de laitier expansé produit est bien plus faible que celle de laitier refroidi à l'air. Le laitier expansé est utilisé pour la fabrication du béton léger ayant une masse volumique apparente comprise entre 800 et 950 kg/ m<sup>3</sup>.

Les blocs de béton de laitier expansé sont utilisés pour la construction de murs porteurs et de murs non porteurs. Le béton de laitier expansé a une excellente résistance au feu et une conductivité thermique d'environ 75% de celle des autres bétons légers.

Le laitier expansé réduit en boulettes a été mis au point au Canada. On prétend que ce procédé de fabrication pollue moins l'air que le procédé normal de fabrication.



Figure 11: Laitier de haut fourneau[29].

### ❖ **Scouris**

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bicalcique métastable ; il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé.



Figure 12 : scouris. [29]

### ❖ Autres laitiers métallurgiques

Les applications possibles du laitier provenant de la fusion réductrice du cuivre, du zinc, du plomb, du nickel et de l'étain n'ont pas encore été explorées à fond. On a toutefois déjà étudié la possibilité d'utiliser les laitiers au zinc/plomb comme granulats pour le béton bitumineux. Dans le béton de ciment, ces laitiers produisent une réaction alcali-silice. On a également proposé de les utiliser comme granules fins pour le béton. Le laitier refroidi à l'air issu de la fabrication de phosphore sert de granulat pour le béton.

#### 2.5.1.4 Brique et déchets de brique

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir une corrosion et une efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel [25].



Figure 13 : Déchets de brique. [25]

#### a) Technique de la production de la brique

Il y a cinq étapes se succèdent dans la fabrication de la brique [30] :

- **L'extraction de la terre** : jusqu'à la fin du XIXe siècle où furent inventées les premières excavatrices motorisées, se faisait à la pelle.
- **La préparation de la pâte** : mélange d'une ou plusieurs terres argileuses, ou de limon, avec de l'eau et des éléments dits "dégraissants", comme le sable.

- **Le façonnage de l'antiquité** : on voit apparaître le moule, cadre de bois avec ou sans fond, aux dimensions de la brique à produire.
- **Le séchage** : indispensable de faire sécher doucement la brique de terre crue avant de la cuire. Ce séchage se fait actuellement en séchoir artificiel, mais autrefois, la brique était mise à sécher sous de vastes hangars à l'air libre.
- **La cuisson** : la brique est mise à cuire dans un four. Concernant la réaction des matières premières à la cuisson, la chaleur provoque des modifications de masse volumique, de porosité, de dureté, dimensions. Elle provoque également des déshydratations, des décompositions et des combinaisons qui modifient les propriétés comme suit :
  - Jusqu'à 200° C environ, évacuation de l'eau résiduelle courant le séchage.
  - De 200 à 450° C, décomposition de matière organique.
  - De 450 à 650° C, décomposition des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution.
  - De 650 à 750° C, décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires) [31].

### b) Technique de la production de la brique



Schéma 2 : Fabrication des briques [14].

### c) Les caractéristiques physico-chimiques de la brique

Selon (Manuel de sensibilisation, 2006), les types d'argiles sont dans les briques cuites. Ils sont : les illitiques (couleur marron gris à rouge) les kaolinique et les bravai stiques (couleur orange à rose). Les éléments métalliques sont aussi trouvés dans la pâte argileuse. Ces éléments dits « réfractaire » le degré de fusion est très supérieur à celui de la température (800° à 1000°) des fours à brique : la silice (SiO<sub>2</sub>) et de l'aluminium (AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Les déterminants de la couleur basique de la brique (les colorants) ce sont :

- L'oxyde de fer.
- L'oxyde de titane.
- L'oxyde de manganèse.

Les fondants aussi ce sont à deux types :

- Les oxydes alcalins (oxyde de sodium et potassium)
- Les oxydes alcalino-terreux (chaux et magnésie)

Selon (Aissa Salem, 2016), la composition minéralogique de déchet de brique rouge a été déterminée par fluorescence X. 1. le tableau 1.1 présente les résultats obtenus qui mettent en évidence des pourcentages élevés en silice et aluminium [30].

Tableau 5 : Composition minéralogique de brique [12]

Éléments	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P. F
Pourcentage %	6.06	66.52	14.20	5.45	2.35	0.73	2.09	0.73	/	1.00

### d) Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles de 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 [32].

**Tableau 6 : Composition chimique de la brique réfractaire [16]**

Composition chimique %	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Paf	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	So <sub>3</sub>	Cl
Brique réfractaire	55.2	30.71	3.85	2.92	1.59	1.42	1.39	1.35	0.3	00

### e) Types de brique [33]

#### ➤ Selon leur utilisation :

- **Face brique** : Briques de parement sont ceux utilisés pour décorer l'extérieur d'un bâtiment. Ils sont les briques les plus visibles, de sorte qu'ils sont de meilleure qualité et plus durable. Découper fil brique est un exemple de briques de parement : Ces briques sont faites avec de l'argile, texturé, puis couper par fil.  
Ce sont donc moins cher à produire en grandes quantités. Ils sont disponibles en différentes couleurs et textures.
- **Briques de construction** : Briques de construction sont le type de briques le plus couramment utilisé. Elles sont faites d'argile, et cuits dans des fours pour les rendre dur et fort. Ils sont utilisés dans la construction des murs et autres surfaces, et non pour les extérieurs, afin est très essentiel. Qu'ils ne viennent pas en différentes textures ou couleurs. Ils sont durs et durable.
- **Briques vernissées** : Briques vernissées ont un côté recouvert de revêtement vitré (généralement en céramique). Le regard glacé provient de la fusion de différents minéraux et des ingrédients lorsque les briques sont brûlés ou cuits. La surface vitrée rend ces briques mieux adaptées pour les hôpitaux, les laboratoires, les laiteries et autres bâtiments où le maintien de conditions sanitaires.

#### ➤ Selon leur forme :

- **Briques pleines** : La brique pleine ordinaire au format (6x11x22) cm<sup>3</sup> (hauteur, largeur, longueur). Toujours employé, cet élément constitue d'excellents murs porteurs. Spécialement fabriquée pour l'exécution d'éléments vus (façades), elle présente une gamme de teintes très variée. Elles sont montées à mortier de joints épais, généralement 1,5 cm pour les joints horizontaux (assises) et 1 cm pour les verticaux.
- **Briques creuses** : Les briques creuses, beaucoup plus légères, et de plus grandes dimensions, permettent la réalisation de murs spécialement isolants. Ces produits ouverts aux deux extrémités, comportent des cloisonnements intérieurs longitudinaux continus sur toute la longueur. En revanche, leur résistance à la compression est très faible. Cette maçonnerie reçoit généralement

un enduit ou crépissage et trouve son utilisation principalement dans les maisons individuelles ou en remplissage pour les séparations intérieures de bâtiments.

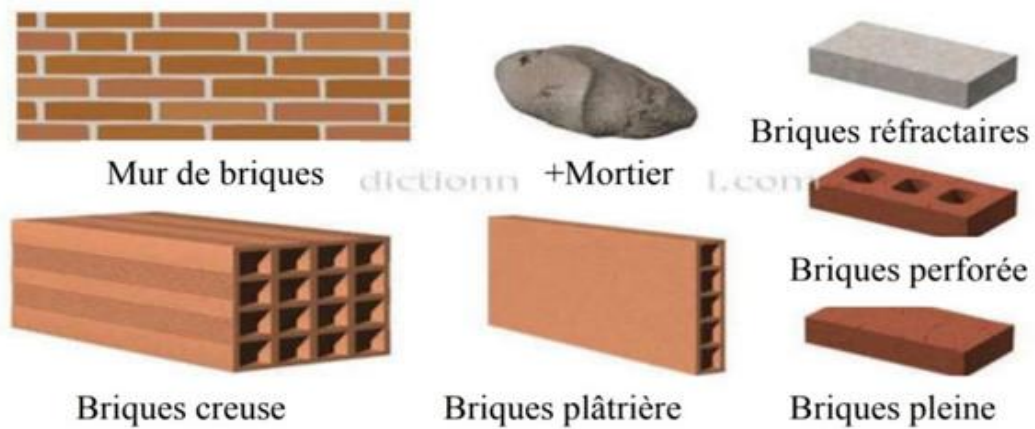


Figure 14 : Briques creuses et pleines[33].

- **Briques perforées et blocs perfores** : La maçonnerie de briques perforées offre une excellente résistance à la compression (les perforations sont disposées verticalement à l'intérieur du mur) et présente une isolation légèrement supérieure à la brique pleine. Certaines de ces briques sont traitées sur une face afin d'offrir une surface esthétique et résistante, et d'autres reçoivent un enduit. Dans le but d'augmenter la résistance à la compression et pour faciliter la mise en œuvre, ils existent les blocs perforés qui permettent de réaliser toute l'épaisseur du mur par un seul élément.



Figure 15 : Briques perforées[33].

### f) Propriétés des bétons des déchets de brique [32]

Les différentes propriétés, de granulats ainsi que de béton de granulats de déchet brique, résultantes des essais et des recherches sont :

- Les briques concassées, provenant des briques et tuiles, possèdent des résistances propres de 100 à 300 kg/cm<sup>2</sup>.
- La masse volumique apparente du béton de brique concassée varie de 2000 à 2080 kg/m<sup>3</sup>. Elle est approximativement de 17 % inférieure à celle du béton normal

- La résistance à la compression nominale du béton de granulats de brique concassée est comprise entre 13.8 et 34.5 MPA
- Pour le même niveau du béton (même résistance à la compression), la résistance à la traction est de 11% supérieure à ceux du béton normal.

### g) Utilisations des bétons des déchets de brique [34]

- Plates-formes en béton,
- Chapes en mortier du ciment,
- Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture,
- Réfection de planchers anciens,
- Béton réfracteur utilisé pour revêtement des wagons de brique,
- Remblaiement des fouilles et de site, etc.

### h) Valorisation des déchets de la brique

#### ➤ Recyclage

Le recyclage est un processus qui permet de réutiliser les matériaux contenus dans les déchets industriels et ménagers. Il présente deux avantages écologiques majeurs : la réduction de la quantité de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est également une activité économique importante dans la société de consommation.

Les procédés de recyclage varient en complexité et en coût. Certains sont simples et peu coûteux, tandis que d'autres sont complexes et coûteux. Les objectifs de l'écologie et des consommateurs convergent souvent en matière de recyclage, mais ils peuvent parfois diverger. Dans ce cas, le législateur intervient pour garantir un niveau de recyclage suffisant [35].

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- **Réduire** : Qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- **Réutiliser** : Qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- **Recycler** : Qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage. [36]

### 2.5.1.5 Marbre et déchets de marbre

#### a) Définition

Le marbre est une roche métamorphique, c'est-à-dire qu'elle est formée par la transformation d'une roche sédimentaire sous l'effet de la chaleur et de la pression. Le marbre est composé de calcite, un minéral qui lui donne sa dureté et sa résistance. La couleur du marbre est due à la présence de pigments naturels, d'oxydes divers et de traces de métaux. Les marbres purs sont généralement blancs, mais ils peuvent être de toutes les couleurs, du noir au vert en passant par le rouge et le bleu [25].



Figure 16 : La roche de marbre.[25]

### b) Compositions

Les marbres, au sens géologique, correspondent à des calcaires métamorphisés.

- C'est pourquoi ils sont souvent clairs (comme les calcaires). On y observe très souvent des veines un peu plus sombres, qui correspondent à des impuretés, des argiles...
- Le chimisme de la roche d'origine étant essentiellement du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ , au cours du métamorphisme, si le calcaire est très pur, on ne pourra pas former les minéraux « classiques du métamorphisme » qui nécessitent dans la roche d'origine la présence de silice d'aluminium... Les marbres sont très utilisés pour la sculpture, dans l'architecture [25].

### c) Types [37]

La classification des marbres se fait selon la teinte et le dessin, On classe aussi les roches marbrières géologiquement :

- **BRÈCHE** : roche formée de fragments anguleux, enrobés de ciment naturel.
- **TRAVERTIN** : calcaire d'origine lacustre présentant des trous.
- **ONYX** : (souvent translucide) marbre constitué de carbonate ou sulfate de chaux s'accumulant par infiltrations à travers les couches du sol.
- **ARDOISE** : schistes argileux ayant subi un léger métamorphisme, ils se fendent naturellement en couches minces.
- **LAVE** : basalte de couleur gris foncé pouvant contenir des petits trous dus à la présence de gaz dans la lave, souvent rebouchés.



Figure 17 : Types de marbre [37]

d) Mode de fabrication [38]

- L'extraction : le découpage des blocs de marbre se fait par le passage d'un fil hélicoïdal qui entraîne dans sa course de l'eau qui le refroidit et du sable qui sert d'abrasif. Il est guidé par des poulies, et actionné par un moteur.
- Le bardage.
- Le sciage et l'usinage.
- Le polissage.
- La pose.

e) Les caractéristiques [37]

Tableau 7 : Caractéristiques physico-mécaniques de marbre de la carrière de FIL-FILA[37].

Caractéristiques physique-mécaniques			
Masse volumique en g/cm <sup>3</sup>	2.736	2.746	2.752
Compacité en %	98.03	99.7	98.7
Porosité en %	1.96	0.3	1.3
Coefficient d'absorption d'eau en %	0.39	0.11	0.16
Coefficient de saturation en %	0.87	0.5	0.77
Résistance à la compression à l'état sec en Kg/cm <sup>2</sup>	961	1378	949
Résistance à la compression après refroidissement en Kg/cm <sup>2</sup>	966	1026	1047
Résistance à l'usure en Kg/cm <sup>2</sup>	1.82	0.719	0.996
Résistance au choc en Kg/cm <sup>2</sup>	40	56	83.58

### f) Usages [38]

Le marbre est utilisé dans plusieurs domaines :

- La fabrication du verre.
- L'industrie chimique.
- La fabrication de chaux et de ciment.
- Comme fondant en métallurgie.
- Les amendements des sols et dans les charges minérales.
- Le marbre sert dans la construction sous forme d'agrégats et de pierre à bâtir ainsi que dans les produits d'asphalte.
- En décoration, sous forme de dallage, revêtement mural...

### 2.5.1.6 Verres et déchets de verres

#### a) Définition [39]

Le verre est un solide fragile et généralement transparent, préparé par fusion d'un mélange complexe contenant de la silice. C'est une substance amorphe (non cristalline) composée principalement de silice fondue à haute température, à laquelle on ajoute des silicates et d'autres éléments ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ , aluminosilicates sodiques, potassiques ou calciques, dolomite). Le verre est refroidi jusqu'à devenir rigide sans qu'il y ait cristallisation, les molécules sont disposées de manière désordonnée, mais néanmoins avec suffisamment de cohésion pour offrir les propriétés d'un solide. Si on le réchauffe suffisamment, il peut reprendre une forme liquide. Sa couleur varie selon sa composition.



Figure 18 : Déchet de verre.[39]

#### b) Compositions [40]

Les oxydes de **formateurs** forment le squelette du verre. On les combine avec d'autres éléments dits « **modificateurs** » :

##### ➤ Les oxydes formateurs (les vitrifiant)

- La silice (dioxyde de silicium  $\text{SiO}_2$ ).
- L'anhydride borique (le bore ou borax anhydre  $\text{B}_2\text{O}_3$ ).
- L'anhydride phosphorique (le phosphore  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

##### ➤ Les oxydes modificateurs :

- Les fondants (oxydes alcalins).

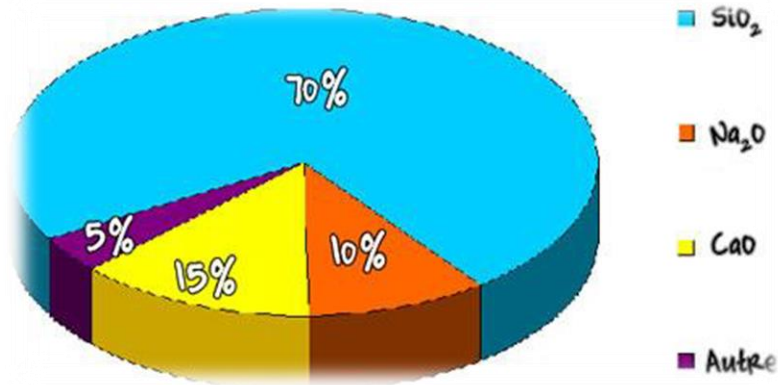


Figure 19 : Un exemple de composition d'un verre silico-sodo-calcique. [40]

c) Types de déchets de verres

- Verre creux : bouteilles, bocaux, gobelets, pots...
- Verre plat : verre trempé, vitrages, glaces...
- Laine et le fil de verre.
- Verre technique : lunettes, ampoules, écrans cathodiques...
- Verre blanc et coloré.

d) Mode de fabrication

Les étapes fabrication de verre sont :

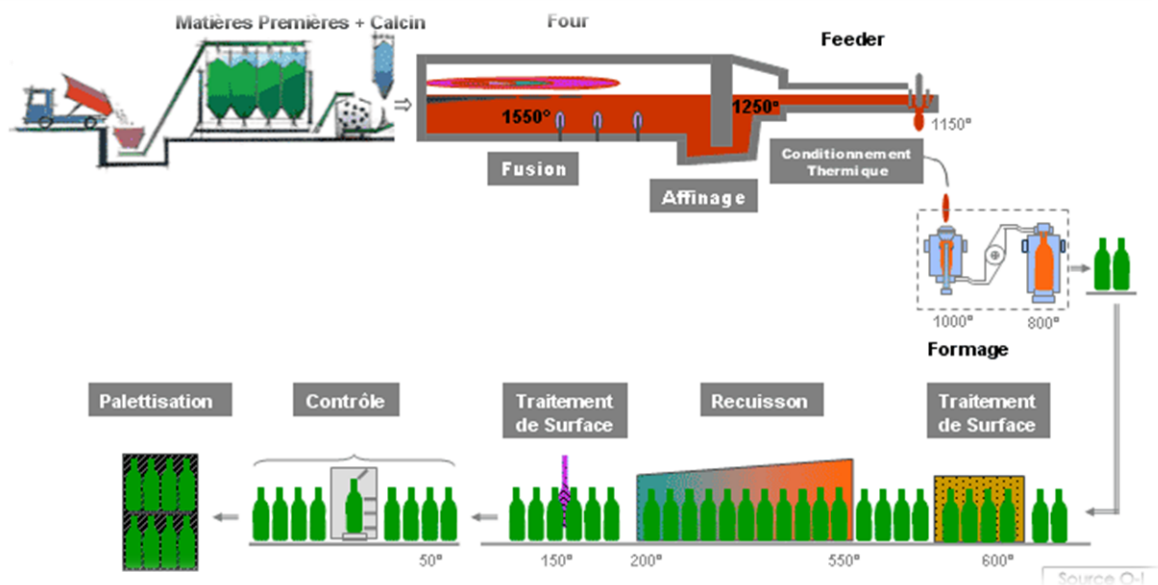


Schéma 3: Les étapes fabrication de verre [25]

e) Les caractéristiques et propriétés [41]

➤ Propriétés physiques

- **Transparence** : Le verre incolore ou blanc, laisse filtrer à peu près toute l'énergie Solaire. Une vitre de 5 mm d'épaisseur n'arrête qu'environ 15% de l'énergie solaire.

- **La dureté** : seuls les diamants et le carbure de tungstène le rayent. Le verre le plus dur est le verre de Bohême et le cristal est le plus tendre.
  - **Densité et porosité** : La densité du verre varie avec celles des constituants, La porosité est nulle.
  - **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.
  - **L'imperméabilité** : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le kérosène.
- **Propriétés thermiques**
- **La dilatation** : Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps.
  - **La conductivité** : il est mauvais conducteur, on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique.
- **Propriétés chimiques**
- **L'action de l'eau** : l'eau perd la transparence de verre.
  - **L'action de l'air** : l'air provoque des dépôts blancs à la surface du verre.
  - **L'action de la lumière** : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou se décolorent.
  - **L'action des acides** : les acides décomposent la silice.
- f) **Usages le verre dans les bétons [35]**
- L'utilisation du verre recyclé comme granulats dans les bétons :
- **Influence de la taille des grains de verre sur la réaction alcali-silice**  
La taille des particules des granulats de verre a une influence sur l'expansion due à la réaction alcali-silice (RAS). Il semblerait que l'expansion augmente avec le diamètre des granulats réactifs. En effet, dans le cas du verre, diverses études ont montré que diminuer la finesse du verre entraînait la RAS.
  - **Influence de la teneur en verre sur la réaction alcali-silice**  
Été mesuré les variations des expansions des bétons en fonction de la teneur en verre de la part de l'ensemble de auteurs. Et nous pouvons les cataloguer en trois groupes. 1<sup>er</sup> groupe qui affirme que l'expansion des bétons augmenterait avec leur teneur en verre, le second avance l'inverse, gonflements des bétons ne changerait pas en fonction de leur teneur en verre. Ces oppositions s'expliquent vraisemblablement dans les conditions de déroulement des travaux. 3<sup>ème</sup> groupe ont pu remarquer les variations dimensionnelles des mortiers étaient indépendantes du taux de présence du verre.  
En effet, le premier groupe a utilisé du verre comme remplacement du ciment en présence de granulats inertes ou réactif, quant au second groupe, il a utilisé le verre comme granulats.
  - **Influence de la taille des grains de verre sur la réaction pouzzolanique**  
Selon (Shoa et al. 2000), avec une taille des grains de verre de 38µm, les indices d'activité des bétons confectionnés avec 30 % de remplacement de ciment par ce verre dépassaient les 90 % à jeune âge et les 108 % à 90 jours. Pour (Chen et al. 2006) une taille de 75 serait suffisante pour atteindre un bon indice d'activité pouzzolanique. Pour (Shi et al. 2005), une finesse au moins égale à celle du ciment serait nécessaire et suffisante pour avoir de bonne résistance mécanique.

Quant à (Shayan et al. 2002) il a travaillé avec une finesse de 800 m<sup>2</sup>/kg pour avoir un bon indice d'activité pouzzolanique à 90 jours. Néanmoins, avec 20 % de remplacement de ciment par cette finesse de verre, au-delà d'une année de cure, la résistance de ces bétons a pu égaler celle des mélanges confectionnés avec 10 % de fumée de silice.

- **Influence de la teneur en verre des mélanges sur la réaction pouzzolanique**

Excepté (Batayneh et al., 2007) et (Nishikawa et al., 1995) dont les études ont montré que la résistance augmenterait avec la teneur des mélanges en verre, la plupart des travaux, malgré la variation des conditions de travail, s'accordent à dire que la résistance des mortiers et bétons diminue à mesure que leur teneur en verre augmente (Kojima et al., 2000; Park et al., 2004; Shao et al., 2000; Shayan et al., 2002 et 2004; Dyer et al., 2001; Correia et al., 2009; Schwarz et al., 2008; Sobolev et al., 2007). La divergence entre les conclusions des deux groupes doit fort probablement venir du fait que dans le cas du premier groupe, le premier auteur (Batayneh et al. 2007) a travaillé sur des pâtes et le second (Nishikawa et al. 1995) a fait une substitution de sable au lieu de ciment.

g) **Domaines d'application du verre au génie civil [42]**

- **Les routes**

**Glasphalt** : L'utilisation des déchets de verre dans les routes est une possibilité intéressante.

**Matériau de réparation** : est un mélange de verre usée, l'huile et le ciment, cet article est utilisé pour bricoler sur la route ou pour remplir les trous et les ébauches de forage au-dessus de la route.

**Trottoirs et pavés** : construit à l'aide de mélanges de béton avec un pourcentage de poudre de verre en remplacement du ciment.

- **Les bâtiments**

**Terrazzo** : est un mélange de particules de verre, de marbre et de ciment Portland gris ou de couleur blanche utilisé pour les planchers, les dalles et les murs.

**Brique et tuiles en verre** : est un mélange de verre avec un matériau en caoutchouc à faible densité et en ajoutant des substances chimiques qui ont la capacité de résister à la température, est considéré comme un matériau insonorisant.

**Dalle en béton avec poudre de verre** : construit à l'aide de mélanges de béton avec un pourcentage de la poudre de verre en remplacement du ciment.

h) **Recyclage du verre [35]**

Le problème environnemental que posent les déchets non biodégradables tels que les bouteilles non réutilisables (verre) devient une préoccupation majeure au regard des quantités énormes produites dans les grandes villes. L'une des rares voies de recyclage de ces déchets est de les stocker dans les procédés de construction (béton).



Schéma 4 : Cycle du recyclage du verre [29].

### 2.5.1.7 Céramique et déchet de céramique

#### a) Définition

Les céramiques sont des matériaux inorganiques, non métalliques, nécessitant de hautes températures lors de leur fabrication. Il s'agit en général d'oxydes métalliques, et plus généralement de métaux oxydés, mais pas uniquement. Les céramiques ont en général une structure cristalline, parfois associée à une phase amorphe. Lorsque la majorité est amorphe, on parle de vitrocéramique ; lorsque la totalité est amorphe, on parle du verre.



Figure 20 : Céramiques

### b) Compositions

Le tableau suivant résume les différentes compositions de céramiques :

Tableau 8 : Composition céramiques [30].

Composition	Argile (%)	Kaolin (%)	Feldspath (%)	Craie (%)	Talc (%)	Quartz (%)
Grés	80					20
Faïences	50		20	20	20	30
Porcelaine due	3	42	25	5		25
Vitreuse	50		25			25

### c) Les types de céramique [43]

- Les poteries



Figure 21 : Poterie.

- Les faïences



Figure 22 : Model de faïence.

- **Les porcelaines**



Figure 23 : Les porcelaines.

- **Les grès**



Figure 24 : Vases de céramiques.

- **Céramique blanc (de sanitaire)**

**d) Classification des produits céramiques [44]**

On peut classer les céramiques selon leur application, selon leur mode d'élaboration et la forme finale et selon leur composition chimique :

- Selon leur application.
- Selon leur mode d'élaboration et la forme finale.
- Selon leur composition chimique.

**e) Fabrication de céramique [43]**

Les étapes de fabrication de céramique sont :

- Stockage et transport des matières premières.
- Préparation des matières premières.
- Façonnage/formage des produits.
- Séchage des produits céramiques.
- Traitement de surface et décoration des produits céramiques.
- Cuisson.
- Traitements ultérieurs ( finition des produits).
- Ajout de matériaux auxiliaires.
- Triage, conditionnement et stockage.

**f) Propriétés de céramique [45]**

- **Propriétés physiques**
  - Les céramiques présentent une bonne isolation thermique.
  - Leur conductivité thermique est très faible.
- **Propriétés chimiques**
  - Les céramiques présentent une bonne inertie chimique.
  - Les céramiques oxydent et résistent beaucoup mieux aux effets corrosifs que certains métaux.
- **Propriétés mécaniques**

**Tableau 9 : Propriétés mécaniques de quelques types des céramiques [LEMA 2009] [45].**

Propriétés	Alumine 97.6% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alumine 99.5% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nitrure d'aluminium	Zircone ZrO <sub>2</sub>	Carbure silicium	Spinnelle MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	3.6	3.85	3.33	5.65	3.2	3.58
Porosité (% absorption d'eau)	0	0	0	0	0	/
Résistance à la flexion (MPa)	295	310	300	545	400	250
Résistance à la compression (MPa)	1750	2100	2000	1700	2200	/
Ténacité (mpa.m <sup>1/2</sup> )	/	/	3.35	6	4	2.2
Conductivité thermique (w.mk)	26.8	29.3	180	2.5	125	5.6
Coefficient de dilatation thermique linéaire 25-1000°C (10/C)	9	9.4	5.6	10	5.2	14.6 (100°C)
Température d'utilisation maximale (°C)	1650	1725	1200	1000	1800	/

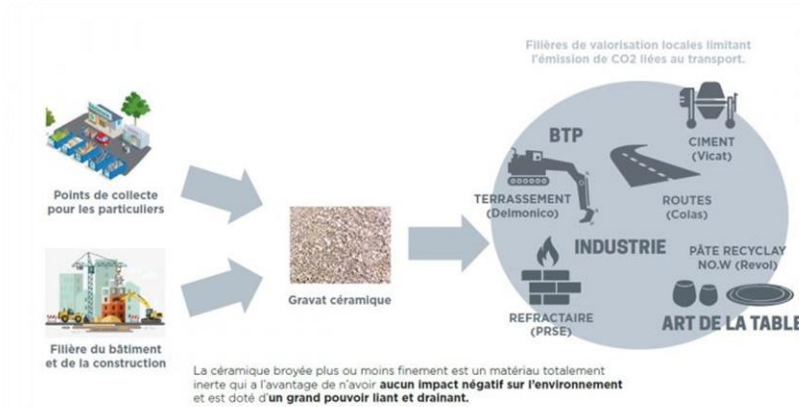
**g) Avantages et les inconvénients de céramique [46]**

**Tableau 10 : Avantages et les inconvénients de céramique.**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résistance à la corrosion</li> <li>- résistance à l'usure</li> <li>- Résistance à l'endommagement</li> <li>- Résistance à la dégradation thermique</li> <li>- Résistance en compression</li> <li>- Isolation thermique &amp; électrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tolérances dimensionnelles difficiles à contrôler pendant le traitement.</li> <li>- Faible tension.</li> <li>- Faible résistance aux chocs.</li> <li>- Peut se fissurer quand il est touché avec des objets lourds.</li> </ul>

### h) Recyclage des déchets de céramique [47]

Le génie civil consomme plus de 80 % du marché total des céramiques. Ces déchets considérés comme ultimes doivent être stockés en sites de Classe III, déchets inertes non dangereux.



**Schéma 5 : Déchet de céramiques[55].**

### 2.5.1.8 Plastiques et déchets plastiques

#### a) Définition [48]

Une matière plastique ou familièrement un plastique désigne un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un produit semi-fini ou à un objet.

Le mot « plastique » dérive de malléabilité ou de plasticité qui est la propriété de la matière de se laisser former (ou déformer) d'une manière durable (par opposition à élasticité : possibilité de déformation temporaire) sous l'action d'une contrainte ou dans certaines conditions de températures.

#### b) Composition [49]

Les matières plastiques sont composées en générale par trois composants qui sont :

**MATIÈRE PLASTIQUE = résine de base (Polymère) + adjuvants + additifs**

#### c) Les types de plastiques

Il y a une grande variété de plastiques :

**Tableau 11 : Les types de plastiques.**

Les thermoplastiques	Les thermodurcissables	Les élastomères
Le polyéthylène (PE) Le polyéthylène à basse densité (PEBD) Le polyéthylène à haute densité (PEHD) Le polypropylène (PP) Le polystyrène (PS) Le polyéthylène téréphtalate (PET) Le polychlorure de vinyle (PVC)	Les polyuréthannes (PUR) Les aminoplastes (MF) Les polyesters insaturés Les silicones	

d) Mode de fabrication [50]

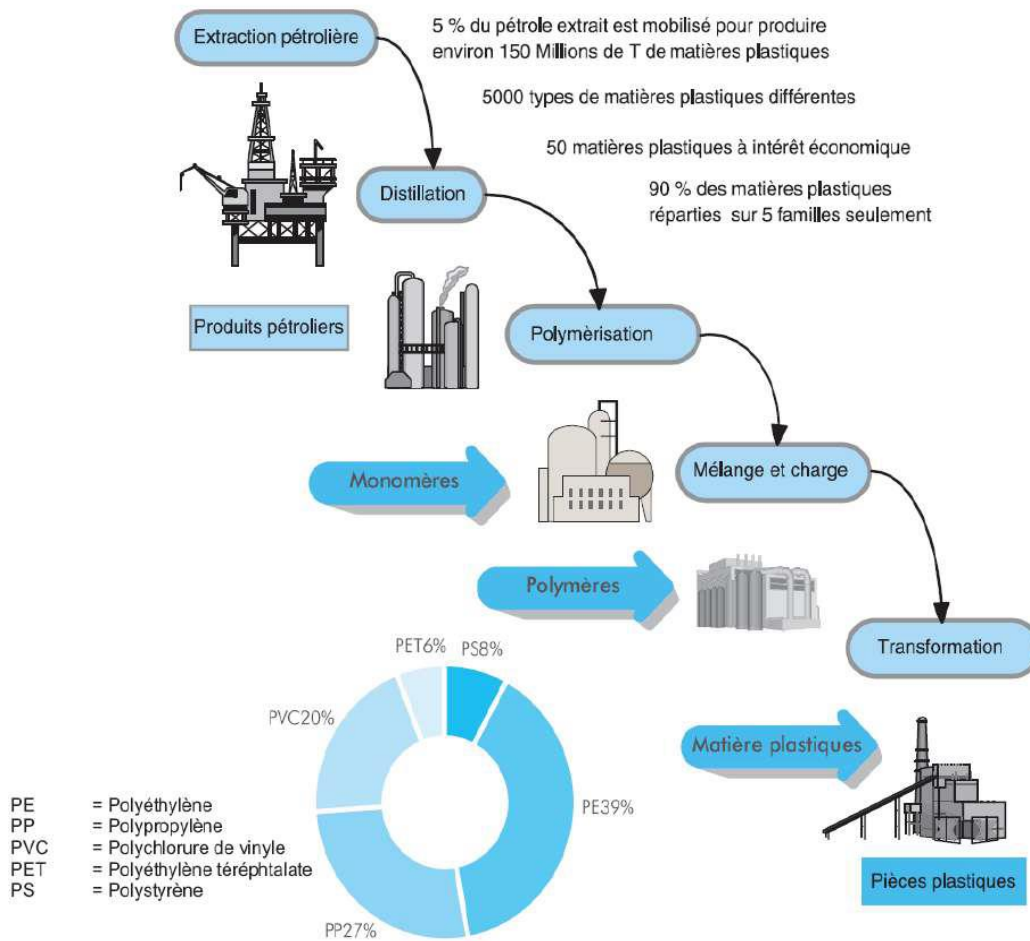


Schéma 6 : Le cycle de production des matières plastiques.

e) Utilisation de déchets plastique [51]

L'utilisation des matériaux plastiques dans le mortier et le béton a fait l'objet de nombreuses recherches. Dans le passé, les plastiques étaient principalement utilisés dans le béton sous deux formes :

- (1) les granulats plastiques, qui remplaçaient les granulats naturels.
- (2) les fibres plastiques, utilisés dans le béton fibré.

f) Avantages et les inconvénients de plastique

Tableau 12 : Avantages et les inconvénients de plastique.

Avantages	Inconvénients
- Sa grande dureté flexibilité et plasticité. - Haute résistance aux forces (traction et compression). -Résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact. -Propriétés d'isolation thermique et électrique.	-La pollution (océans, sols, l'air...). -Les impacts sur la santé. -L'épuisement des ressources.

### g) Recyclage des plastiques

Le recyclage mécanique est un processus de récupération des déchets plastiques pour une réutilisation dans la fabrication de nouveaux produits plastiques. Le recyclage mécanique des déchets plastiques implique un certain nombre de traitements et des étapes de préparation :



Schéma 7 : Processus de recyclage mécanique des déchets plastiques.

### 2.5.2 Déchets pour liants hydrauliques

#### 2.5.2.1 Ciments au laitier [29]

Deux modes principaux de fabrication des ciments au laitier sont utilisés :

- Addition de laitier, en remplacement des argiles, aux matières premières ou « cru » de cimenterie.
- Addition de laitier granulé (sable de laitier) au clinker et au gypse lors du broyage du ciment.



Figure 25 : Ciment avec laitier.

### 2.5.2.2 Ciments aux cendres [29]

Les cendres volantes sont des sous-produits de la combustion du charbon, de la biomasse ou des déchets. Elles sont constituées de particules minérales finement divisées qui sont récupérées par dépoussiérage des fumées.

Les cendres volantes sont utilisées dans la fabrication du ciment comme matière première. Elles peuvent être ajoutées au broyeur avec les autres constituants (clinker, gypse, laitiers) pour former la pâte crue.



Figure 26 : Les cendres volantes.

### 2.5.2.3 Autres types de déchets utilisés en cimenterie [29]

Les autres types de déchets utilisés en cimenterie sont :

- Les déchets des industries extractives (ardoise, kaolin, baryte,)



Figure 27 : Kaolin sac 25 kg.



Figure 28 : Baryte.

- Les goudrons de houille et de raffinage du pétrole



Figure 29 : Les goudrons de houille.

- Les sels résiduaire.



Figure 30 : Les sels.

- Les boues rouges bayé.



Figure 31 : les boues rouges.

- Les déchets organiques : aminés, butanol...

## 2.6 Conclusion

Le bon traitement et la bonne gestion des déchets permettent de limiter les impacts nuisibles sur les plans environnemental et sanitaire et d'offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent dans le processus de construction de génie civil.

L'enjeu de cette étude n'est donc pas de subvenir à un manque actuel de granulats naturels mais plutôt de contribuer à la diminution de l'épuisement des ressources naturelles pour l'avenir, point fort de protection environnementale.

La valorisation de ces granulats issus du recyclage présente un intérêt d'ordre économique, technique et environnemental. Le réemploi de ces matériaux dans la fabrication des bétons contribuerait à la prolongation de la durée de vie des carrières existantes et au même temps à l'élimination des déchets dans les décharges.

Par ailleurs, ces granulats recyclés pouvant se substituer aux granulats naturels, ceci permet de résoudre dans l'avenir le manque de granulats naturels.

Néanmoins, il est nécessaire d'approfondir les connaissances sur les propriétés de ces déchets (granulats recyclés) destinés pour bétons ou mortiers en fonction de leur origine, ce qui facilitera leur valorisation.

# **CHAPITRE 3**

## **Matériaux et procédures expérimentales**

### Introduction

L'objectif de cette partie est de passer en revue les connaissances actuelles les plus pertinentes sur les différentes caractéristiques des granulats recyclés utilisés dans cette étude et l'action de ces granulats recyclés sur les bétons. Notre recherche bibliographique s'appuie sur les études les plus récentes dans le domaine ainsi que sur la normalisation française et européenne, ce qui nous a permis de dégager les principaux arguments sur lesquels nous appuyons notre approche méthodologique pour l'étude des bétons.

Nous présentons dans cette section toutes les étapes du Protocole expérimental réalisé au sein du Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (LTPE).

Cette étude concerne l'étude du comportement d'un béton à base de déchets de brique. On substitue une quantité du sable par du sable de brique (30%,50%,70% et 100%) respectivement, et leurs influences sur les bétons ordinaires, de façon à mieux comprendre leur comportement vis-à-vis de la présence de ces granulats.

On a abordé aussi dans ce chapitre, la composition des différents bétons en adoptant la méthode Dreux-Gorisse pour les bétons ordinaires, avec présentation de tous les mélanges retenus dans cette étude. La formulation des bétons à base des agrégats recycle et de déchets brique.

Enfin, tous les résultats concernant cette partie de notre mémoire sont représentés sous forme de graphes, tableaux et histogrammes pour pouvoir faire une interprétation des différents résultats.

### 3.1 Matériaux utilisés

#### 3.1.1 Sable

Dans tous les mélanges de notre étude, nous avons utilisés un sable local prélevé de carrière Ain Abid Constantine ; il s'agit d'un sable de classe granulaire (0/3mm) et un sable de brique de même fraction.



Figure 32 : Sable de brique [LTPE,2024].

#### 3.1.2 Ciment

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment portland composée **CPJ-CEM II/A-M (S- L) 42,5N**. Il provient de la cimenterie Hadjar EL-Soud (Wilaya de Skikda). Ce produit convient pour les bétons armés et non armés, préfabriqués ou précontraints, étuvés et auto étuvés ; le génie civil (ouvrages et routes) et les constructions (logements, locaux commerciaux et industriels).

### 3.1.3 Gravier

Pour assurer une bonne maniabilité (fluidité) à notre béton, nous avons choisi deux types de gravier, il s'agit de gravier (8/15) et gravier (15/25), provenant pour notre région du gisement de carrière Ain Abid Constantine.

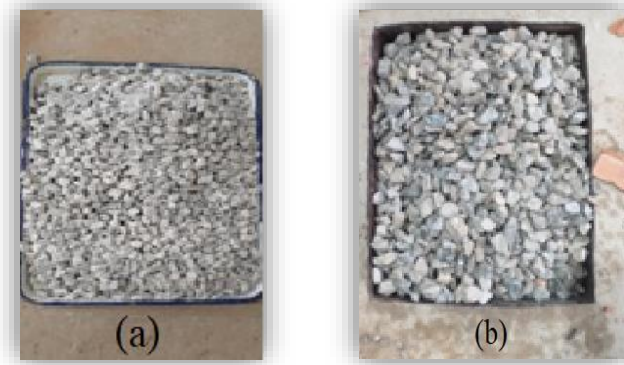


Figure (a , b) 33: Deux types de gravier (8/15) et (15/25) [LTPE,2024].

### 3.1.4 Eau

L'eau utilisée est celle du robinet de laboratoire (LTPE).

### 3.1.5 Adjuvant (Super plastifiant)

L'adjuvant utilisé est SIKAPLAST BV40+ qui est un super plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de poly carboxylates modifiés.

Tableau 13 : Quelques caractéristiques de SIKAPLAST BV+40[1].

Caractéristique	Forme	Couleur	PH	Densité
Résultat	Liquide	Marron	4,7±1	1,04±0,015

## 3.2 Essais réalisés

### 3.2.1 Essais sur granulats

#### 3.2.1.1 Analyse Granulométrique (NF P 18-560 septembre 1990) [4]

La connaissance de la courbe granulométrique des granulats est nécessaire pour déterminer la composition optimale du béton.



Figure 34 : Tamis d'analyse granulométrique de sable et gravier [LTPE,2024].

### a) But de l'essai

L'analyse granulométrique pour but de définir la répartition des grains constitutifs d'un sol par classe de taille ; elle est réalisée :

- Par un tamisage mécanique pour les grains supérieurs à 0.080 mm.
- Par un essai de sédimentation pour les particules inférieures à 0.080 mm.

Cette classification donne des informations intéressantes sur la composition des granulats qui constituent l'échantillon, c'est-à-dire les composantes de sable et de gravier.

### b) Principe de l'essai

Pour un échantillon donné, il s'agit, au moyen d'une série des tamis, de séparer les grains en fonction de leur dimension.

On utilise généralement une série de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissant du haut vers le bas. Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision projetée. Les masses des différents refus (ou, par soustraction, celles des différents tamisât) sont rapportées à la masse initiale de matériau. Les pourcentages, ainsi obtenus, sont exploités soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

### c) Le calcul

On note les masses des refus partiels ( $M_i$ ), on calcule les pourcentages des refus partiels donné par la relation suivante : **Refus(i) % =  $M_i / M_t$**  la masse totale de l'échantillon.

On trace la courbe granulométrique après le calcul du pourcentage des tamisât partiels par la formule suivante : **Tamisat (i) = 100 – refus (i) %**

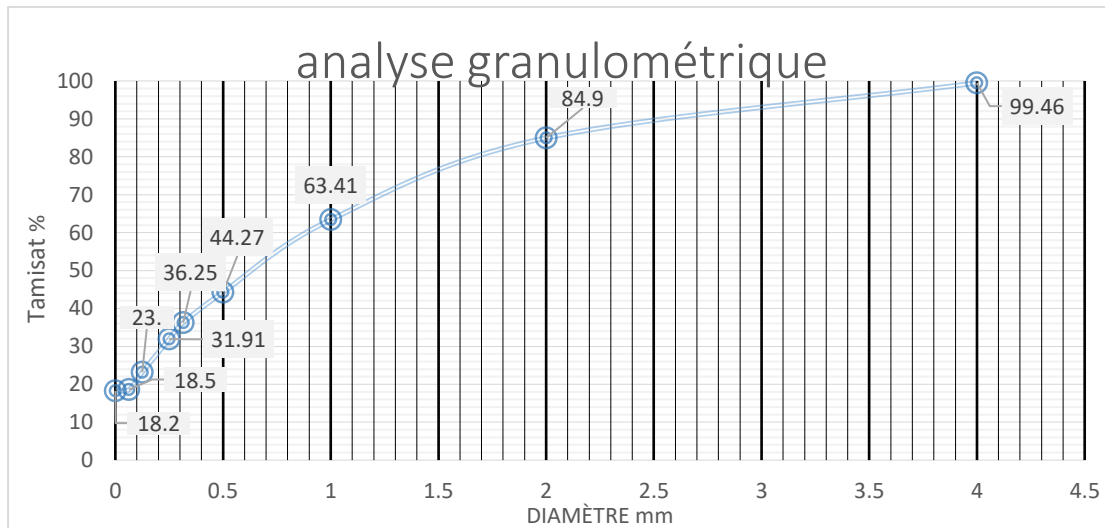
Les résultats des différents tamisages sont présentés dans les tableaux suivants :

- Nous avons utilisé une masse de 1200 g du sable.

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

**Tableau 14 : Analyse granulométrique du sable carrière.**

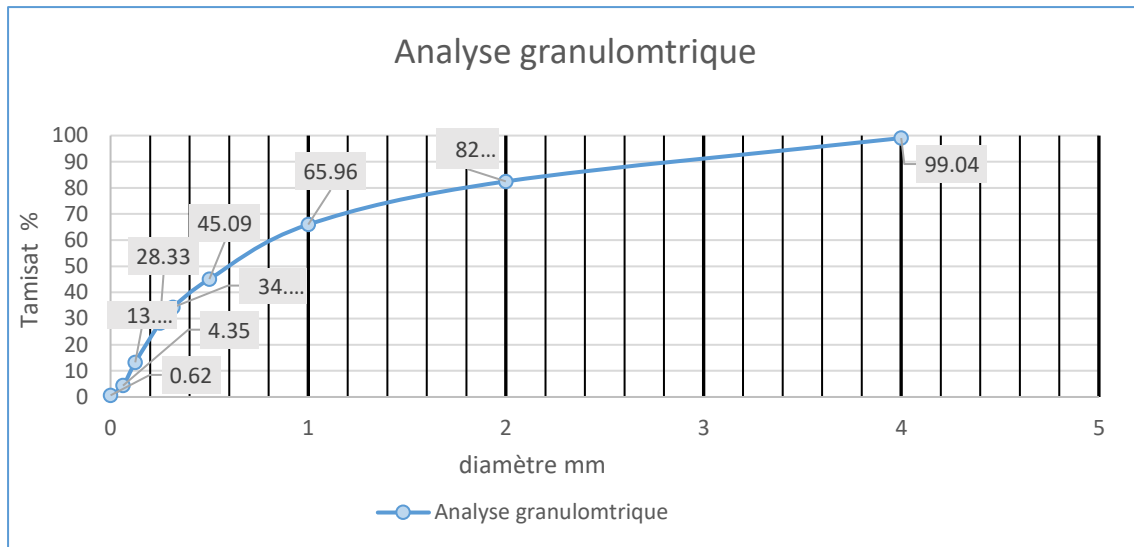
Diamètre mm	Masse de refus g	Masse de refus cumulés g	Pourcentage de refus cumulés %	Pourcentage de passants cumulés %
4	6,46	6,46	0,54	99,46
2	173,9	180,36	15,03	84,97
1	258,69	439,05	36,59	63,41
0,5	229,71	668,76	55,73	44,27
0,315	96,19	764,95	63,75	36,25
0,25	52,15	817,1	68,09	31,91
0,125	104,87	921,97	76,83	23,17
0,063	55,12	977,09	81,42	18,58
0	3,65	980,74	81,73	18,27



**Figure 35 : Courbe granulométrique du sable de carrière.**

**Tableau 15 : Analyse granulométrique du sable de brique.**

Diamètre (mm)	Masse de refus (g)	Masse de refus cumulés (g)	Pourcentage de refus cumulés (%)	Pourcentage de passants cumulés (%)
4	9,59	9,59	0,96	99,04
2	165,77	175,36	17,54	82,46
1	165,05	340,41	34,04	65,96
0,5	208,69	549,1	54,91	45,09
0,315	108,22	657,32	65,73	34,27
0,25	59,35	716,67	71,67	28,33
0,125	150,79	867,46	86,75	13,25
0,063	89,07	956,53	95,65	4,35
0	37,25	993,78	99,38	0,62



**Figure 36 : Courbe granulométrique du sable de brique.**

### d) Module de finesse de sable (norme NF P18-304)

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF).

Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins.

Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : (0.125–0.25–0.5–1–2–4) mm

Lorsque MF est comprise entre :

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis (0.125-0.25-0.5-1-2-4)}$$

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins.
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel.
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

Après l'analyse granulométrique on trouve que :

Le module de finesse du sable testé est égal à :

$$\frac{1}{100} (0,54 + 15,03 + 36,59 + 55,73 + 76,83 + 68,09) = \mathbf{2.53}$$

Le module de finesse du sable de brique testé est égal à :

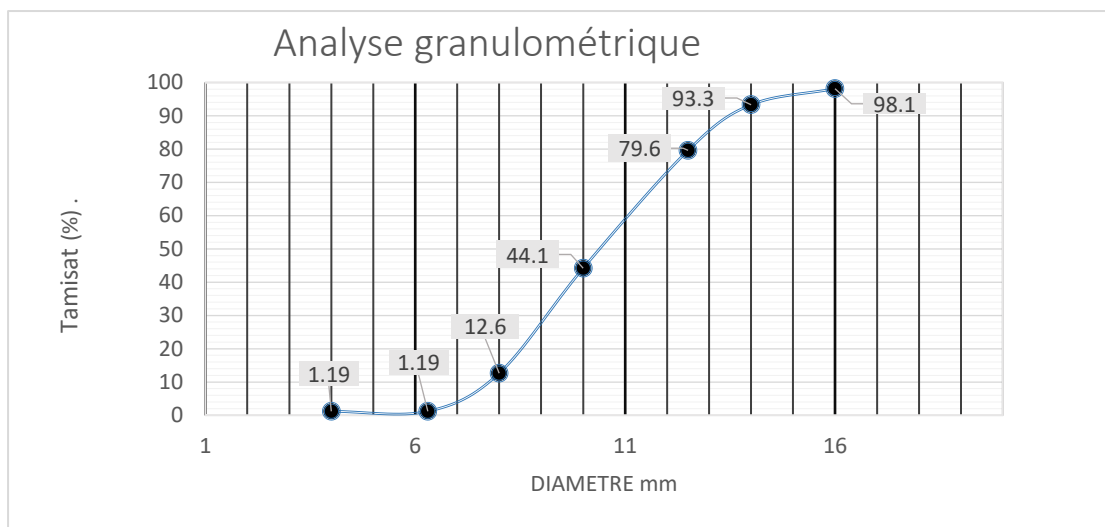
$$\frac{1}{100} (0,96 + 17,54 + 34,04 + 54,91 + 71,67 + 86,75) = \mathbf{2.66}$$

Donc notre sable carrière et sable de brique sont des sables en présence d'un sable préférentiel.

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

**Tableau 16 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.**

Diamètre (mm)	Masse de refus (g)	Masse de refus cumulés (g)	Pourcentage de refus cumulés (%)	Pourcentage de passants cumulés (%)
16	65	65	1,86	98,14
14	168,87	233,87	6,68	93,32
12,5	479,72	713,59	20,39	79,61
10	1239,73	1953,32	55,81	44,19
8	1104,37	3057,69	87,36	12,64
6,3	400,7	3458,39	98,81	1,19
4	0	3458,39	98,81	1,19



**Figure 37 : Courbe granulométrique du gravier utilisé 8/15.**

**Tableau 17 : Analyse granulométrique du gravier 15/25.**

Diamètre mm	Masse de refus g	Masse de refus cumulés g	Pourcentage de refus cumulés %	Pourcentage de passant cumulés %
25	38,38	38,38	0,77	99,23
20	270,18	308,56	6,17	93,83
16	1830,45	2139,01	42,78	57,22
14	1406,35	3545,36	70,91	29,09
12,5	977,5	4522,86	90,46	9,54
10	318,62	4841,48	96,83	3,17
8	117,65	4959,13	99,18	0,82
6,3	22,74	4981,87	99,64	0,36

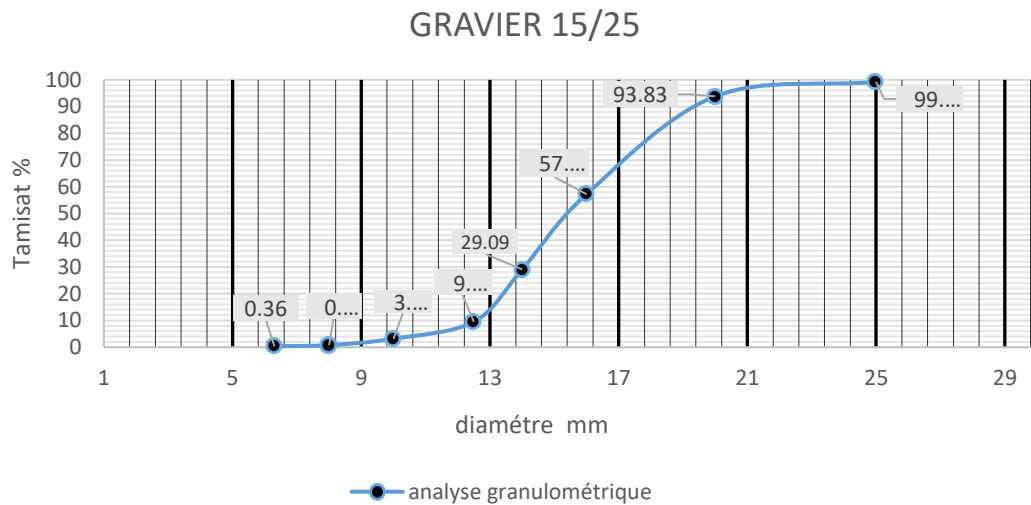


Figure 38 : Courbe granulométrique du gravier utilisé 15/25.

### 3.2.1.2 L'essai d'aplatissement des granules (NA. 255/1990)

#### a) But de l'essai :

La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granules.



Figure 39 : L'essai d'aplatissement des granules [LTPE,2024].

#### b) Principe d'essai :

La forme du gravier est déterminée par l'essai d'aplatissement (A). Le coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granule à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. Plus CA est élevé, plus le gravier contient d'éléments plats. Une mauvaise forme (aiguilles, plats) a une incidence sur la maniabilité et favorise la ségrégation et la dégradation. La forme d'un granule est définie par trois grandeurs géométriques :

- La longueur L ;
- L'épaisseur E ;

### Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

- La grosseur G, dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat. Le coefficient d'aplatissement CA d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation :  $GE > 1.58$

**c) Mode opératoire**

- Tamiser sur les tamis à mailles carrées conformément au principe de l'analyse granulométrique par tamisage ;
- Récupérer les différentes fractions d/D pour chaque classe au gramme près ;
- Tamiser chaque classe granulaire sur les grilles à fentes selon le tableau.

**Me** : Masse des éléments de chaque classe granulaire d/D passant sur la grille correspondante.

**Mg** : Masse de chaque classe granulaire d/D en grammes.  $M = \sum Mg < M0$ .

Coefficient d'aplatissement de chaque classe granulaire :  $C_A = Me / Mg \times 100$

Coefficient d'aplatissement globale est donnée par :  $CA = \sum Me / Mg \times 100$

**Tableau 18 : Résultat d'aplatissement 8/15 [LTPE, 2024].**

Tamis (mm)	Refus (g)	Largeur de fente de la grille (mm)	Passant, grille(g)
16/20	65.00	10±0.2	0.00
12.5/16	648.59	8±0.2	64.82
10/12.5	1239.73	6.3±0.2	138.17
08/10	1104.37	5±0.2	116.67
6.3/8	400.70	4±0.15	51.42
5/6.3	25.25	3.15±0.15	1.42
04/05	0.00	2.5±0.15	0.00
<b>M1 = 3483.64g</b>		<b>M2 = 372.50g</b>	
<b>A = 10.69g</b>			

**Tableau 19 : Résultat d'aplatissement 15/25 [LTPE,2024].**

Tamis (mm)	Refus (g)	Largeur de fente de la grille (mm)	Passant, grille(g)
25/31.5	38,38	16±0.4	27.30
20/25	270,18	12.5±0.4	36.35
16/20	1830,45	10±0.2	168.96
12.5/16	2383.85	8±0.2	258.75
10/12.5	318,62	6.3±0.2	19.12
08/10	117,65	5±0.2	4.22
6.3/8	22,74	4±0.15	2.14
5/6.3	0.00	3.15±0.15	0.00
04/05	0.00	2.5±0.15	0.00
<b>M1 = 4981.87g</b>		<b>M2 = 516.84g</b>	
<b>A = 10.37g</b>			

### 3.2.1.3 Masse volumique (NF EN 1097-6) :

#### a) Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau avec tous vides inclus, exprimée en Kg/m<sup>3</sup>.

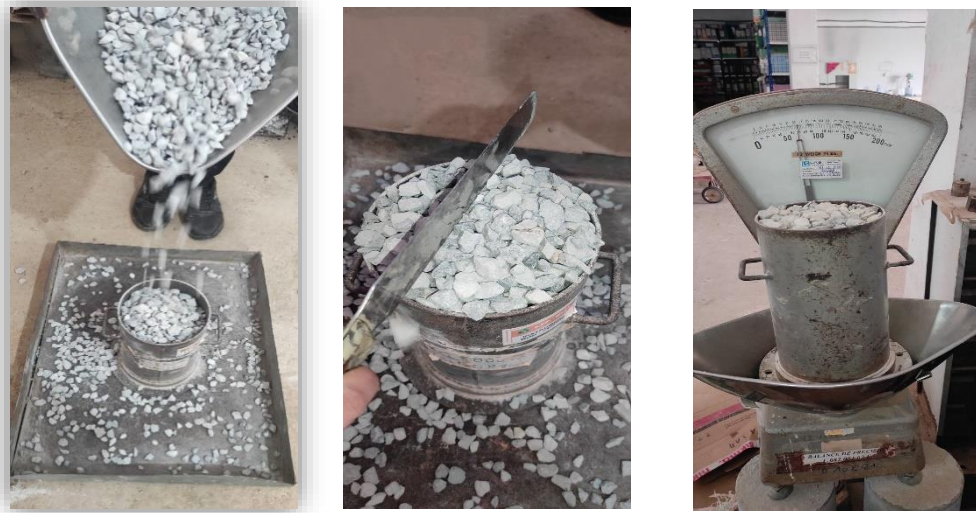


Figure 40 : l'essai de la masse volumique apparent [LTPE,2024].

#### a) Principe :

La masse volumique apparente sèche  $\rho_d$  est la masse de granulats secs ( $M_s$ ) occupant un volume apparent.  $\rho_d = M_s/V$

#### b) Matériel nécessaire :

- Un récipient cubique ou cylindrique de volume connu et dont la taille est adaptée aux granulats
- Une règle à araser métallique
- Une main écope pour le remplissage
- Une balance de portée 6 kg, précision 1 g
- Des bacs en plastique pour effectuer les essais.

#### c) Mode opératoire :

- Déterminer le volume du récipient = V
- Noter la masse du récipient propre et vide = M1
- Placer le récipient dans le bac en plastique
- Verser les granulats secs, par couches successives et sans tassement : utiliser les mains comme entonnoir naturel.
- Araser à l'aide de la règle métallique, à laquelle on imprime un mouvement horizontal de va et vient, le récipient étant attaqué le long d'une diagonale horizontale
- Noter la masse du récipient rempli = M2

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

- Vider le granulat dans un bac en plastique et jeter son contenu dans la benne extérieure
- Renouveler l'opération 2 fois.

**Tableau 20 : Masse volumique apparente du granulats [LTPE,2024].**

	N° D'essai	M1(g)	M2 (g)	V (cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app\ moy}$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Gravier 8/15</b>	1	5681	12917	5000	1.447	1.41
	2	5681	12557	5000	1.375	
<b>Gravier 15/25</b>	1	5681	12769	5000	1.417	1.40
	2	5681	12662	5000	1.396	
<b>Sable 0/3</b>	1	1370	2979	966	1.665	1.68
	2	1370	3009	966	1.696	
<b>Sable de Brique 0/3</b>	1	1370	2693	966	1.369	1.37
	2	1370	2698	966	1.374	

### b) Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau (les vides exclus).

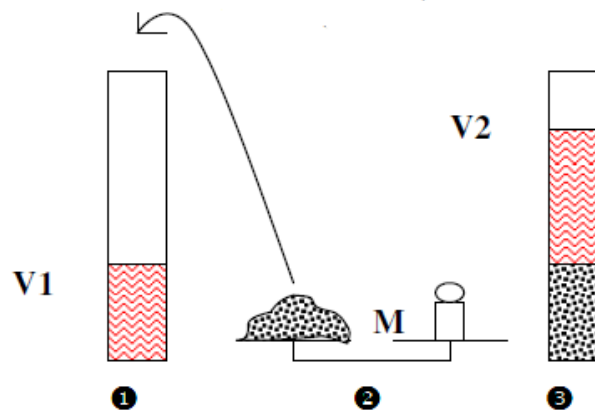


Figure 41 : L'essai de la masse volumique absolue [LTPE,2024].

### d) Principe :

La masse spécifique  $\rho_s$  ou masse volumique absolue est la masse de granulats secs  $M_s$  rapportée au volume absolu  $V_s$  (uniquement volume de solides).

La mesure du volume des solides ne tient pas compte des pores fermés contenus par les granulats.

$$\rho_s = M_s/V_s$$

### e) Matériel nécessaire :

- Des éprouvettes graduées en plastique ;
- Un entonnoir pour le remplissage ;
- Une balance ;
- Des bacs en plastique pour effectuer les essais.

### f) Mode opératoire :

- Placer l'éprouvette dans le bac en plastique ;
- Verser de l'eau dans l'éprouvette (demi-hauteur) et noter V1.

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

- Préparer un échantillon de granulats secs de masse M1
- Verser l'échantillon dans l'éprouvette à l'aide de l'entonnoir et provoquer le départ des vides en remuant le mélange avec la tige agitateur
- Noter le nouveau volume d'eau dans l'éprouvette V2.

**Tableau 21 : Masse volumique absolue du granulats [LTPE,2024].**

	N° D'essai	V1 (cm <sup>3</sup> )	V2 (cm <sup>3</sup> )	M (g)	$\rho_{\text{aps}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{\text{aps moy}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Gravier</b> 8/15	1	400	515.30	300	2.602	2.64
	2		512.02		2.678	
<b>Gravier</b> 15/25	1		515.70		2.593	2.67
	2		509.21		2.747	
<b>Sable</b> 0/3	1		512.86		2.658	2.63
	2		515.30		2.602	
<b>Sable de</b> <b>Brique 0/3</b>	1		509.37		2.743	2.70
	2		512.91		2.657	

### 3.2.1.4 Résistance au choc : essai los Angeles : NA 458/1990

#### a) But de l'essai :

L'essai Los Angeles a pour but de déterminer la résistance à la fragmentation par choc et la résistance obtenue par frottement des granulats.

#### b) Principe de l'essai :

- Faire rouler dans un tambour rotatif un échantillon de granulats mélangé à des boules d'acier.
- À la fin, en évalue la quantité de matériau retenu sur le tamis de 1.6 mm.
- Il se pratique sur une des six classes granulaires qui sont : (4/8) ou (6.3/10) ou (10/14) ou (8/11.2) ou (11.2/16) ou (31.5 /50).
- On place un échantillon de 5 kg de granulat et 8 à 12 boulets d'aciers dans un tambour pouvant tourner de son axe, la charge des boules est fixée conformément aux indications du tableau ci-après.

**Tableau 22 : Adaptation des charges des boulets correspondant à la classe granulaire.**

Classes granulaires (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge
10 à 14	11	4690 à 4860
4 à 8	8	3410 à 3540
6.3 à 10	9	3840 à 3980
8 à 11.2	10	4260 à 4420
11.2 à 16	12	5120 à 5300
31.5 à 50	12	5120 à 5300

#### c) Mode opératoire :

- Classe granulaire : 15/25 \_\_\_ 8/15 et définir la classe granulaire choisie : (10-14)
- Tamiser à sec selon la classe granulaire choisie
- Laver l'échantillon et étuver l'échantillon à 105°C et peser 5000 g
- Définir le nombre de boulet : 12 (15/25) et 11 (8/15)
- Déterminer la masse des boulets

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

- Mettre la machine en marche
- Recueillir le matériau
- Tamiser le matériau sur un tamis 1.6 et étuver le refus à 105°C
- Peser le refus M'en (g)
- Calculer le pourcentage :  $(5000-M') / 5000$

Tableau 23 : Résultats d'essai de Los Angeles du gravier [LTPE,2024].

Désignation	Granularité	LA (10-14)
Carrière	Gravier 15/25	23.96
Ain Abid Constantine	Gravier 8/15	

A partir du coefficient LA, les granulats sont qualifiés comme suit :

$20 < LA < 30$  : moyen à faible.

### 3.2.1.5 Résistance a l'usure : essai micro-Deval : NA 458/1990



Figure 42 : Résistance a l'usure : essai micro-Deval [LTPE,2024].

#### a) But de l'essai :

Consiste à mesurer, dans des conditions normalisées, l'usure des granulats produite par frottement mutuels.

#### b) Principe de l'essai :

L'essai consiste à introduire des granulats dans le cylindre de la machine MDe, avec de l'eau et des billes de taille normalisée équivalente à celle des gravillons. Lors de la rotation du cylindre, les gravillons frottent sur les billes. La masse des éléments inférieurs à 1.6 mm à la fin de l'essai donne la résistance à l'usure du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant à l'usure.

#### c) Mode opératoire :

- Prélever un échantillon de 2000 g classe granulaire : 15/25 - 8/15
- Définir la classe granulaire choisie : (10-14)
- Tamiser à sec selon la classe granulaire choisie et laver l'échantillon et étuver l'échantillon à 105°C et peser 500 g
- Peser la charge abrasive 2000 (g) (15/25) / (8/15)
- En présence 2.5 litres d'eau par cylindre.
- Régler la vitesse de rotation 100t/min
- Laisser le cylindre en rotation pendant 2 heures
- Recueillir le matériau
- Tamiser le matériau sur un tamis 1.6

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

- Étuver le refus à 105°C et peser le refus en (g)
- Calculer le pourcentage :  $(500-M') / 500$

Tableau 24 : Résultats d'essai de Micro Deval [LTPE,2024].

Fraction de Gravier	Masse de l'eau (kg)	Masse de boules (kg)	M (g)	Coef MicroDeval (%)
Gravier 8/15	2.5	2	500	17.75
Gravier 15/25				

### 3.2.1.6 Equivalant de sable (NF P 18-598 Octobre 1991)



Figure 43 : L'essai Équivalent de sable [LTPE,2024].

#### a) But de l'essai

L'essai équivalent de sable permet de mettre en évidence la proportion de poussière fine nuisible dans un matériau. Et surtout utilisé par les matériaux routiers et les sables à béton. Car il permet de séparer les sables et graviers des particules fines comme les limons et argiles.

L'essai équivalent de sable révèle très intéressant au laboratoire et sur chantier grâce à sa simplicité, sa rusticité, son faible coût et sa rapidité.

#### b) Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction 0.315 mm du matériau étudié. Le tamisage se fait par voie humide pour ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon selon un processus normalisé et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 min, on mesure les éléments suivants :

- La hauteur h1 : sable propre + éléments fins.
- La hauteur h2 : sable propre seulement.

Il y a 2 façons de mesurer h2, soit visuellement pour déterminer ESV (équivalent de sable à vue), soit avec un piston pour déterminer ES.

Le mode opératoire a une grande influence sur le résultat donc il faut le suivre scrupuleusement.

L'essai est effectué avec 120 g de grains. Il est préférable d'utiliser un échantillon humide, pour éviter les pertes des éléments fins du sable.

$$Esv = h2/h1 \times 100$$

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

- $Es < 65$  : Sable argileuse : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour des bitons de qualité.
- $65 \leq Es < 75$  : Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
- $75 \leq Es \leq 85$  : Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
- $Es \geq 85$  : Sable très propre ; l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**Tableau 25 : Les résultats de l'équivalent de sable carrière et sable déchet de brique [LTPE, 2024].**

	h1 (mm)	h2 (mm)	ES (%)	Observation
<b>Sable carrière</b>	12.7	7.7	60.63	Sable argileuse
<b>Sable de brique</b>	14.9	10.4	71.14	Sable légèrement argileux

### 3.2.1.7 Essai au bleu de méthylène [NF EN 933-9][13]



**Figure 44 : L'essai au bleu de méthylène [LTPE,2024].**

#### a) But de l'essai :

L'essai au bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient.

L'essai consiste à mesurer la quantité de colorant (bleu de méthylène) fixée par 200 g de la fraction granulaire analysée.

#### b) Principe :

Des doses d'une solution de bleu de méthylène sont ajoutées successivement à une suspension de la prise d'essai dans l'eau. L'adsorption de la solution colorée par la prise d'essai est vérifiée après chaque addition de solution en effectuant un test à la tache sur du papier filtre pour déceler la présence de colorant libre.

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

---

Lorsque la présence de colorant libre est confirmée, la valeur de bleu de méthylène (MB ou MBF) est calculée et exprimée en grammes de colorant adsorbé par kg de la fraction granulaire testée.

### c) Mode opératoire :

- Les échantillons de laboratoire doivent être réduits conformément au pr EN 932-2 pour obtenir un sous-échantillon contenant au moins 200 g de la fraction 0/2 mm.
  - Sécher le sous-échantillon à  $(110 \pm 5)$  °C jusqu'à masse constante et le laisser refroidir.
  - Passer le sous-échantillon séché au tamis de 2 mm, muni le cas échéant, du tamis de protection et utiliser une brosse à tamis pour s'assurer de la séparation et de la récupération de toutes les particules de la fraction 0/2 mm.
  - Éliminer toutes les particules retenues au tamis de 2 mm et, si nécessaire, réduire la fraction passant au tamis de 2 mm conformément au pr EN 932-2 pour obtenir une prise d'essai d'une masse d'au moins 200g.
  - La masse de la prise doit dépasser 200 g mais pas d'une valeur exacte prédéterminée.
  - Peser la prise d'essai et noter la masse au gramme près (M 1).
  - Verser  $(500 \pm 5)$  ml d'eau distillée ou d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter la prise d'essai séchée en remuant bien avec la spatule.
  - Ajouter dans le bécher  $(30,0 \pm 0,1)$  g de kaolinite
  - Ajouter V' ml de solution colorée dans le bécher où  $V' = 30 MB_K$ , est le volume de solution colorée adsorbée par 30 g de kaolinite.
  - Mettre en marche l'agitateur et déclencher le chronomètre, agiter le contenu du bécher pendant 5 min à  $(600 \pm 60)$  tr/min.
  - Introduire dans le bécher une dose de 5 ml de solution de colorant agité à  $(400 \pm 40)$  tr/min pendant au moins 1 min et effectuer un test à la tache sur le papier filtre.
  - Si après l'ajout des premiers 5 ml de solution de colorant l'auréole n'apparaît pas, effectuer une autre addition de 5 ml de solution de colorant, continuer à agiter pendant 1 min, et faire un autre test à la tâche. Si aucune n'auréole
  - Continuer l'agitation et les tests à la tache jusqu'à ce qu'une auréole reste visible pendant 5 min.
  - Si l'auréole disparaît durant les quatre premières minutes, ajouter une autre dose de 5 ml de solution de colorant.
  - Si l'auréole disparaît à la cinquième minute, ajouté seulement 2 ml de solution de colorant. Dans tous les cas, continuer l'agitation et les tests à la tache jusqu'à ce qu'une auréole reste visible pendant 5 min.
  - Enregistrer le volume total de solution de colorant, V1, ajouté pour obtenir une auréole qui est restée visible pendant 5 min, à 1 ml près.

Valeur au bleu de la fraction 0/3 des sables :

$$MB = V1/M1 \times 10$$

Avec :

**M1** : la masse de la prise d'essai, en (g)

**V1** : le volume total de solution de colorant injectée, en (cm<sup>3</sup>).

Tableau 26 : La Valeur du bleu de méthylène[LTPE,2024].

	M1 (g)	V1 (cm <sup>3</sup> )	MB (g/kg)
Sable carrière	200	35	1,75

### 3.2.1.8 Absorption d'eau (NF P 18-555)

C'est le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion pendant 24 heures à 22°C à la masse sèche de l'échantillon.

Tableau 27 : Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés [LTPE,2024]

	Sable carrière	Sable de brique
A(%)	2,52	16,77

- Nous remarquons que les sables recyclés absorbent beaucoup plus que les sables de carrière.

### 3.2.2 Caractéristiques de ciment

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment portland composée **CPJ-CEM II/A-M (S-L) 42,5N NA442**. Il provient de la cimenterie d'El hadjar-soud (Wilaya de Skikda). Ce produit Convient pour : les bétons armés et non armés, préfabriqués ou précontraints, étuvés et auto étuvée ; le génie civil (ouvrages et routes) et les constructions (logements, locaux commerciaux et industriels).

Le ciment Portland Composé CPJ-CEM II/A 42,5 résulte de la mouture de :

- ❖ 80% de clinker portland.
- ❖ De 10 à 20 % d'ajout (laitier et tuf).
- ❖ De 5% de gypse.

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

Les différentes caractéristiques du ciment sont définies comme suit :

**Tableau 28 : Essais physiques sur éprouvette de ciment[52].**

Les essais physiques sur éprouvette de ciment			
Caractéristique physique NF EN A19-3			
<b>Temps de prise (min)</b>	<b>Début</b>	102	$\geq 60$
	<b>Fin</b>	216	-
<b>Consistance normale</b>		-	-
<b>Expansion (min)</b>	<b>A chaud</b>	2	$\leq 10$
	<b>A froid</b>	1	
Caractéristique mécanique NF EN 196-1			
<b>Désignation</b>			
<b>Résistance à la flexion (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>		7 jours	6.09
		28 jours	8.37
<b>Résistance à la compression (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>		2 jours	15.40
		7 jours	30.40
		28 jours	44
<b>SSB (cm<sup>2</sup>/g)</b>			3200



**Figure 45: Ciment portland composée CPJ-CEM II/A-M (S-L) [LTPE, 2024].**

### 3.2.2.1 Masse volumique du ciment

#### a) Masse volumique apparente

**V** : Le volume du récipient.

**M1** : La masse du récipient propre et vide.

**M2** : La masse du récipient rempli.

**Tableau 29 : Masse volumique apparente d'un ciment[LTPE,2024].**

Ciment CEM II/A-M (S- L) 42,5N NA442					
N° D'essai	M1(g)	M2 (g)	V (cm3)	$\rho_{app}$ (g/cm3)	$\rho_{app\ moy}$ (g/cm3)
1	1370	2460,71	966	1,13	1,09
2	1370	2388,87	966	1,05	

### b) Masse volumique absolue

#### ➤ But de l'essai

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue du ciment anhydre qui varie en fonction de la composition du ciment, tout en restant comprise entre 3,0 et 3,2 g/cm<sup>3</sup>.

#### ➤ Mode opératoire

La détermination de la masse volumique absolue est réalisée à partir de deux mesures.

- Remplir le pycnomètre d'alcool (ou d'eau) et peser cet ensemble M0.
- Vider le pycnomètre
- Introduire à l'aide de la spatule environ 70 g de ciment dans le pycnomètre, noter cette masse M1.
- Remplir ensuite le pycnomètre à moitié, chasser les bulles d'air
- Finir de remplir le pycnomètre
- Peser cet ensemble M2.

**Tableau 30 : La masse volumique absolue du ciment.**

m1(g)	m2(g)	m3(g)	m4(g)	m5(g)	m2 - m1 (cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	mt(g)	Vc (cm <sup>3</sup> )
25.69	70.73	66.65	20	80.89	45.04	0.91	5.76	6.32
$\rho_{abs} = 3,1 \text{ (g/cm}^3\text{)}$								

m1 : La masse du pycnomètre vide

m2 : La masse du pycnomètre rempli d'eau

m3 : La masse du pycnomètre et toluène

m4 : La masse du ciment

m5 : La masse du pycnomètre contenant une masse m5= m4 + m3

Le volume de Léau= m2 - m1

Pt : La masse volumique de toluène  $Pt = (m3 - m1) / V$

mt : La masse de toluène  $mt = m3 - (m5 - m4)$

Vc : Le volume de ciment  $vc : Vc = mt / Pt$

La masse volumique absolue du ciment :  $= mc / Vc$

### 3.2.3 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons est une eau potable de robinet du laboratoire des Travaux Publics LTPE Skikda.

Le tableau suivant rassemble obtenus concernant les analyses chimiques :

Tableau 31 : Analyses chimiques de l'eau de gâchage[52].

Composition	MES	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	C <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	PH
Donnée des résultats en mg/l	912	–	–	60.35	54.08	–	7.34 à T=13.2°

Les résultats obtenus montrent que l'eau testée est apte pour la confection du béton.

### 3.3 Formulations des bétons étudiés

#### 3.3.1 La méthode de « Dreux-Gorisse »[53]

Nous avons choisi la méthode Dreux-Gorisse pour la composition des bétons hydrauliques. Cette méthode est simple à utiliser et a fait l'objet de nombreuses applications dans le monde.

À partir des données de base essentielles, la méthode Dreux-Gorisse permet d'obtenir approximativement, mais rapidement, les compositions des bétons les plus couramment utilisés dans les chantiers algériens.

#### 3.3.2 Calcul de la composition du béton

##### a. Dosage en ciment et en eau

###### ➤ Résistance visée :

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée. Ainsi la résistance visée :

$$f'_{c28} = f_{c28} + 15\% f_{c28} \quad (\text{Eq 1})$$

$$f'_{c28} = 1.15 \times f_{c28} \quad (\text{Eq 2})$$

Le dosage en eau et ciment dépend de la résistance visée, et de la qualité du ciment et des granulats. Ainsi expérimentalement, on établit une relation entre l'ensemble de ces paramètres :

$$f'_{c28} = \sigma'_c \cdot G \cdot (C/E - 0.5) \quad (\text{Eq 3})$$

Avec :

$f'_{c28}$  : Résistance visée à 28 jours ;

$C$  : Dosage du ciment en kg/m<sup>3</sup> de béton ;

$E$  : Dosage de l'eau en l/m<sup>3</sup> de béton ;

$\sigma'_c$  : Classe vraie du ciment en MPa ;

$G$  : Coefficient granulaire. Ce coefficient représente la qualité des granulats. Expérimentalement, il est établi que cette qualité dépend du granulat, mais également de son diamètre selon les valeurs suivantes :

Tableau 32 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.

Qualité des granulats	Dimension D de granulats		
	D ≤ 12,5	20 ≤ D ≤ 31,5	D ≥ 50
	Fins	moyens	Gros
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Cette relation permet de déterminer le rapport C/E :

$$\frac{C}{E} = f'_{c28} / (\sigma'_{c.G}) + 0.5 \quad (\text{Eq 4})$$

Il est à observer à travers cette relation que le dosage en ciment est d'autant plus important que la résistance visée du béton soit forte ; inversement, le dosage en ciment diminue lorsque la résistance du ciment augmente. Pour une résistance visée, il y a également moins besoin de ciment lorsque la qualité ou la dimension des granulats augmentent.

Le problème consiste à délier le dosage en ciment du dosage en eau, ce dernier dépend également de l'ouvrabilité désirée, ainsi en intégrant l'ouvrabilité désirée, expérimentalement, et à partir du rapport C/E, il est possible de déterminer le dosage en ciment par l'abaque suivant en dessus.

La détermination du dosage en ciment s'obtient par cet abaque à double entrée ; en abscisse, la valeur de l'affaissement désirée est entrée et en ordonnée le rapport, C/E ; l'intersection des deux.

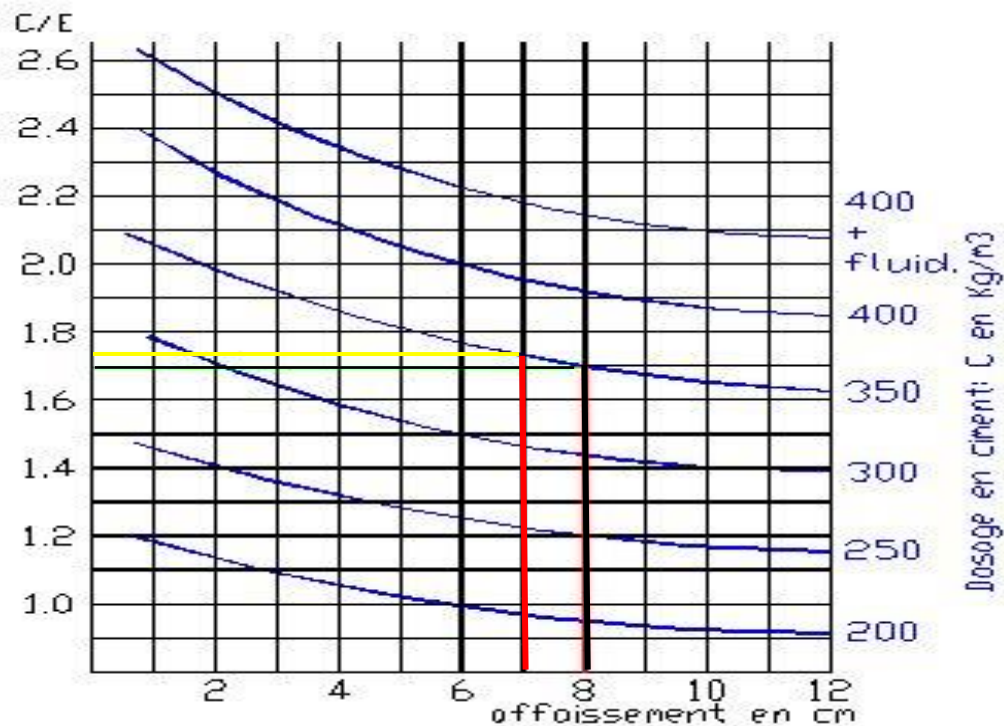


Figure 46 : Dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée.

Il est à observer que plus l'ouvrabilité désirée est importante plus il faut d'eau et plus de ciment. De même le dosage en ciment est limité à 400 kg/m<sup>3</sup> de béton en place. Au-delà le ciment et l'eau seraient en trop forte concentration dans le béton. Cela aurait pour effet de produire des fissures de retrait. Ainsi, pour des rapports C/E et une ouvrabilité à atteindre qui nécessiteraient plus de 400kg de ciment, le dosage en ciment est limité à 400kg et l'ouvrabilité désirée est atteinte en ajoutant un fluidifiant au béton.

### b. Ajustement du dosage en eau

Le dosage en eau est à ajuster. En effet l'eau doit pouvoir humidifier tous les grains du mélange, pour humidifier un grain, il faut d'autant plus d'eau que son diamètre est petit. La quantité d'eau dépend donc également du diamètre des grains à humidifier. Le

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

dosage en eau déterminé est indiqué pour mouiller tous les grains du mélange granulaire d'un diamètre représentatif maximal  $D=25\text{mm}$ . Pour les autres diamètres, il faut majorer ou minorer ce dosage selon ce diamètre  $D$ .

Tableau 33 : Correction du dosage en eau selon le diamètre,  $D$  du mélange granulaire.

Diamètre en (mm)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
Correction en(%)	+9	+6	+4	+2	0	-2	-4	-6

### c. Dosage en pourcentage des granulats

On trace la courbe granulaire de référence sur un graphique d'analyse granulométrique type AFNOR (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), la courbe peut être entièrement déterminée à partir de seulement trois points appelés respectivement, O, origine, A, point de brisure, et B, extrémité. Pour les granulats à béton, il apparaît que les points O et B, sont invariables quel que soit les proportions du mélange.

- Le point **O** est repéré par ses coordonnées :  $[0 ; 0]$ .
- Le point **B** est repéré par ses coordonnées suivantes :  $[D_{\max} ; 100\%]$ .
- Le point de brisure **A** aux coordonnées suivantes :  $[X_A ; Y_A]$ .

Pour le point de brisure A, il apparaît que le tamis sur lequel il se situe est invariable quel que soit les proportions du mélange.

- $X_A = \frac{D_{\max}}{2}$ , si  $D \leq 20\text{mm}$ .
- $X_A = \frac{38 + \text{Module de } D_{\max}}{2}$ , si  $D > 20\text{mm}$ .

Il reste à déterminer le pourcentage de tamisât du point de brisure A. Cette position dépend des proportions du mélange, or, les proportions du mélange influent sur la compacité du béton et par conséquent sur sa résistance.

Le problème consiste donc à déterminer l'ordonnée du point de brisure qui permettra de donner la meilleure compacité au béton, cette position est optimisée par la méthode **DREUXGORISSE**.

L'ordonnée optimisée du point de brisure,  $Y_A$  est déterminée par la relation suivante :

$$Y_A = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p \quad (\text{Eq 5})$$

Cette relation prend en compte l'influence de la forme des granulats, du dosage en ciment, de la vibration, de la finesse du sable et de la mise en oeuvre du béton par une pompe à béton sur la compacité du béton et sa facilité de mise en oeuvre .

**K** : optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment.

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

**Tableau 34 : Valeur correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.**

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Format des granulats		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
<b>Dosage ciment</b>	400	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	+4	0	+2	-2
	350	+2	4+	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

**K<sub>s</sub>** : ajustement de la granularité du sable, pour  $2,2 \leq M_f \leq 2,8$ . ( $M_f$  : module de finesse du sable)

$$K_s = 6 \times M_f - 15 \quad (\text{Eq 6})$$

**K<sub>p</sub>** : ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par les pompes à béton

- **K<sub>p</sub>** = 0 : Si béton non pompable.
- $5 \leq K_p \leq 10$  : Si béton pompable.

Les proportions de sable et de gravier nécessaire obtenu à partir d'une méthode graphique appelée la ligne de partage.

### ➤ La ligne de partage

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulats au point d'ordonnée 5% de la courbe granulaire du plus gros granulats. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et de gravier, ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamisât correspondant à ce point d'intersection, ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.

### ➤ Dosage en masse des granulats

Quelles masses de gravier et de sable correspondent aux proportions du mélange granulaire ?

La réponse s'obtient par la connaissance de la compacité du béton et des masses volumiques absolues des matériaux.

La meilleure compacité est obtenue en vérifiant les proportions du mélange granulaire, mais indépendamment de cela, elle dépend également du diamètre, D des granulats, des conditions de vibration du béton et de sa plasticité, l'expérience permet de prévoir approximativement la compacité du béton selon les valeurs suivantes :

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

**Tableau 35 : Coefficient de compacité ( $\gamma$ ).**

Consistance	Serrage	Coefficient $\gamma$ en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=31.5	D=50	D=80
<b>Molle</b>	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
<b>Plastique</b>	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
<b>Ferme</b>	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

➤ Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V_{abs} = 1000\gamma - V_c \quad (\text{Eq 7})$$

Avec :  $V_c$  : volume du ciment.

$$V_c = C / \rho_c \quad (\text{Eq 8})$$

$\rho_c$  : Masse spécifique du ciment.

➤ Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite :

• **Sable :**

$$V_s (L) = P_s * V_{abs} \quad (\text{Eq 9})$$

$P_s$  : Le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

• **Gravier :**

$$V_g (L) = P_g * V_{abs} \quad (\text{Eq 10})$$

$P_g$  : Le % du gravier obtenu à partir de la courbe granulométrique.

➤ Les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont  $M_s$  et  $M_g$ , les masses de chacun d'eux seront :

• **Sable :**

$$M_s (kg) = V_s * \rho_s \quad (\text{Eq 11})$$

• **Gravier :**

$$M_g (kg) = V_g * \rho_g \quad (\text{Eq 12})$$

• **La masse totale des granulats :**

$$M_t = M_s + M_g$$

### 3.3.3 Application de la méthode (Formulation de béton)

Dans le cadre de cette étude. Deux séries des bétons qui ont été conçus avec les deux types de sable recyclé et normale, et ce dans des proportions bien définis.

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

- Sable Ain Abid Constantine.
- La deuxième série est composée partiellement de sables recyclés : (sables issus du concassage de brique rouge).

Le pourcentage des constituants du chaque série résumée dans le tableau :

**Tableau 36 : Le pourcentage de (SC, SDBR).**

Sable carrière (%)	100	70	50	30	0
Sable de brique (%)	0	30	50	70	100

### a) Les données nécessaires

- La fluidité requise du béton frais après le tableau :

**Tableau 37 : La fluidité requise du béton frais[13].**

Affaissement (Cm)	Consistance	Type De Construction
5-15	Plastique, très plastique	dalle pleine, fondation ...

- L'affaissement :  $Af = 7 \text{ cm}$
- La grosseur maximale des grains de gros granulats :  $D_{\max} = 25 \text{ mm}$
- La résistance désirée pour le béton à 28 jours est :  $f_{c28} = 23 \text{ MPa}$
- La résistance visée vaut alors :  $f'_{c28} = 26 \text{ MPa}$
- La masse volumique absolue du ciment :  $\rho_{abs} = 3,1 \text{ g/cm}^3$ .
- La qualité des granulats concassé est bonne courante et vibration normale.

### b) Calcule de la composition de béton

#### ➤ Dosage en ciment

Le ciment est caractérisé par un affaissement au cône A-C et le rapport C/E alors le dosage en ciment est de 350 Kg/m<sup>3</sup>.

#### ➤ Dosage en eau

La quantité d'eau sera estimée : 158 L

#### ➤ Dosage en granulats

#### Tracé de la courbe granulaire de référence AOB

Nous traçons une courbe de référence **OAB** avec :

- Le point **O** est repéré par ses coordonnées : [0 ; 0]
- Le point **B** est repéré par ses coordonnées suivantes : [25 ; 100%]
- Le point de brisure **A** aux coordonnées suivantes : [11.5 ; 48%]

On a :  $D > 20 \text{ mm} \implies X = 11.5 \text{ mm}$

$$Y_A = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p = 50 - \sqrt{25} + 2 + 0.18 + 0 = 48\%$$

- $E/C = 158/350 = 0.45$
- Compacité( $\gamma$ ) :  $\gamma_{\text{corrigé}} = 0.84 - 0.03 = 0.810$
- Le volume absolu de ciment :  $V_c = 350/3.1 = 113 \text{ L}$
- Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V_{\text{abs}} = 1000 * 0.810 - 113 = 697 \text{ L}$$

Les lignes de partage de 95% et 5% d'ordonnée sont tracées sur la courbe granulométrique et on obtient les pourcentages des granulats suivants :

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

**Tableau 38 : Les pourcentages des granulats.**

Les granulats	Sable 0/3	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Les pourcentages %	48%	29%	23%

- **Dosage en volume**

**Tableau 39 : Dosage en volume des granulats.**

Les granulats	Sable 0/3	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Les volumes secs (L)	335	202	160

- **Dosage en masse :**

**Tableau 40 : Dosage en masse des composants.**

	Volumes sèches (L)	$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Masse (kg/m <sup>3</sup> )
Gravier 8/15	202	2.64	533.28
Gravier 15/25	160	2.67	427.20
Sable 0/3	335	2.63	881.05
Ciment	113	3.1	350

➤ **La composition de béton pour 1 m<sup>3</sup>**

La formulation complète des mélanges du 1 m<sup>3</sup> de béton pour des dosages de ciment respectifs de 350(Kg/m<sup>3</sup>) dans le tableau suivant :

**Tableau 41 : Formulation des mélanges de béton(Kg/ m3) [LTPE,2024].**

Proportion		Les quantités des matériaux utilisées pour 1 m <sup>3</sup> de béton						
		Ciment kg/m <sup>3</sup>	Eau l/m <sup>3</sup>	Adjuvant Kg/m <sup>3</sup>	Gravier 8/15 kg/m <sup>3</sup>	Gravier 15/25 kg/m <sup>3</sup>	Sable Kg/m <sup>3</sup>	
SC	SDBR						SC	SDBR
100	0	350	158	3.6	533.28	427.20	881.05	0
70	30		205.64				616.74	271.35
50	50		212.90				440.52	452.25
30	70		232.79				264.32	633.15
0	100		280.14				0	904.50

### 3.3.4 Préparation de mélange

➤ **Pour éprouvette de compression**

Pour préparer les quantités de matériaux utilisés dans le mélange en fonction des tailles éprouvettes cubique (10x10x10), à partir de formulation de béton pour 1m<sup>3</sup>.

Volume éprouvette cubique = 0.001 m<sup>3</sup>

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

**Tableau 42 : Formulation des mélanges de béton avec un dosage de ciment (0.350Kg/ m<sup>3</sup>) [LTPE,2024].**

Proportion		Les quantités des matériaux utilisées pour 0.001 m <sup>3</sup> de béton						
		Ciment kg/m <sup>3</sup>	Eau l/m <sup>3</sup>	Adjuvant Kg/m <sup>3</sup>	Gravier 8/15 kg/m <sup>3</sup>	Gravier 15/25 kg/m <sup>3</sup>	Sable Kg/m <sup>3</sup>	
SC	SDBR						SC	SDBR
100	0	0.350	0.158	0.0036	0.533	0.427	0.881	0
70	30		0.206				0.617	0.271
50	50		0.213				0.441	0.452
30	70		0.233				0.264	0.633
0	100		0.280				0	0.905

➤ **Pour éprouvette de traction**

Pour préparer les quantités de matériaux utilisés dans le mélange en fonction des tailles éprouvettes cubique (7x7x28), à partir de formulation de béton pour 1m<sup>3</sup>.  
 Volume éprouvette cubique = 0.0014m<sup>3</sup>

**Tableau 43 : Formulation des mélanges de béton avec un dosage de ciment (0.490Kg/ m<sup>3</sup>) [LTPE,2024].**

Proportion		Les quantités des matériaux utilisées pour 0.0014 m <sup>3</sup> de béton						
		Ciment kg/m <sup>3</sup>	Eau l/m <sup>3</sup>	Adjuvant Kg/m <sup>3</sup>	Gravier 8/15 kg/m <sup>3</sup>	Gravier 15/25 kg/m <sup>3</sup>	Sable Kg/m <sup>3</sup>	
SC	SDBR						SC	SDBR
100	0	0.490	0.221	0.005	0.747	0.598	1.233	0
70	30		0.288				0.863	0.380
50	50		0.298				0.617	0.633
30	70		0.326				0.370	0.886
0	100		0.392				0	1.266

### 3.3.5 Malaxage du béton[53]

Le malaxeur utilisé est un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 50 litres. La séquence de malaxage est la suivante :

**a) Préparation des moules**

- Vérifier le nombre et l'état des moules.
- Graisser les moules pour faciliter le décoffrage.



Figure 47 : Préparation des moules [LTPE, 2024].

### b) Préparation du matériel

- Vérifier que tout le matériel est à disposition.
- S'assurer que les matériaux sont bien séchés.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour le gâchée.
- Ajouter le super plastifiant à la première moitié de l'eau de gâchée.



Figure 48 : Préparation du matériel [LTPE, 2024].

### c) Versement des constituants

- Verser les granulats dans la cuve, en commençant par les gravillons.
- Puis verser le sable.
- Enfin verser le ciment.



Figure 49 : Versement des constituants [LTPE,2024].

### d) Malaxage

- Mettre le malaxeur en marche et homogénéiser le mélange sec pendant 3 à 5 minutes.
- Ajouter l'eau pendant que le malaxeur tourne.
- Ajouter progressivement la première moitié d'eau de gâchée (celle qui contient l'adjuvant).
- Puis ajouter la partie restante d'eau.
- Malaxer pendant 3 minutes.



Figure 50 : Malaxage de béton [LTPE,2024].

### e) Affaissement au cône d'Abram[13]

L'essai d'affaissement du béton est un essai de mesure de consistance qui permet de déterminer la capacité du béton à s'écouler sous son propre poids. Il est effectué conformément à la norme (NF EN 12350-2).



Figure 51 : Affaissement au cône d'Abram [LTPE,2024].

### a) Matériels

- Un cône d'Abram : un moule métallique en forme de cône tronqué de 30 cm de hauteur et de 16 cm de diamètre à la base.
- Une tige métallique normalisée de 1,6 cm de diamètre et dont l'extrémité est arrondie.
- Un plateau de base lisse.

### b) Procédure

- Placer le cône sur le plateau de base, la petite ouverture vers le haut.
- Remplir le cône de béton en trois couches d'égal volume.
- Compacter chaque couche avec 25 coups de la tige métallique.
- Araser le dessus de la surface du béton avec la tige métallique.
- Retirer le cône lentement et sans à-coups.
- Mesurer la hauteur de l'affaissement, qui est la différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône

### c) Résultats

La valeur de l'affaissement est exprimée en cm. Elle permet de classer le béton selon sa consistance :

- Affaissement inférieur à 10 cm : béton ferme.
- Affaissement compris entre 10 et 25 cm : béton plastique.
- Affaissement supérieur à 25 cm : béton fluide.

### f) Remplissage des moules et mode de mise en place

Le béton est introduit dans les moules à l'aide d'une pelle à coque cylindrique de dimension appropriée. Le mouvement de répartition permet de répartir le béton uniformément dans le moule.

Dans cette étude, les bétons ont été mis en place dans des moules cubiques par piquage. Les moules ont été remplis en trois couches. Chaque couche a été piquée 25 fois à l'aide d'une tige en acier de 16 mm de diamètre. Le béton a ensuite été vibré en battant.



Figure 52 : Remplissage des moules et mode de mise en place [LTPE ,2024].

### g) Conservation après démoulage

Après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées. Elles sont conservées dans laboratoire.



Figure 53 : Conservation après démoulage [LTPE,2024].

## 3.4 Caractérisation du béton à l'état durci

### 3.4.1 Essai de résistance à la compression [NA EN 12390-3][13]

Afin de coffrage des éprouvettes, On pose les éprouvettes au durcissement, après durée de 24 heures, on fait le décoffrage des éprouvettes, après 7 et 28 jours, on prendre les éprouvettes pour faire les mesures de la résistance de béton à la compression (essai d'écrasement).

L'essai de compression du béton est un essai destructif qui permet de déterminer la résistance du béton à la compression. Il est effectué conformément à la norme (NF EN 12390-3).

#### a) Matériels

- Une presse hydraulique : un appareil qui exerce une force de compression sur l'éprouvette.
- Des éprouvettes cubiques : des échantillons de béton de dimensions (10x10x10) cm<sup>3</sup>.

- Un dispositif de centrage : un dispositif qui permet de centrer l'éprouvette entre les plateaux de la presse.

### b) Procédure

- Placer l'éprouvette sur le dispositif de centrage.
- Approcher les plateaux de la presse jusqu'à ce qu'ils touchent l'éprouvette.
- Appliquer une force de compression à l'éprouvette à une vitesse constante.
- Mesurer la force appliquée à l'éprouvette à chaque instant.
- La résistance du béton à la compression est la force maximale que l'éprouvette peut supporter avant de se rompre.

### c) Résultats

La résistance du béton à la compression est exprimée en MPa. Elle permet de classer le béton selon sa résistance :

- Résistance inférieure à 25 MPa : béton faible
- Résistance comprise entre 25 et 50 MPa : béton moyen
- Résistance supérieure à 50 MPa : béton fort

On calcule la résistance à la compression par la relation :  $=F/S$

- $R_c$  : résistance à la compression (MPa).
- $F$  : la charge de rupture (N).
- $S$  : section de l'éprouvette ( $\text{mm}^2$ ).



Figure 54 : Essai de résistance à la compression [LTPE,2024].

### 3.4.2 Essai de rupture par flexion (la traction) [NA EN 12390-3][11]

Le dispositif de flexion du béton est constitué de trois appuis :

- Deux appuis semi-cylindriques de 10 mm de diamètre, distants de 100 ou 106,7 mm.
- Un troisième appui de même diamètre, équidistant des deux premiers.

Les deux premiers appuis supportent l'éprouvette en son centre. Le troisième appui transmet la charge de flexion à l'éprouvette.

Pour répartir uniformément les efforts sur l'éprouvette, les deux premiers appuis doivent pouvoir être légèrement tournés autour de leur centre, de manière à être parfaitement perpendiculaires aux axes des éprouvettes.

## Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales

La résistance à la flexion est calculée suivant la formule :  $R_f = 3PL / 2bh^2$  [Kgf/cm<sup>2</sup>].

- $P$  : force appliquée en [Kgf].
- $b$  : largeur de l'éprouvette.
- $h$  : hauteur de l'éprouvette.
- $L$  : distance entre les appuis (cm).



Figure 55 : Essai de rupture par flexion (la traction) [LNHC,2024].

### 3.5 Conclusion

Le travail présenté dans ce chapitre traite les caractéristiques des matériaux utilisés dans la formulation de notre mélange, les conclusions qu'on peut tirer de cette caractérisation sont :

- La courbe d'analyse granulométrique du deux sable (carrière et recyclés) monte rapidement, ce qui indique leur richesse en éléments fins.
- L'essai « équivalent de sable » a prouvé que le sable à base de granulats recyclés est sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante.
- L'essai « micro-Deval » a prouvé que les granulats est bon à moyen résistance a l'usure.
- L'essai « essai los Angeles » a prouvé que les granulats sont moyen à faible résistance au choc.
- Vu les résultats obtenus, les deux genres de granulats ordinaires et recyclés satisfait aux conditions requises pour être utilisés dans la confection des bétons ordinaire.

# **CHAPITRE 4**

## **Résultats et Interprétations**

### Introduction

La thématique des bétons classiques à base de granulats recyclés est un sujet très vaste qui couvre un grand nombre d'études. Cette partie expérimentale présente les éléments essentiels à l'étude de la rhéologie de ces bétons à l'état frais et la caractérisation de ses propriétés physiques et mécaniques à l'état durci en mettant l'accent sur les problèmes liés à leur mise en œuvre et leurs propriétés spécifiques, avec de matière première algérienne et dans un contexte de développement durable.

### 4.1 Caractérisation des bétons à l'état frais

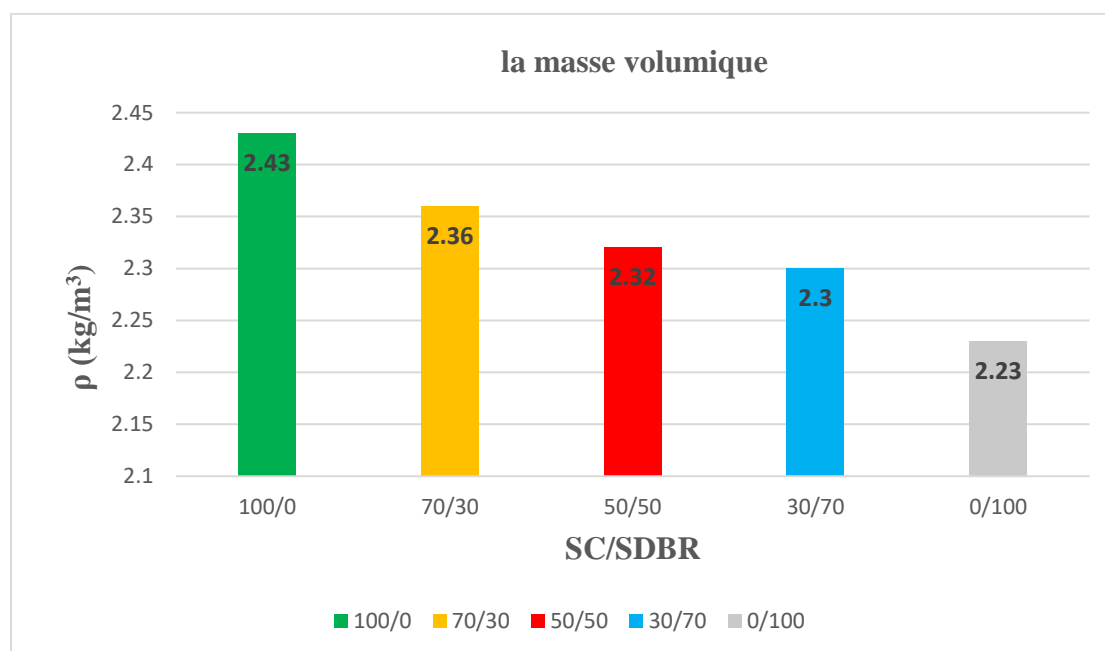
La variation des dosages est un paramètre très influant sur les caractéristiques des bétons à l'état frais.

#### 4.1.1 Masse volumique

La variation de la masse volumique en fonction de chaque type de béton (5 type) pour les bétons d'étude est représenté sur le tableau 44 ainsi que la figure 57 :

**Tableau 44: La variation de la masse volumique en fonction chaque type de béton.**

SC/SDBR	100/0	70/30	50/50	30/70	0/100
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2.43	2.36	2.32	2.30	2.23



**Figure 56: La variation de la masse volumique en fonction chaque type de béton [LTPE,2024].**

- La masse volumique des différents mélanges diminue suite à une augmentation de pourcentage de sable recycle (brique).

#### 4.1.2 Mesure de l'ouvrabilité

La variation d'affaissement des bétons en fonction chaque type de béton est représenté dans le tableau 45 ainsi que la figure 58.

## Chapitre 4 : Résultats et Interprétations

Tableau 45: La variation de Rapport E/C et l'affaissement en fonction chaque type de béton [LTPE, 2024].

SC/SDBR(%)	100/0	70/30	50/50	30/70	0/100
Rapport E/C	0.45	0.58	0.60	0.66	0.80
Affaissement (cm)	7.5	6	13	10	6

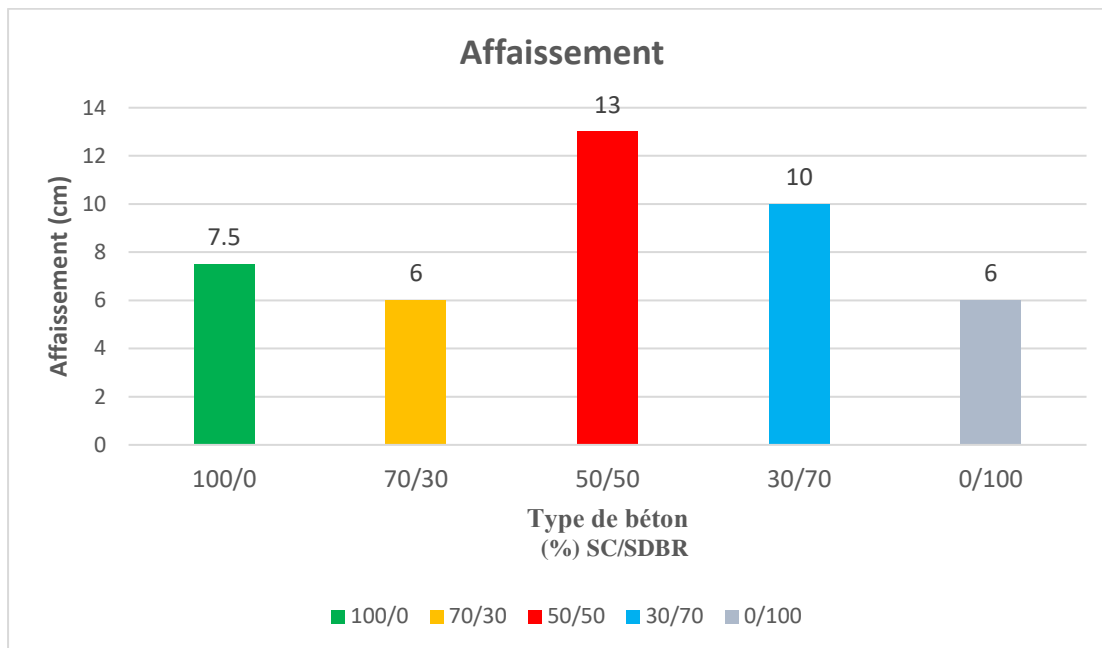


Figure 57: La variation de l'affaissement en fonction chaque type de béton [LTPE, 2024].

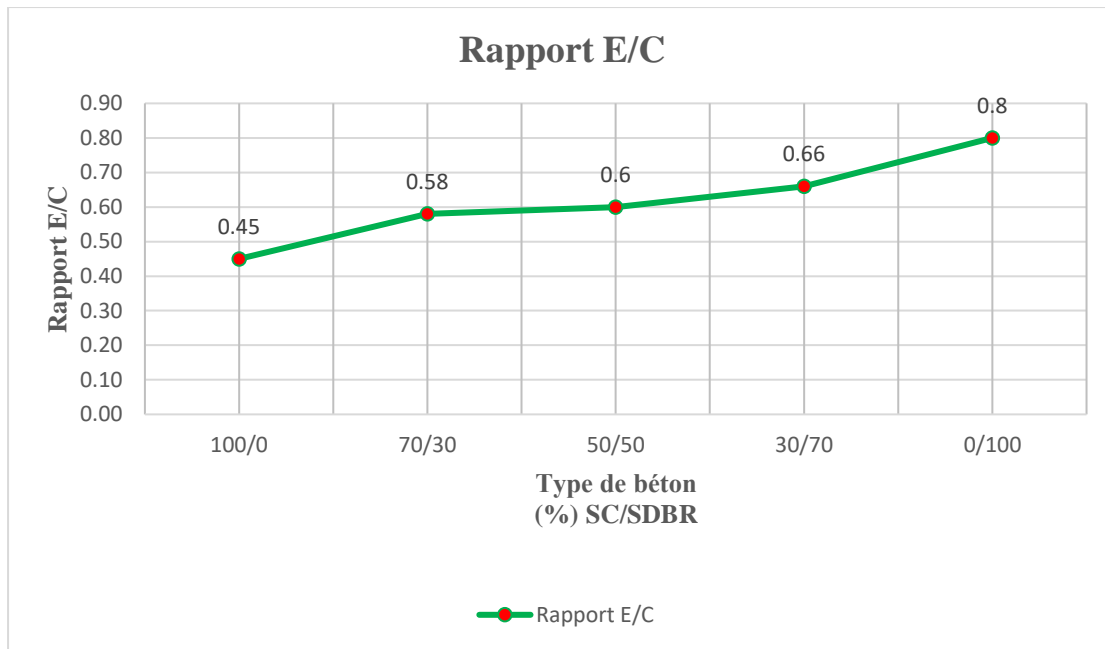


Figure 58: La variation de Rapport E/C en fonction chaque type de béton [LTPE, 2024].

Les figures 58 montre que l'ouvrabilité du béton de sable, augmente avec l'augmentation du taux de substitution, et diminue continuellement avec l'augmentation du taux de substitution, ce qui implique que l'ajout de l'eau est nécessaire.

L'incorporation de sable recyclé issu de briques concassées conduit à une absorption d'eau bien plus importante que celle du sable de carrière classique. Cette différence d'absorption s'explique par la porosité de la pâte de ciment, qui constitue la phase continue unique du béton. Cette porosité accrue entraîne une augmentation de l'affaissement du béton, le rendant plus plastique et améliorant ainsi son homogénéité.

De plus, on observe une amélioration de la maniabilité des bétons avec l'augmentation du taux de substitution du sable de carrière par du sable recyclé. Ce phénomène s'explique encore une fois par l'effet de l'absorption. Les grains de brique concassée absorbent une partie de l'eau de gâchage, ce qui influence directement l'ouvrabilité des mélanges.

On conclure que pour la même teneur en superplastifiant, différent rapport E/C ainsi que la même quantité de ciment ; l'ouvrabilité du béton de sable reste dans la fourchette des béton plastique et très plastique. La meilleure ouvrabilité est donnée par le béton à base de pourcentage de substitution basse, l'excès de ces déchets et sa nature diminué la cohésion du mélange.

Sans oublier qu'il est important de noter que le rapport E/C (eau/ciment) d'une même composition de béton augmente de manière proportionnelle au taux de sable recyclé dans le mélange.

### 4.2 Caractérisation des bétons à l'état durci

#### 4.2.1 Essais mécaniques (Résistance à la compression)

Le tableau et les figures suivantes présentent les résultats de la résistance à la compression pour les différents mélanges du béton à 7j et 28j :

Tableau 46: la résistance à la compression pour les différents mélanges du béton à 7j et 28j [LTPE,2024].

Résistance à la Compression (MPa)					
Type de béton SC/SDBR (%)	100/0	70/30	50/50	30/70	0/100
7 jours	36.67	26.17	38.81	34.41	25.33
28 jours	44.55	34.88	44.95	45.22	37.53

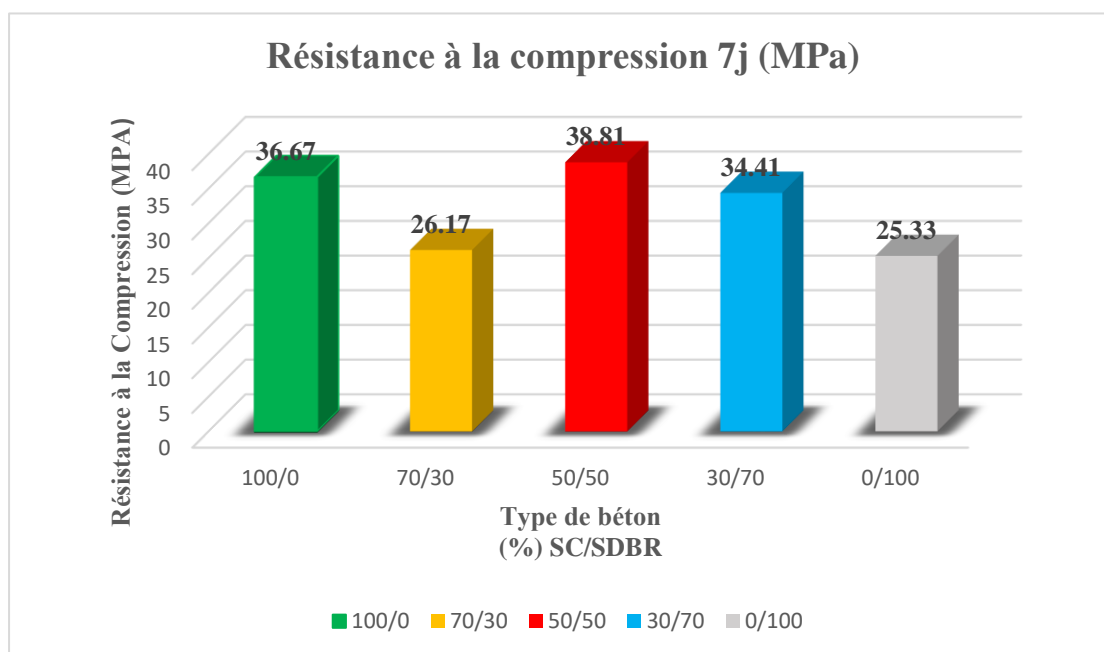


Figure 59 :la résistance à la compression pour les différents mélanges du béton à 7j [LTPE,2024].

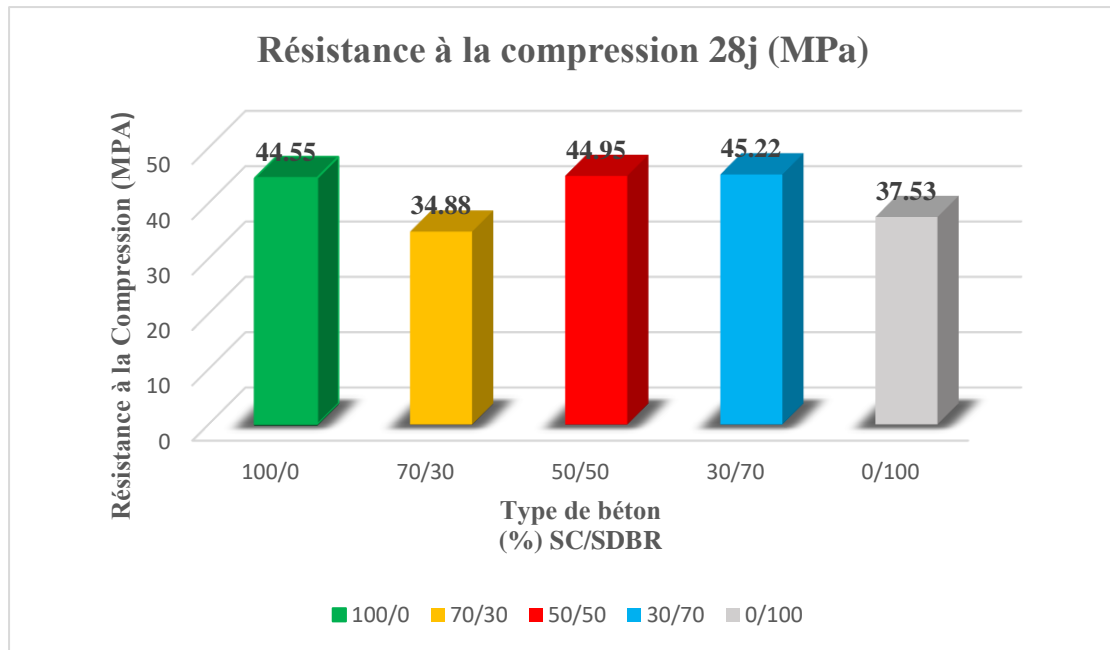


Figure 60: La résistance à la compression pour les différents mélanges du béton à 28j [LTPE,2024].

Les figures (59-60) mettent en évidence une augmentation notable de la résistance à la compression du béton lorsque le sable de carrière est remplacé par du sable recyclé à base de déchet de brique concassée. Cette tendance proportionnelle est observée à la fois à 7 et 28 jours, indiquant une amélioration des propriétés mécaniques du béton dans ses premières phases de durcissement.

Remarquablement, cette relation de proportionnalité s'observe jusqu'à un taux de substitution de 70%. Au-delà de cette limite, la résistance à la compression commence à décroître graduellement avec l'augmentation du pourcentage de sable recyclé, pouvant atteindre une baisse de plus de 15% par rapport au béton ordinaire.

Deux phénomènes majeurs pourraient expliquer cette diminution de la résistance :

- **Faible adhérence à l'interface** : Au fil du temps, des micro-fissures pourraient se développer à l'interface entre les granulats recyclés et la matrice de ciment, fragilisant ainsi la liaison entre les deux composantes. Cette faible adhérence est susceptible de s'accroître avec l'augmentation du taux de sable recyclé, d'où la baisse observée de la résistance à la compression.
- **Augmentation du volume des granulats recyclés** : L'incorporation d'une plus grande quantité de sable recyclé pourrait entraîner une augmentation de la porosité du béton, réduisant ainsi la cohésion interne du matériau. Cette augmentation de la porosité est liée au fait que les granulats recyclés possèdent une forme et une texture différentes de ceux des granulats naturels, ce qui peut affecter la compacité du mélange final.

### 4.2.2 Essais mécaniques (Résistance à la traction en flexion)

Le tableau 47 et les figures 61,62,63 présentent les résultats de la résistance à la traction pour les différents mélanges du béton à 7j et 28j :

Tableau 47: La résistance à la la traction pour les différents mélanges du béton à 7j et 28j [LTPE,2024].

Résistance à la traction (MPa)					
Type de béton SC/SDBR (%)	100/0	70/30	50/50	30/70	0/100
7 jours	7.81	7.71	7.16	5.60	5.42
28 jours	8,17	7,84	7,48	8,27	5,79

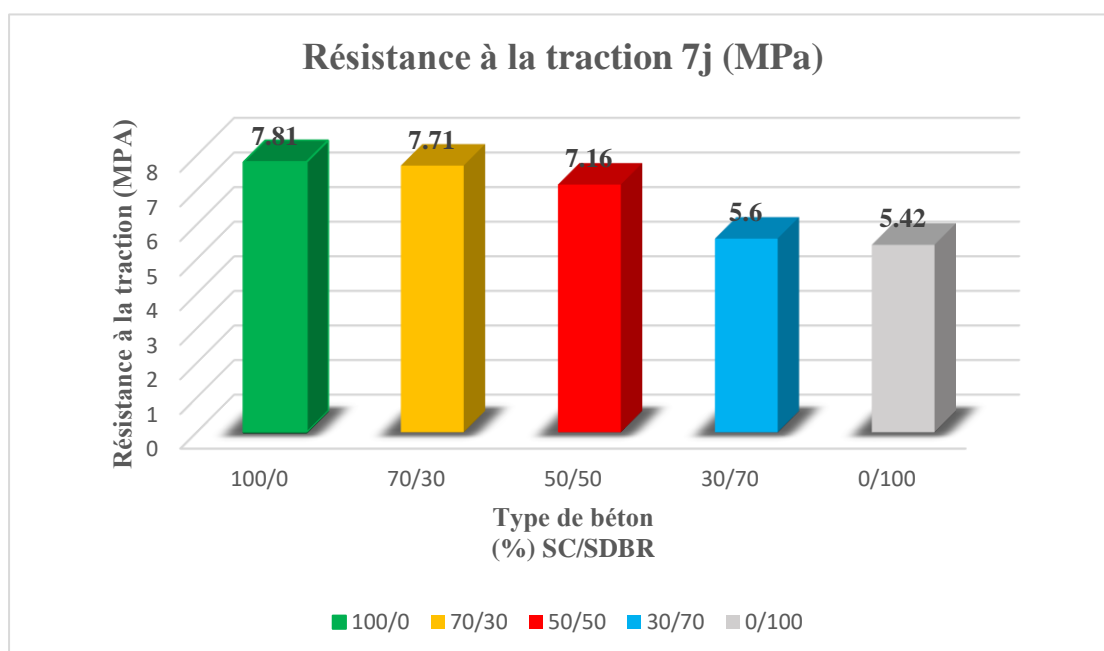


Figure 61: La résistance à la la traction pour les différents mélanges du béton à 7j [LTPE,2024].

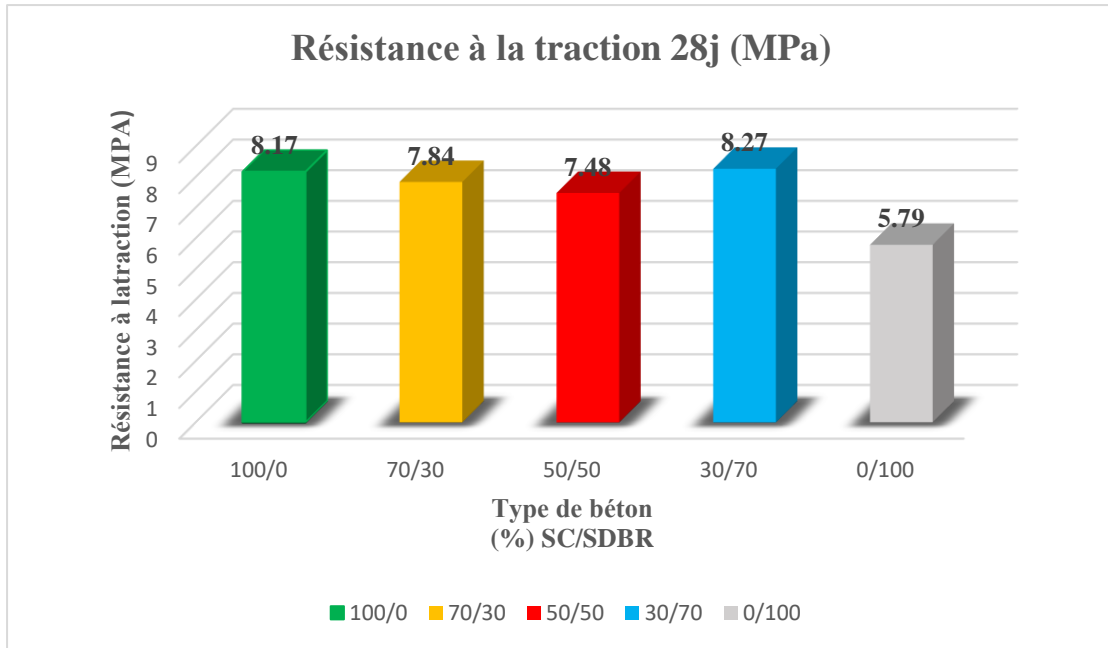


Figure 62: La résistance à la la traction pour les différents mélanges du béton à 28j [LTPE,2024].

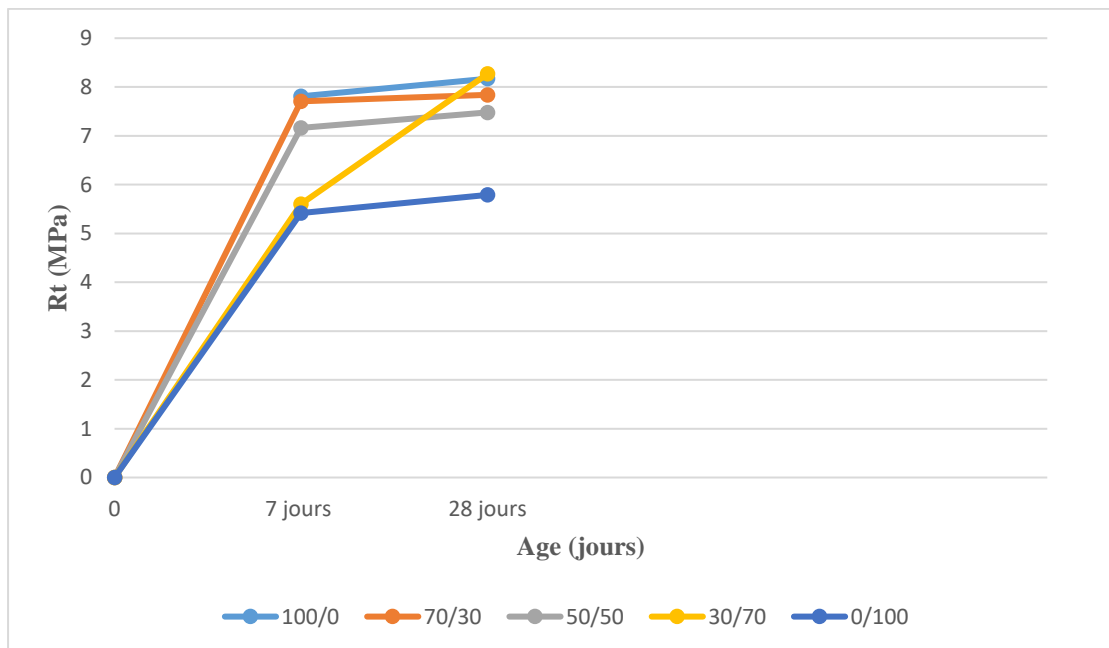


Figure 63: Évolution de la Résistance à la Traction des Bétons.

La figure 62 met en évidence une diminution graduelle de la résistance à la traction du béton à 7 jours avec l'augmentation du taux de substitution du sable naturel par du sable recyclé. Cette tendance décroissante est observée pour toutes les proportions de sable recyclé testées, indiquant un effet négatif du sable recyclé sur la performance du béton à court terme.

La présence de sable recyclé dans le béton peut affecter la liaison entre les granulats et la matrice de ciment, réduisant ainsi la capacité du béton à résister aux forces de traction.

Malgré la diminution de la résistance à la traction à 7 jours, les résultats indiquent une augmentation de cette résistance pour tous les bétons testés au cours du temps. Cette augmentation est due à la poursuite du processus d'hydratation du ciment, qui renforce la matrice de ciment et améliore la cohésion interne du béton.

L'analyse des figures révèle que le béton ordinaire et le béton entièrement en brique concassée présentent une progression de la résistance à la traction par flexion quasi similaire au cours du temps. Cette meilleure performance peut être attribuée à la bonne adhérence entre le mortier et les granulats de brique concassée, favorisant une meilleure transmission des forces et une résistance accrue à la traction.

D'après l'analyse des figures (62-63), on observe que les bétons avec 70% de sable recyclé présentent une résistance à la traction par flexion meilleure comparable à celle du béton ordinaire à 28 jours.

Deux phénomènes majeurs pourraient expliquer cette observation :

- **Porosité accrue** : Le sable recyclé peut présenter une porosité plus élevée que le sable naturel, ce qui affecte la compacité du mélange de béton. La présence de pores et de micro-fissures dans le béton réduit la surface de contact entre les granulats et la matrice, affaiblissant ainsi la liaison entre les deux composants.
- **Hétérogénéité du matériau** : La nature hétérogène du sable recyclé, composé de fragments de différentes tailles et origines, peut perturber la distribution des contraintes dans le béton. Cette hétérogénéité peut créer des zones de faiblesse dans le matériau, le rendant plus susceptible aux ruptures sous traction.

### 4.2.3 Relation résistance traction et compression

Le tableau et les figures suivantes présentent la relation entre résistance à la traction et celle à la compression à 7j et 28j :

Tableau 48: Relation entre résistance à la traction et celle à la compression.

	7 jours		28 jours	
	Rt (MPa)	Rc (MPa)	Rt (MPa)	Rc (MPa)
100/0	7.81	36.67	8,17	44.55
70/30	7.71	26.17	7,84	34.88
50/50	7.16	38.81	7,48	44.95
30/70	5.60	34.41	8,27	45.22
0/100	5.42	25.33	5,79	37.53

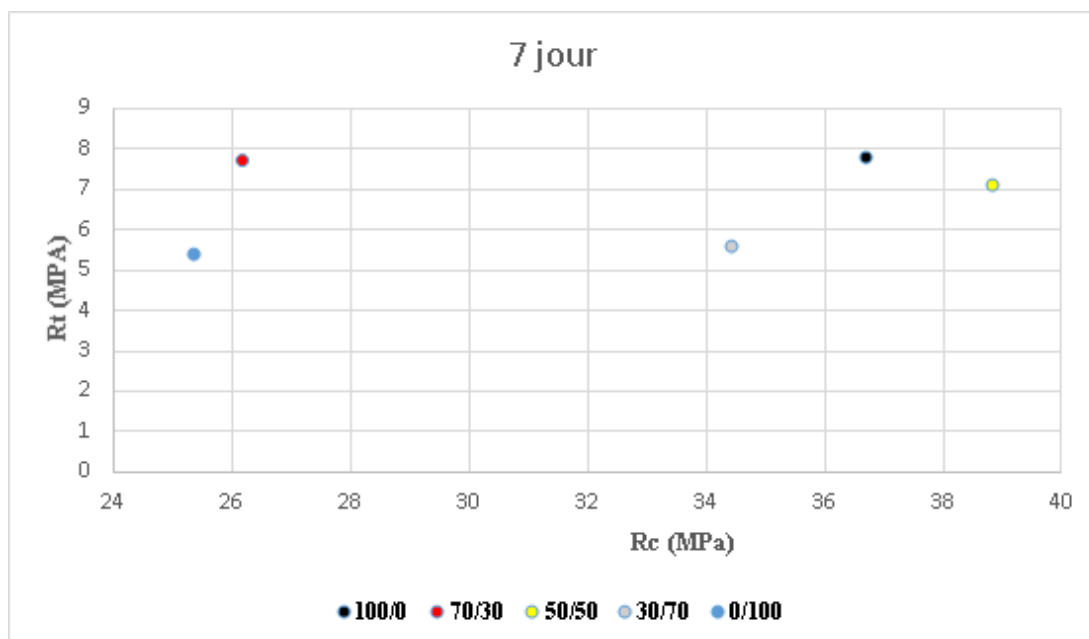


Figure 64: Relation entre résistance à la traction et celle à la compression à 7jour.

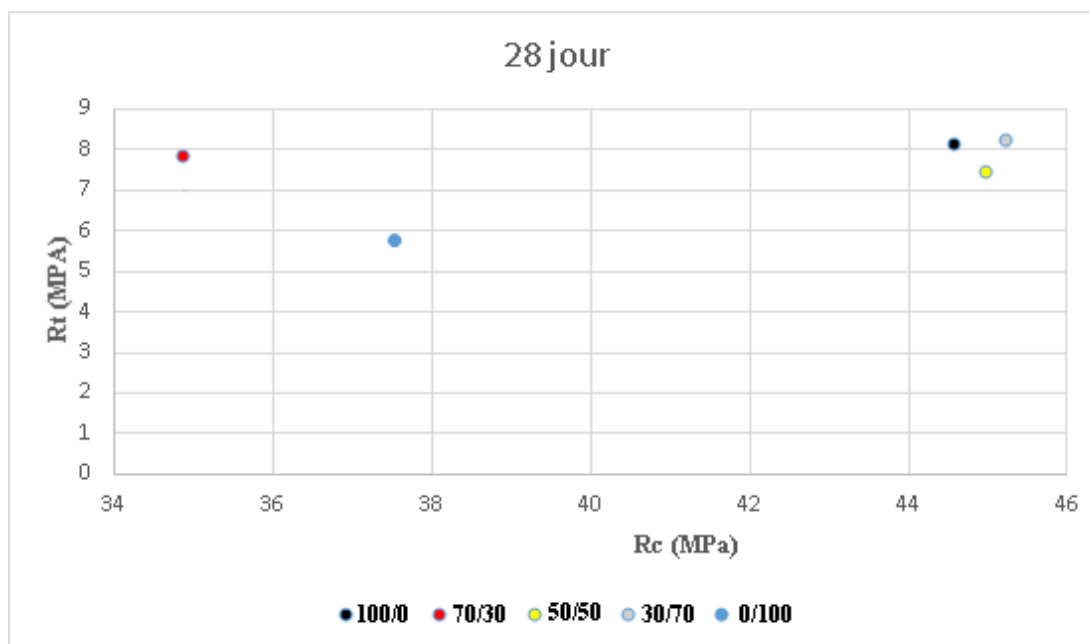


Figure 65: Relation entre résistance à la traction et celle à la compression à 28 jour.

D'une manière générale le comportement en traction par flexion est le même qu'en compression, l'augmentation du taux de substitution engendre une diminution de ces résistances.

Le béton à base 70 % de déchets recyclées donne la meilleure performance à la résistance en traction par flexion et à la résistance de compression à l'âge de 28 jours par rapport aux autres formulations à base de fines recyclés.

D'après les figures (65-66) on constate qu'il existe une tendance générale à l'augmentation de la  $R_t$  avec la  $R_c$  au cours du temps, cette relation n'est ni directe ni proportionnelle. En effet, le rapport ( $R_t/R_c$ ) dépend de plusieurs facteurs, dont le type de béton et l'âge.

- Influence du type de béton : Le rapport ( $R_t/R_c$ ) est plus élevé pour le béton ordinaire que pour le béton entièrement en brique concassée. Cela suggère que la proportionnalité entre les deux résistances est plus forte pour le béton ordinaire. Ce comportement peut être expliqué par la différence de microstructure entre les deux types de béton. Le béton ordinaire présente une matrice plus homogène et une meilleure cohésion entre les granulats, ce qui favorise une meilleure répartition des contraintes et une résistance à la traction plus élevée.
- Influence de l'âge : Le rapport ( $R_t/R_c$ ) évolue également avec l'âge du béton. En général, on observe une augmentation de ce rapport au cours des premiers jours et des premières semaines de durcissement, suivie d'une stabilisation. Cette évolution peut être attribuée à l'hydratation progressive du ciment, qui densifie la matrice et renforce les liaisons entre les granulats.

La relation entre la résistance à la traction et la résistance à la compression du béton est complexe et dépend de plusieurs facteurs. Il est important de prendre en compte ces facteurs lors de la conception et de l'analyse des structures en béton. Les relations empiriques, bien que n'étant pas parfaites, peuvent être utiles pour estimer la résistance à la traction à partir de la résistance à la compression.

### 4.3 Conclusion

Cette étude expérimentale a pu toucher une bonne variété de différentes compositions de bétons classiques.

Nos résultats sur le comportement des bétons des granulats recyclés s'accordent en général avec les données expérimentales présentées dans la littérature à l'exception de quelques travaux antérieurs.

L'influence du taux de déchet de brique avec fixation du dosage en ciment et superplastifiant sur le comportement du béton à l'état frais et durci a été étudiée.

- La substitution de sable de béton avec un sable de brique provoque une diminution de l'affaissement des mélanges, dû à l'absorption du brique concassé de l'eau de gâchage et gênent la maniabilité du béton.
- Tous les types de dosage de béton sont préparés avec un affaissement imposé (entre 6 et 13 cm) ; c'est une fourchette des bétons plastiques et très plastique ce qui est plus adapté au coulage de béton dans les chantiers.
- L'incorporation de sable recyclé dans le béton peut augmenter le rapport  $E/C$ , affectant potentiellement ses propriétés mécaniques et sa durabilité.
- L'utilisation de sable recyclé dans le béton peut avoir un impact négatif sur sa résistance à la traction à court terme, mais cet effet est atténué avec le temps.
- le béton avec 70% de sable recyclé affiche une résistance à la traction et compression similaire à celle du béton ordinaire à 28 jours. L'utilisation de sable recyclé dans le béton peut donc être envisagé.

## Conclusion générale

Notre recherche bibliographique nous a permis de dégager que parmi les paramètres les plus influant sur les propriétés que ce soit à l'état frais ou durci des bétons, on retrouve les taux de remplacement des sables recyclés avec fixation de dosages en ciment et super plastifiants.

Toutefois, deux particularités distinguent les granulats recyclés du béton de démolition des granulats naturels ; la gangue de la présence d'impuretés attaché aux granulats primaires. Elles peuvent influencer aussi bien le comportement du béton frais, que celui du béton durci à court et à long terme.

La forte porosité ouverte et l'absorption d'eau élevée des granulats recyclés de béton entraînent des rapports E/C importants.

Ce mémoire se concentre sur l'utilisation des déchets de brique concassés comme granulats dans le béton de sable. Il présente les résultats d'une étude visant à comparer les avantages et les inconvénients de cette technique par rapport aux bétons classiques.

↪ Les Avantages du recyclage des déchets de brique :

- Le recyclage des déchets de brique permet de réduire la quantité de déchets de construction et de valoriser ces matériaux, contribuant ainsi à un développement durable.
- Les bétons à base de déchets de brique concassés peuvent être fabriqués en suivant des procédures similaires aux bétons classiques et présentent une homogénéité et une esthétique comparables.
- Le recyclage des déchets de brique est moins onéreux que la production de granulats neufs et ne requiert pas d'installations spéciales.

↪ Les Inconvénients du recyclage des déchets de brique :

- La résistance à la compression des bétons à base de déchets de brique concassés est légèrement inférieure à celle des bétons classiques, surtout lorsque le taux de substitution dépasse 70%.
- Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer la durabilité de ces bétons à long terme.

↪ Points clés de l'étude :

- L'utilisation de déchets de brique concassés comme granulats dans le béton est une voie prometteuse pour la construction durable.
- Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité de ces bétons.
- L'utilisation de ces bétons dans des applications concrètes doit faire l'objet d'une évaluation plus poussée, en tenant compte de leurs avantages et inconvénients.

↪ Propriétés des bétons à base de déchets de brique :

- Les bétons à base de déchets de brique sont classés comme "bétons légers" selon la norme NF EN 206-1.
- La masse volumique de ces bétons varie en fonction de la composition et de l'âge. Cette variation est due à l'hydratation du ciment, au remplissage des pores et au pourcentage de poudre de brique incorporée.

- La quantité d'eau nécessaire pour obtenir une consistance plastique augmente avec le type et le taux de substitution des granulats recyclés.
- La principale faiblesse des bétons à base de granulats recyclés réside dans leur résistance à la compression. Pour des mélanges dosés à 350 kg/m<sup>3</sup>, une chute de résistance a été observée après l'ajout de 70% de sable de brique à 7 et 28 jours.
- Dans les conditions de l'étude, il est recommandé de ne pas dépasser un taux de substitution de 70% pour les granulats naturels par des granulats recyclés de brique concassée.
- L'utilisation de sable recyclé dans le béton peut avoir un impact négatif sur sa résistance à la traction à court terme, mais cet effet est atténué avec le temps.
- Le béton avec 70% de sable recyclé affiche une résistance à la traction et compression similaire à celle du béton ordinaire à 28 jours. L'utilisation de sable recyclé dans le béton peut donc être envisagée.
- Le béton avec du sable recyclé de brique concassée est plus absorbant que le béton témoin. Cette différence est due à la porosité de la pâte de ciment, qui est la seule phase continue dans le béton.
- L'absorption capillaire du béton entièrement en brique concassée est presque le double de celle du béton ordinaire.
- Le béton entièrement en brique concassée est plus poreux et donc plus perméable que le béton ordinaire. Selon Gorisse, la porosité de ce béton le classe comme un "mauvais béton".

#### ⇒ Recommandations pour des recherches futures

- Dans notre cas, l'étude expérimentale a été faite sur des matériaux récupérés et concassés manuellement (non pollués), il est souhaitable que des essais soient faits sur des matériaux provenant directement des chantiers de démolition ou zone de stockage et leur concassage soit mécanique et écarte le broyage manuel mode traditionnel qui influe sur le comportement de bétons et les résultats obtenus.
- Des recherches complémentaires sont nécessaires pour optimiser les propriétés des bétons à base de déchets de brique concassés, notamment en utilisant des ajouts minéraux actifs.
- L'utilisation de ces bétons dans des applications spécifiques, où leurs propriétés mécaniques sont adéquates, devrait être encouragée.
- Une communication plus large sur les avantages environnementaux et économiques du recyclage des déchets de brique dans le béton est nécessaire.
- L'étude a démontré le potentiel du recyclage des déchets de brique comme granulats dans le béton. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer les performances de ces bétons et explorer de nouvelles applications.
- L'incorporation d'additions minérales actives, comme les cendres volantes ou le laitier de ciment, peut contribuer à réduire la perméabilité et l'absorption d'eau des bétons à base de granulats recyclés.

- Des recherches peuvent être menées pour étudier l'effet de l'ajout de déchets de brique broyés en combinaison avec d'autres ajouts minéraux, comme les fibres ou les fillers, afin d'optimiser les propriétés des bétons.
- L'emploi d'adjuvants retardateurs de prise peut être bénéfique pour retarder la maniabilité des bétons, notamment dans le cas du transport du béton ou du bétonnage par temps chaud.

## **Références bibliographiques**

- [1] A. Aïcha and H. O. Keltoum, “Utilisation des déchets plastiques en matériaux composites de construction.” Université Ahmed Draïa d’Adrar, 2020.
- [2] G. NIGRI, “Technologie De Beton.” Université 8 Mai 1945 de Guelma, 2020.
- [3] A. AMENE and B. FATMA, “Formulation d’un béton autoplaçant à matrice ciment-marbre.” Université Dr. YAHIA FARES DE MEDEA, 2020.
- [4] K. Abdelghani and N. Tahar, “Méthodes de la formulation des bétons. (Etude Théorique).” UNIVERSITE AHMED DRAIA D’ADRAR, 2020.
- [5] B. Abderezzak, “Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton.” Memoire Magister, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA, 2006.
- [6] M. Ghania, “Le Ciment.” ENSET SKIKDA 2020 / 2021.
- [7] “<http://forum-btp.blogspot.com/2014/05/?m=1>.”
- [8] M. SARA and A. GHANIA, “CIMENT ET CIMENTERIES EN ALGERIE : PRODUCTION ET NORMALISATION.” Université de Guelma, 2013.
- [9] B. Romaisa and M. Manel, “Comparaison entre Béton ordinaire et Béton a haute performance.” UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA -01-, 2014.
- [10] R. Scientifique, “Le recyclage des bétons de démolition, solution pour le développement durable. Formulation et comportement physiques et mécanique des bétons à base de ces recyclés.” Memoire Magister, Université Badji Mokhtar - Annaba, 2009.
- [11] D. Daoud and B. Abd Elouahab, “ETUDE DE COMPORTEMENT PHYSIQUE ET MECANIQUE DU MORTIER ET BETON A BASE DES CIMENTS TERNAIRES.” Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arreridj, 2013.
- [12] H. M. Anis, “Recherche bibliographique sur la durabilité du béton à base de verre Sous.” Université 8 Mai 1945 Guelma, 2020.
- [13] I. Said, S. Lazhari, and B. Tarek, “L ’ effet des déchets de brique sur durabilité de béton.” Ecole Normale Supérieure de l’Enseignement Technologique-Skikda, 2023.
- [14] O. Youcef and O. Abdelhak, “Formulation et caractérisation d’un béton de sable à partir des déchets minéraux.” Université A. M. OULHADJ - Bouira, 2007.
- [15] A. Brahim, R. Ilyes, and B. Walid, “Caracterisation des differents types de beton a base de copeaux de bois.” UNIVERSITE BADJI MOKHTAR -ANNABA, 2019.
- [16] K. Kelthoum and M. Wafa, “Effet du ressuage sur le comportement mécanique du béton dans une régie aride (cas d’ Adrar) Etat de L’Art.” UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR, 2020.
- [17] M. Ghania, “Les bétons spéciaux.” ENSET SKIKDA 2020 / 2021, pp. 1–51.
- [18] B. Oussama and H. Amine, “Formulation et caractérisation d’un béton de sable fluide à base de déchets céramique.” UNIVERSITÉ Dr YAHIA FARÈS DE MÉDÉA, 2017.
- [19] N. BENZAUCHE, “Etude expérimentale d’un béton à base de déchets de verre

- non coloré confiné avec des matériaux composites.” UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU, 2020.
- [20] A. Navarro, “Gestion et traitement des déchets ». Technique de l’ingénieur, traités généralités et construction.” 2001.
- [21] A. Nabila and L.O, “Durabilité du béton à base des déchets de demolition.” universite de mohamed el bachir el -ibrahimi bordj bou arreridj, 2018.
- [22] M. AMINE, “Etude de l’effet de l’introduction des déchets de briques dans un sable sur le comportement rhéologique d’un béton autoplaçant.” Université de Batna 2, 2019.
- [23] C. Mehdi, “Les déchets de chantier et le recyclage des matériaux dans le secteur du bâtiment.” thèse de fin de formation, 2007.
- [24] M. STAMBOULI, “Valorisation de débris de verre dans les infrastructures routières : Application au verre industriel, verre ménager et verre mixte.” 2016.
- [25] S. SAADANI, “Comportement du béton à base de granulats recyclés.” Université de Constantine, Mémoire de Magister, Université de Constantine.
- [26] H. CHELABI and Z. TALEB, “Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre.” université de bouira 2017, 2017.
- [27] S. Abderrezak, “Gestion des déchets solides en Algérie. Séminaire sur la gestion intégrée des déchets solide.” Alger.31-34p, Alger, 2000.
- [28] I. LARIBI and N. BOURAHDOUN, “Valorisation des déchets dans le béton auto-plaçant : état de l’art.” Université 8 Mai 1945 Guelma, 2020.
- [29] O. Nadjib and T. Mohammed, “Contribution a la valorisation des dechets plastiques à base de p.e.t dans le domaine du génie civil».” Ecole Nationale Polytechnique, 2003.
- [30] Z. Ishak, “Effet de déchet de brique rouge sur la stabilisation des briques de terre crue.” Université Mohamed khider-Biskra, 2019.
- [31] H. B. Achour Mohamed, “Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement du mortier.” universite mohamed boudiaf - m’sila, 2020.
- [32] B. Abderrezak, “valorisation des déchets de briques dans la réalisation des ouvrages en béton.” Mémoire de magister, Université de Ouargla, 2006.
- [33] A. Djadouf Samia, “l’influence des ajouts (grignon d’olive et foin) sur les caractéristiques physico-mécaniques de la brique de terre cuite.” Université d’Abderrahmane Mira de Béjaia, Université d’Abderrahmane Mira de Béjaia.
- [34] V. S. Ramachandran, “Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton.” Division des recherches en construction, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, 1981.
- [35] M. Serifou, “Béton à base de recyclât : influence du type de recyclât et rôle de la formulation.” .Thèse de Doctorat, Université Felix Houphouët Bobigny et l’Université de Bordeaux 1, 2013.
- [36] “Les litrons de vin français dits « à étoile », normalisés, étaient acceptés indifféremment par n’importe quel fournisseur. « Litre 6 étoiles »sur : [www.abcduvin.com](http://www.abcduvin.com).” sur. [Online]. Available: [www.abcduvin.com](http://www.abcduvin.com)

- [37] L. A. I. Kadri Zakaria, “L’influence des déchets de marbre et de verre sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques d’un béton de sable fluide ».” Université Dr Yahia Farès de Médèa, 2017.
- [38] “[https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_des\\_marbres\\_modernes.](https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_marbres_modernes)” [Online]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_des\\_marbres\\_modernes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_marbres_modernes)
- [39] “[https://www.memoireonline.com/11/12/6471/Un-emballage-alimentaire-le-verre.html.](https://www.memoireonline.com/11/12/6471/Un-emballage-alimentaire-le-verre.html)” [Online]. Available:
- [40] K. TRIFI and O. Yassine, “L’effet du traitement thermique sur le comportement d’un béton de sable fluide à base des matériaux recyclés.” Université Dr yahia Fares de Médèa, 2018.
- [41] Dr GHOMARI Fouad, “Science des matériaux de construction.”
- [42] B. S. Shekhawat and D. V Aggarwal, “Utilisation of waste glass powder in concrete—A Literature Review,” *Int. J. Innov. Res. Sci.*, 2014.
- [43] N. Sihem, “Elaboration d’un éco-matériau de construction à base de déchets de céramiques blanc.” Université Dr yahia Fares de Médèa, 2020.
- [44] Nicolescu, “Généralités: Rapport Général Colloque International sur l’Utilisation Des Sous-produits et Déchets dans le Génie Civil’.” ENPC, Paris, 1978.
- [45] BENAÏSSA Salim, “Elaboration et caractérisation d’une nanoceramique a usage optique.” thèse de doctorat. universite ferhat abbas-setif1, 2017.
- [46] “« <https://sites.google.com/site/thekacassite/ceramic/what-are-the-advantages-anddisadvantages-of-ceramic> ».” [Online]. Available: [http://www.verre-avenir.fr/var/plain\\_site/storage/images/media/images/les-differentes](http://www.verre-avenir.fr/var/plain_site/storage/images/media/images/les-differentes)
- [47] “[http://paysdefayence.free.fr/ordures-menageres/bagnols112009/main1.htm.](http://paysdefayence.free.fr/ordures-menageres/bagnols112009/main1.htm)”
- [48] “Plastiques moderne et élastomères, Mémento.” paris, 1980.
- [49] “La chimie des polymères, Université Numérique des Sciences Odontologiques Francophones, [campus.cerimes.fr.](http://campus.cerimes.fr)”
- [50] “Plastiques A9, techniques de l’ingénieur.” Paris, 1980.
- [51] Mustapha mehani and A. Manari, “Investigation sur l’inclusion des déchets de plastique réutilisé sur la résistance mécanique de mortier de sable de dune.” Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2022.
- [52] M. Bourema, “Etude des caractéristiques d’un BHP à base de déchet de brique rouge à l’état frais et durci,” no. June. L’Université 20 Aout 1955 Skikda, 2015. doi: 10.13140/RG.2.1.3814.6960.
- [53] B. Khadidja and B. Aicha, “VARIATION DU DOSAGES D’UN SUPERPLASTIFIANT SUR LA RÉSISTANCE EN COMPRESSION DU BÉTON.” UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET, 2020.
- [54] H. Moussa and Z. Abdelrahman, “Influence couplé de déchets plastique et de céramique sur les performances du béton autoplacant.” Université Yahia Fares, de Medea, 2020.
- [55] “[content://media/external/downloads/13264.](content://media/external/downloads/13264)”

