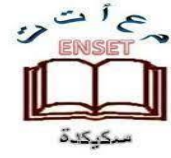


République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

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 :

# Valorisation du sable de carrière avec un sable de marbre dans le béton ordinaire

Présenté par : BOUGOFFA Romaïssa  
ZOUAOUI Yakine

**Jury de Soutenance :**

Nom et prénom	Grade	Université	Rôle
HOUDA Amina	MCB	Chadli Bendjedid EITarf	Président
MOUDJARI Maroua	MCB	ENSET-Skikda	Encadrant
MIROUZI Ghania	MCA	ENSET-Skikda	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

## **Dédicace**

*Je dédie ce mémoire à mes très chers parents*

*A mon très cher père*

*Pour ton amour, pour tes sacrifices, pour ton soutien tout au long de mes études j'espère être la source de ta fierté que ce travail soit un modeste témoignage de mon éternelle reconnaissance. Que dieu te garde pour nous ma source de joie et de bonheur.*

*A ma très chère mère*

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. La lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles. je t'aime MAMA*

*Mon frère **Abdelrazek** est mes deux sœurs adoré **Ikram** & **Salsabil**,*

*Ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.*

*Ma copine adoré **Hadil***

*Chaque moment passé avec toi est un trésor dont je suis reconnaissante ton amitié inestimable a illuminé mon parcours et enrichi cette expérience merci d'être toujours là.*

*Sans oublier mon binôme **Yakine** pour son soutien moral sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis merci beaucoup.*

## **Romaissa**

## **Dédicace**

*A Dieu de toute connaissance*

*Je dédie ce travail :*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, celui qui s'est toujours sacrifié, mon chère papa « **MOURAD** ». Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et l'accorder santé, longue vie et bonheur.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, ma chère maman « **NADIA** ». Ta prière et ta bénédiction m'ont été un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.*

*A mes complices de toujours, à ceux que Dieu a fortifiés mes bras, mes chers frères « **ADEL** », « **NASSIME** », « **ANES** », votre présence constante et votre encouragement sans faille ont illuminé chaque étape de ce parcours. Merci pour votre soutien inestimable et pour avoir été mon inspiration. Je vous aime.*

*A mes deux petite bébé d'amour « **IYAD** et **SERADJ** », Que Dieu vous protège et prenne soin de vous.*

*A ma belle-sœur « **MERBOUHA** », J'espère que tout ce que tu veux se réalisera, Que Dieu vous protège.*

*A mon côté doux de la vie, aux plus beaux cadeaux de l'humanité, à mon âme sœur et au compagnon de mon chemin « **ANFEL CHOVAKRJA** », merci d'être avec moi dans les bons et les mauvais moments, chaque moment passé avec toi est un trésor, je resterai ton amant, ton ami et ton âme sœur.*

*À la fille la plus belle et la plus chère et gentille que j'ai connue de ma vie « **FATIMA BEN THABET** », Merci de m'avoir soutenu dans tous les moments de ma vie.*

*A ma copine et ma sœur que ma mère n'a pas enfantée «ISRAA», Je vous souhaite une vie heureuse où vous réaliserez tous vos rêves.*

*A mes chères amies (RAYENE, AROUA, NESRINE, IKHLASSE, SIHEM, MERIEM, SOUMIA, OUIAM, CHOUROUK, IMANE).*

*A toute la famille « ZOUAOUI », merci pour vous.*

*A mon cher binôme « ROMAÏSSA », Je vous remercie pour tous les efforts que vous avez consacrés à ce travail et je vous souhaite le meilleur dans votre vie.*

*Yakine.*

## **REMERCIEMENT**

*Nous adressons nos remerciements dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Nous sincères remerciement et ma profonde gratitude vont également à Mm. Moudjari Maroua, Nos encadrant, pour nos avoir proposer ce sujet. Ces qualités intellectuelles et sa modestie ont grandement contribué à l'aboutissement de ce mémoire.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury, Dr. MIROUZI GHANIA et Dr. Houda Amina, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous adressons nos remerciements le chef du département, Monsieur RAHMONI SALIH pour sa disponibilité. Nous remercions l'ensemble du corps des enseignants et administratifs.*

*Nous tenons à remercier tous les responsables du laboratoire LTPest 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 de 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 marbre), et à étudier les propriétés des bétons fabriqués à partir de ces granulés.

L'idée de notre étude est de valoriser le sable de carrière avec un sable de marbre, l'objectif principal est de suivre l'effet de différents pourcentages de déchets de marbre sur le comportement du béton, et dans cette recherche, le sable de béton a été remplacé par un sable de de marbre à 30% 50% 70% 100% respectivement.

Les propriétés des granulats recyclés ainsi que l'analyse physique et mécanique des bétons à l'état frais (l'ouvrabilité) et durcis (résistance à la compression et traction en flexion) à base de ces matériaux sont analysées et comparées aux propriétés du béton témoin (granulats 100% naturels à l'âge de 7 et 28 jours.

Les résultats ont montré que l'inclusion de ces déchets dans le mélange de béton entraîne une amélioration de ses propriétés mécaniques d'une manière oscillante mais l'affecte de manière significative dans la maniabilité ainsi que la vitesse de durcissement.

Les résultats obtenus indiquent qu'il est possible de produire du béton à base de granulats de marbre jusqu'à 30 % avec des propriétés physiques et mécaniques comparables au béton ordinaire.

**Mots clés :** Béton de sable - valorisation - déchets de marbre - affaissement - compression –traction- durabilité.

## 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 الرملية 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.

تتمثل فكرة دراستنا في استبدال رمل المحاجر برمل الرخام، والهدف الرئيسي هو متابعة تأثير النسب المئوية المختلفة لمخلفات الرخام على سلوك الخرسانة، وفي هذا البحث، تم استبدال رمل الخرسانة برمل مخلفات الرخام بنسبة 30% 50% 70% 100% على التوالي.

يتم تحليل خواص الركام المعاد تدويره والتحليل الفيزيائي والميكانيكي للخرسانة الطازجة (قابلية التشغيل) والخرسانة المتصلبة (قوة الضغط وقوة الانثناء) المصنوعة من هذه المواد ومقارنتها بخصائص الخرسانة الضابطة (الركام الطبيعي 100%).

وأظهرت النتائج أن ادراج هذه النفايات في خليط الخرسانة ينتج عنه تحسن في خصائصها الميكانيكية بشكل متذبذب ولكن أثرت عليها بشكل كبير في قابلية الشغل وكذلك سرعة التصلب.

تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أنه من الممكن إنتاج الخرسانة باستخدام ما يصل إلى 30% من ركام الرخام، مع خصائص فيزيائية وميكانيكية مماثلة للخرسانة العادية.

الكلمات المفتاحية: خرسانة رملية - استبدال - نفايات الرخام - هبوط - ضغط - شد - الاستدامة.

## **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 sand concrete, 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.

The results showed that the inclusion of these wastes in the concrete mix leads to an oscillating improvement in its mechanical properties, but significantly affects its workability and curing speed.

The results obtained indicate that it is possible to produce concrete using up to 30% marble aggregates, with physical and mechanical properties comparable to ordinary concrete.

**Keywords:** Sand concrete - valuation - marble waste – subsidence – compression – traction - Sustainability.

# SOMMAIRE

<b>DÉDICACES.....</b>	<b>I</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>IV</b>
<b>RÉSUMÉ (français, arabe, anglais) .....</b>	<b>V</b>
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>XIV</b>
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>3</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>3</b>
I.1 Définition du béton .....	3
I.2 Les constituants d'un béton .....	3
I.2.1 Le ciment .....	3
I.2.1.1 Classification de ciment.....	3
I.2.2 L'eau de gâchage .....	4
I.2.3 Les granulats .....	4
I.2.3.1 Les différents types des granulats .....	4
I.2.4 Gravier .....	5
I.2.5 Sable.....	5
I.2.5.1 Les types de sables .....	5
I.2.5.2 Classification des sables .....	5
I.2.6 Les adjuvants .....	5
I.2.7 Les additions minérales.....	6
I.3 Les méthodes de formulation du béton .....	6
I.4 Différents types de béton .....	6
I.4.1 Béton ordinaire.....	6
I.4.2 Béton auto plaçant (BAP) .....	6
I.4.3 Béton de haute performance (BHP) .....	7
I.4.4 Béton de fibre.....	7
I.4.5 Béton léger .....	7
I.4.6 Béton lourd.....	7
I.4.7 Le béton armé .....	7
I.4.8 Le béton précontraint .....	7
I.4.9 Le béton projeté .....	7
I.4.10 Le béton prêt à l'emploi (BPE).....	7
I.4.11 Le béton de ciment alumineux .....	8

I.5	Les avantages et les inconvénients de l'emploi du béton .....	8
I.5.1	Les avantages de béton .....	8
I.5.2	Les inconvénients de béton .....	8
I.6	Propriétés principales des bétons .....	8
I.6.1	Propriétés physiques .....	8
I.6.1.1	Ouvrabilité.....	8
I.6.1.2	Le retrait.....	9
I.6.1.3	Perméabilité et diffusivité.....	9
I.6.2	Propriétés mécaniques .....	9
I.6.2.1	Résistance mécanique .....	9
I.6.2.2	Résistance à la compression .....	9
I.6.2.3	Résistance à la traction .....	9
I.6.3	Durabilité .....	10
I.7	Domaines d'application du béton .....	10
I.7.1	Le bâtiment .....	10
I.7.2	Les travaux publics .....	10
	<b>Conclusion.....</b>	<b>10</b>
	<b>CHAPITRE II: LES TYPES DES DECHETS.....</b>	<b>12</b>
	<b>Introduction.....</b>	<b>12</b>
II.1	Origine de la production de déchets.....	12
II.2	Définition de déchets .....	12
II.3	Différents types de déchets .....	12
II.3.1	Déchets ultimes (DU) .....	12
II.3.2	Déchets inertes (DI) .....	12
II.3.3	Déchets assimilés (DA).....	13
II.3.4	Déchets verts (DV) .....	13
II.3.5	Déchets organiques (DO).....	13
II.3.6	Les déchets d'activités de soins (DAS) .....	13
II.3.7	Déchets industriels (DI) .....	13
II.3.8	Déchets dangereux (DD).....	13
II.3.8.1	Déchets industriels spéciaux (DIS) .....	13
II.3.8.2	Déchets ménagers spéciaux (DMS) .....	13
II.3.9	Les déchets d'emballages .....	14
II.3.10	Les déchets médicaux et pharmaceutiques .....	14
II.4	Gestion des déchets.....	14
II.4.1	Principes de gestion des déchets .....	14
II.4.2	Méthodes de gestion des déchets .....	14
II.4.2.1	L'enfouissement .....	15
II.4.2.2	L'incinération .....	15
II.4.2.3	La décharge contrôlée .....	15
II.4.2.4	Le compostage.....	15

II.4.2.5	Le recyclage .....	15
II.5	Déchets utilisés en génie civil.....	15
II.5.1	Laitiers de haut fourneau .....	15
II.5.2	Laitier d'acier.....	16
II.5.3	Cendres volantes .....	16
II.5.4	Mâchefer .....	17
II.5.5	Boues rouges.....	17
II.5.6	Béton récupéré .....	18
II.5.7	Verre de récupération.....	18
II.5.8	Sciure de bois.....	19
II.5.9	Lin de textile .....	19
II.5.10	Brique concassée.....	20
II.6	Les déchets de marbre.....	20
II.6.1	Définition de marbre .....	21
II.6.2	La poudre de marbre .....	21
II.6.3	Effet de la poudre de marbre.....	21
II.6.3.1	Effet de la poudre de marbre sur les propriétés physiques des bétons .....	21
II.6.3.2	Effet sur la porosité .....	22
II.6.4	Classification du marbre .....	22
II.6.4.1	La teinte.....	22
II.6.4.2	Le pourcentage en CaCO <sub>3</sub> .....	22
II.6.4.3	L'origine.....	22
II.6.4.4	L'aspect des éléments visibles .....	23
II.6.5	Les caractéristiques technologiques des marbres .....	23
II.6.6	Péetro-minéralogie des marbres du gisement de Filfila .....	24
II.6.6.1	Marbre blanc .....	24
II.6.6.2	Marbre gris clair .....	24
II.6.6.3	Marbre gris foncé .....	25
II.6.6.4	Marbre réséda.....	25
<b>Conclusion.....</b>	<b>25</b>	
<b>CHAPITRE III: MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALE.....</b>	<b>27</b>	
<b>Introduction.....</b>	<b>27</b>	
III.1	Matériaux utilisés.....	27
III.1.1	Caractéristiques du gravier .....	27
III.1.1.1	Analyse granulométrique par tamisage .....	28
III.1.1.2	L'essai d'aplatissement des granulats.....	30
III.1.1.3	La masse volumique.....	32
III.1.1.4	La résistance à la fragmentation par chocs (Essai Los Angeles) .....	34
III.1.1.5	Essai Micro-Deval .....	36
III.1.2	Caractéristique du sable .....	38
III.1.2.1	Analyse granulométrique de sable .....	39

III.1.2.2	Masse volumique.....	41
III.1.2.3	Module de finesse.....	42
III.1.2.4	Équivalent de sable .....	43
III.1.2.5	Essai au bleu de méthylène .....	45
III.1.2.6	Absorption d'eau .....	46
III.1.3	Ciment.....	46
III.1.3.1	Caractéristiques mécaniques .....	47
III.1.3.2	Masse volumique du ciment.....	47
III.1.4	L'eau de gâchage .....	48
III.2	Formulation des bétons d'études.....	49
III.2.1	Préparation de mélange.....	50
III.2.2	Malaxage du béton.....	50
III.2.3	Préparation des éprouvettes .....	50
III.2.4	Affaissement au cône d'Abrams.....	51
III.2.5	La presse hydraulique (Essai d'écrasement).....	51
III.2.6	L'essai de traction par flexion.....	52
<b>Conclusion</b> .....		<b>53</b>
<b>CHAPIRE IV : ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS.....</b>		<b>54</b>
<b>Introduction.....</b>		<b>54</b>
IV.1	Étude de béton.....	54
IV.1.1	Propriétés des bétons frais (État frais) .....	54
IV.1.1.1	Equivalent de sable.....	54
IV.1.1.2	Ouvrabilité (essai cône d'Abrams) .....	54
IV.1.1.3	Masse volumique (État frais).....	55
IV.1.2	Propriété de béton durcis (État durci) .....	56
IV.1.2.1	Essais mécaniques .....	56
<b>Conclusion.....</b>		<b>60</b>
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>		<b>62</b>
<b>RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>		<b>65</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure II- 1: Laitier de haut fourneau .....	16
Figure II- 2: Laitier d'acier .....	16
Figure II- 3: Cendre volante .....	17
Figure II- 4: Mâchefer .....	17
Figure II- 5: Boues rouges .....	18
Figure II- 6: Béton récupéré.....	18
Figure II- 7: Verre de récupération.....	19
Figure II- 8: Sciure de bois .....	19
Figure II- 9: Lin de textile .....	20
Figure II- 10: Brique concassée .....	20
Figure II- 11: Déchet de marbre .....	21
Figure II- a, b, c-12: Marbre blanc .....	24
Figure II -a, b, c-13: Marbre gris clair .....	24
Figure II -a, b, c-14: Marbre gris foncé .....	25
Figure II -a, b, c-15: Marbre réséda .....	25
Figure III- 1: Gravier utilisé [LTPE, 2024] .....	27
Figure III- 2: tamis analyse granulométrique de gravier [LTPE, 2024].....	28
Figure III- 3: Courbe granulométrique des graviers concassés 8/15 [LTPE, 2024] .....	29
Figure III- 4 : Courbe granulométrique des graviers concassés (15/25) [LTPE, 2024].....	30
Figure III- 5 : grille l'essai d'aplatissement [LTPE, 2024] .....	30
Figure III- 6:l'essai de la masse volumique apparente [LTPE, 2024] .....	32
Figure III- 7:l'essai de la masse volumique absolue [LTPE, 2024].....	33
Figure III- 8:l'essai Los Angeles [LTPE, 2024] .....	34
Figure III- 9:l'essai de Micro Deval [LTPE, 2024].....	36
Figure III- 10: sable carrière [LTPE, 2024].....	38
Figure III- 11 : sable déchet de marbre [LTPE, 2024] .....	38
Figure III- 12 : tamis analyse granulométrique de sable [LTPE, 2024].....	39
Figure III- 13 : Courbe granulométrique sable carrière (0/3) [LTPE, 2024] .....	40
Figure III- 14 : Courbe granulométrique sable déchet de marbre (0/3) [LTPE, 2024].....	41
Figure III- 15:L'essai de la masse volumique apparente de sable carrière et sable déchet de marbre [LTPE, 2024].....	41
Figure III- 16:l'essai Équivalent de sable [LTPE, 2024].....	43
Figure III- 17:L'essai au bleu de méthylène [LTPE, 2024] .....	45
Figure III- 18 : Ciment (CPJ-CEM II/42.5) [LTPE, 2024].....	46
Figure III- 19 : l'essai masse volumique apparente d'un ciment.....	47
Figure III- 20 : le pycnomètre .....	48
Figure III- 21: Le malaxage de béton [LTPE, 2024].....	50
Figure III- 22 : Préparation des éprouvettes [LTPE, 2024] .....	51
Figure III- 23 : Affaissement au cône d'Abrams [LTPE, 2024].....	51

<b>Figure III- 24: Presse hydraulique [LTPE, 2024] .....</b>	<b>52</b>
<b>Figure III- 25: Essai de traction par flexion [LTPE, 2024] .....</b>	<b>52</b>
<b>Figure IV- 1: l'affaissement pour les différents mélanges du Béton ordinaire à l'état frais [LTPE, 2024].....</b>	<b>55</b>
<b>Figure IV- 2: la masse volumique pour les différents mélanges du béton ordinaire à l'état frais [LTPE, 2024].....</b>	<b>56</b>
<b>Figure IV- 3: Résistance à la compression pour les différents mélanges (7j et 28j) [LTPE, 2024].</b>	<b>57</b>
<b>.....</b>	<b>57</b>
<b>Figure IV- 4: Résistance à la compression pour les différents mélanges à 28j.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure IV- 5: Résistance à la traction par flexion pour les différents mélanges (7j et 28j) [LTPE, 2024].....</b>	<b>59</b>
<b>Figure IV- 6: Résistance à la traction par flexion pour les différents mélanges à 28. ....</b>	<b>60</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I- 1: Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe. ....	4
Tableau II- 1: Composition chimique de la poudre de marbre .....	21
Tableau III- 1 : Analyse granulométrique du gravier concassé (8/15) [LTPE, 2024].....	29
Tableau III- 2 : Analyse granulométrique du gravier concassé (15/25) [LTPE, 2024].....	29
Tableau III- 3: résultat d'aplatissement 8/15 [LTPE, 2024].....	31
Tableau III- 4: résultat d'aplatissement 15/25 [LTPE, 2024].....	32
Tableau III- 5: Masse volumique apparente du gravier concassé (8/15) et (15/25) [LTPE, 2024]	33
Tableau III- 6: Masse volumique absolue du gravier (8/15) et (15/25) [LTPE, 2024] .....	34
Tableau III- 7: Adaptation des charges des boulets correspondant à la classe granulaire .....	35
Tableau III- 8: Estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient LA .....	36
Tableau III- 9: Résultats d'essai de Los Angeles du gravier (8/15) [LTPE, 2024] .....	36
Tableau III- 10: Nombre des billes pour essai Micro-Deval .....	37
Tableau III- 11: Résultats d'essai de Micro Deval [LTPE, 2024] .....	38
Tableau III- 12: Analyse granulométrique de la sable carrière (0/3) [LTPE, 2024].....	39
Tableau III- 13: Analyse granulométrique du sable déchet de marbre (0/3) [LTPE, 2024] .....	40
Tableau III- 14: Masse volumique apparente du sable carrière et sable déchet de marbre [LTPE, 2024].....	42
Tableau III- 15: Masse volumique absolue du sable carrière et sable déchet de marbre [LTPE, 2024].....	42
Tableau III- 16 : le module de finesse du sable utilise [LTPE, 2024] .....	42
Tableau III- 17: Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable Esv et Esp.....	44
Tableau III- 18: Les résultats de l'équivalent de sable carrière et sable déchet de marbre [LTPE, 2024].....	45
Tableau III- 19 : Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés [LTPE, 2024] .....	46
Tableau III- 20: Caractéristiques Mécaniques du Ciment.....	47
Tableau III- 21 : masse volumique apparente d'un ciment. ....	48
Tableau III- 22 : Analyses chimiques de l'eau de gâchage.....	48
Tableau III- 23 : Les pourcentages des granulats. ....	49
Tableau III- 24 : Dosage en volume des granulats .....	49
Tableau III- 25 : Dosage en masse des granulats. ....	49
Tableau III- 26: Composition des bétons d'étude. ....	50

<b>Tableau IV- 1: Quantités d'eau réellement utilisées et l'affaissement pour les différents mélanges [LTPE, 2024].</b> .....	<b>54</b>
<b>Tableau IV- 2 : la masse volumique pour les différents mélanges du béton ordinaire à l'état frais [LTPE, 2024].</b> .....	<b>56</b>
<b>Tableau IV- 3: la résistance à la compression pour les différents mélanges du béton ordinaire à 7j et 28j</b> .....	<b>57</b>
<b>Tableau IV- 4: la résistance à la traction par flexion pour les différents mélanges du béton ordinaire à 7j et 28j [LTPE, 2024].</b> .....	<b>59</b>

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

En raison de la croissance de la population mondiale, de l'urbanisation généralisée et des conditions économiques des pays en développement, le rythme de développement du secteur de la construction s'est considérablement accéléré.

Le béton est le matériau le plus consommé au monde après l'eau. Chaque habitant de la planète consomme en moyenne 1 mètre cube par an. Selon le conseil mondial des entreprises pour le développement durable, environ 25 milliards de tonnes de béton sont produites chaque année. Lorsque de vieux bâtiments sont démolis ou que des catastrophes naturelles surviennent, la mise en décharge de ces matériaux pose un problème environnemental important en raison de leur longue durée de vie et de leur non-dégradabilité. Le recyclage de ce matériau élimine la mise en décharge et récupère la matière utile. L'utilisation des déchets de démolition comme source de granulats pour produire du nouveau béton présente actuellement un grand intérêt pour l'industrie de la construction. Les principales raisons de cet intérêt croissant sont la protection de l'environnement, la protection des ressources naturelles dans leur ensemble, la suppression des décharges publiques et la réduction des coûts d'élimination des déchets, sans oublier notamment l'empreinte de carbone lorsque le béton recyclé est utilisé sur place [1].

Le recyclage des granulats issus des matériaux de démolition, déjà largement utilisé dans le secteur du bâtiment public et moins dans le génie civil, semble être la solution idéale et la plus prometteuse au problème des déchets. En réponse aux inquiétudes concernant le manque de granulats naturels nécessaires au fonctionnement des chantiers de construction et à la promotion de la gestion de l'environnement par l'élimination des décharges illégales, ces granulats connaissent un développement important dans les pays développés.

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.

## **Objectifs**

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de l'ajout de sable de marbre sur les propriétés physiques et mécaniques du béton, telles que l'affaissement, la résistance à la compression et la traction en flexion. Les résultats de cette étude pourraient fournir des informations précieuses pour l'utilisation du sable de marbre dans la construction.

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

## **Plan de travail**

Pour bien cerner le sujet et arriver aux objectifs fixés. Nous avons donc mené un plan de 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 présentés. 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 présentés.
- 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 marbre et des autres résultats du béton avec un taux de sable de marbre (30%,50%,70% et 100%).
- Enfin, notre travail est achevé par une conclusion générale et de recommandations au service de travaux ultérieurement.

**CHAPITRE I**  
**ÉTUDE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## Introduction

Aujourd'hui, le béton fait partie de notre cadre de vie et constitue l'un des matériaux de construction les plus utilisés au monde [2, 3]. En effet, sa simplicité de fabrication et d'installation, sa durabilité et son économie, ainsi que les propriétés mécaniques qu'il offre, le rendent légitimement utile pour réaliser les travaux les plus divers. Le béton est utilisé dans tous types de construction : bâtiments, ouvrages d'art, monuments et éventuellement dans des éléments décoratifs... Il réalise également des produits préfabriqués, des éléments de structure, etc. ; par exemple : des canalisations, des blocs, des poutres, des pavés, des planchers, des cloisons, escaliers [4] .

## I.1 Définition du béton

Le béton est un mélange de granulats, de ciment, d'eau, d'additifs minéraux (parfois à la place du ciment), souvent d'adjuvants, et parfois de fibres en proportions variables. C'est le matériau de construction le plus utilisé au monde, avec une production annuelle estimée à environ une tonne pour chacun des habitants de la planète. Ce succès est dû à plusieurs facteurs : le béton est un matériau économique, fabriqué principalement à partir de ressources locales ; il est solide, durable, isolant thermiquement et acoustiquement ; il participe à l'architecture par les formes, les textures et les tons qu'il permet d'obtenir ; il est facile à mettre en œuvre et fonctionne bien avec l'acier [5].

## I.2 Les constituants d'un béton

### I.2.1 Le ciment

Le ciment est un produit broyé créé lors du refroidissement du clinker et contenant un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à un point de fusion compris entre 1 450 et 1550°C. Le ciment ordinaire a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau, puisque cette hydratation transforme la pâte de liant, plus ou moins liquide dans sa consistance initiale, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau, également appelé liant hydraulique. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment les silicates et les aluminates de calcium [6].

#### I.2.1.1 Classification de ciment

Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normale [7] :

##### ➤ Classification des ciments en fonction de leur composition

Les ciments constitués de clinker et de composants secondaires sont classés en cinq grands types selon leur composition selon la norme NF P15-301. En notation européenne, ils sont numérotés avec des chiffres romains de 1 à 5 (notation française entre parenthèses).

- CEM I: Ciment Portland (CPA).
- CEM II : Ciment portland composé (CPJ).
- CEM III : Ciment de haut fourneau (CHF).
- CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ).
- CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

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

Trois classes sont définies selon la résistance normale après 28 jours. Ces trois grandes classes se voient attribuer une sous-classe « R » pour identifier les ciments plus résistants à un stade jeune.

Ces classes sont classées Classe 32.5, Classe 42.5 et Classe 52.5. Les spécifications et les valeurs garanties indiquées dans le tableau I-1 doivent être respectées. Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs garanties qui peuvent tomber en dessous de la valeur spécifiée.

**Tableau I- 1: Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe [7].**

Classe	Résistance à la compression (MPa)			Retrait à 28 jours	Début de prise	Stabilité
	Au jeune âge	à 28 jours		( $\mu$ m /m)	(min)	(min)
	2 Jours	Min	Max			
32.5		30_32.5	$\leq$ 52.5	$\leq$ 800	90	$\leq$ 10
32.5R	12_13,5	30_32.5	$\leq$ 52.5	$\leq$ 1000	90	$\leq$ 10
42.5	10_12.5	40_42.5	$\leq$ 62.5	$\leq$ 1000	60	$\leq$ 10
42.5R	18_20	40_42.5	$\leq$ 62.5	$\leq$ 1000	60	$\leq$ 10
52.5	18_20	50_52.5	-	-	60	$\leq$ 10
52.5R	28_30	50_52.5	-	-	60	$\leq$ 10

## I.2.2 L'eau de gâchage

L'eau est essentielle à la fabrication du béton. Pratiquement n'importe quelle eau potable naturelle, sans odeur ni goût prononcés, peut être utilisée pour fabriquer du béton. L'eau de service doit être exempte de composés susceptibles d'attaquer chimiquement les hydrates de ciment, les granulats ou les armatures (par exemple, des chlorures à environ 0,2 % à 0,4 % de la masse de ciment) (peut présenter un risque de corrosion). L'eau doit être exempte de toute matière en suspension qui pourrait altérer ses propriétés initiales. L'eau doit être exempte de poussière et d'huile flottantes [8].

## I.2.3 Les granulats

« Granulats » désigne les matériaux inertes provenant de carrières, le sable, les graviers, les galets, la pierre concassée, la roche concassée ou les granulats laminés obtenus à partir du lit des rivières et utilisés dans la fabrication du béton. Ces matériaux sont également appelés (granulats). La taille des granulats dépend de la taille du coffrage, de la densité de l'acier des éléments en béton armé et du type de béton requis. Les granulats comprennent le sable et la pierre. Ils sont classés selon la taille [6].

### I.2.3.1 Les différents types des granulats

Les granulats utilisés pour le béton sont soit d'origine naturelle, soit artificiels. Leur taille variable déterminera l'utilisation du béton [6]:

- Les granulats naturels.
- Granulats roulés et granulats de carrières.

- Les granulats artificiels.
- Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement.
- Granulats allégés par expansion ou frittage.
- Les granulats très légers.

### I.2.4 Gravier

Le gravier a une origine similaire au sable et est produit par l'effondrement de roches. La dimension maximale du granulat est déterminée d'une part par la distance minimale à réaliser, et d'autre part par la distance minimale entre les différentes armatures de la structure. La fraction 3/8 est considérée comme du sable concassé [9].

### I.2.5 Sable

Le sable est défini comme la proportion d'agrégats de pierre dont les dimensions des particules sont comprises entre 05 $\mu$ m et 80 $\mu$ m. Il s'agit d'une définition globale et ses limites varient selon la classification. Matériaux d'un diamètre maximum inférieur à 6,3 mm et pas plus de 30 passages dans la direction 80  $\mu$  m. Le plus souvent, le « sable » désigne des éléments dont la taille est comprise entre 0 et 5 mm [10].

#### I.2.5.1 Les types de sables

- Sable de rivière.
- Sable de mer.
- Sable de carrier.
- Sable artificiel.
- Sable de dune.
- Sable recycle.

#### I.2.5.2 Classification des sables

##### ➤ Sable grossier

Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2 mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80  $\mu$ m sont compris entre 0,5 et 5 mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves [10].

##### ➤ Sable moyen

Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs a80 $\mu$ m sont compris entre 0,2 et 2mm [10].

##### ➤ Sable fin

Plus de 75% des éléments supérieurs à 80  $\mu$ m, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves [10].

### I.2.6 Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques ou naturels sous forme liquide ou en poudre. Ceux-ci peuvent améliorer certaines propriétés des produits en ciment tels que le béton, le mortier et le coulis. Les adjuvants sont incorporés au béton à faibles doses, inférieures à 5 % de la masse de ciment, avant

ou pendant le gâchage. Les propriétés à améliorer sont déterminées soit à l'état frais, pendant la prise et le durcissement, soit à l'état durci [8].

On peut classer les adjuvants en trois critères [11] :

- **Ceux qui agissent sur l'ouvrabilité** : plastifiants, réducteurs d'eau, Superplastifiants, fluidifiant.
- **Ceux qui agissent sur la prise et le durcissement** : accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise, antigel.
- **Ceux qui agissent sur les autres propriétés** : entraîneurs d'air, générateurs de gaz, Hydrofuge.

## I.2.7 Les additions minérales

Les additions minérales se présentent souvent sous forme de poudres fines ou ultrafines de petites dimensions et sont ajoutés à raison d'environ 10 % du poids du ciment. Les additifs minéraux peuvent être **actifs** ou **inertes** et, grâce à leurs propriétés physico-chimiques (cendres volantes, scories, fillers...), améliorent significativement les performances et la durabilité du béton. Ces poudres améliorent la consistance du béton frais en le rendant d'abord plus fluide.

À long terme, ces poudres augmentent la densité du béton (réduisant la porosité) et augmentant sa durabilité. De plus, l'utilisation de poudres de pouzzolane activées (poussière de silice, cendres volantes...) permet la réalisation de bétons plus durables, plus compacts et donc plus durables. Ces poudres sont largement utilisées dans la production de bétons à haute résistance et ultra hautes performances [8].

## I.3 Les méthodes de formulation du béton

Il existe de nombreuses façons de calculer une composition spécifique, et aucune méthode n'est largement reconnue comme la meilleure. Une configuration concrète est toujours le résultat d'un compromis entre un ensemble d'exigences fondamentalement contradictoires [12].

- Méthode de Dreux-Gorisse.
- Méthode de Faury.
- Méthode de scamtaiev.
- Méthode de Joisel.
- Méthode de Bolomey.
- Méthode de Vallete [13].

## I.4 Différents types de béton

### I.4.1 Béton ordinaire

Il s'agit d'un mélange homogène constitué uniquement des ingrédients de base ciment, granulats et eau, dont le rapport (E/C) varie en fonction de la plasticité et de la résistance requise. La résistance à la compression du béton ordinaire est de  $20 \text{ MPA} \leq f_{c28} \leq 50 \text{ MPA}$  [10].

### I.4.2 Béton auto plaçant (BAP)

Il a été développé par des chercheurs de l'Université de Tokyo au Japon dans les années 1980. Le béton auto plaçant est un béton fluide, hautement déformable, homogène et stable, qui se met en place par

gravité sans recours à des moyens de vibration. Il doit s'adapter parfaitement aux géométries de coffrages les plus complexes, aucune ségrégation ne doit se produire et il doit avoir des propriétés comparables au béton vibrant classique [10].

### **I.4.3 Béton de haute performance (BHP)**

Bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours. (Supérieure à 50 MPA), et un rapport pondéral (E/C) inférieur à 0,40. Sa principale propriété est une résistance élevée à la compression, bien supérieure à celle du béton ordinaire. Ceci est obtenu grâce à la faible porosité, qui est réduite en réduisant la quantité d'eau de gâchage à l'aide d'additifs plastifiants et d'additifs superplastifiants [10].

### **I.4.4 Béton de fibre**

Béton dans lequel sont incorporées des fibres, ce qui permet suivant l'ouvrage de supprimer le Treillis soudé traditionnel [10].

### **I.4.5 Béton léger**

La masse volumique du béton léger après séchage est de 2100 kg/m<sup>3</sup>. Parmi ces bétons, on peut citer les bétons de granulats légers. Utilisé dans le domaine du confort thermique [10].

### **I.4.6 Béton lourd**

Béton d'une masse volumique de 2600 kg/m<sup>3</sup> ou plus. La résistance mécanique du béton lourd est comparable à celle du béton conventionnel et est encore plus élevée en raison de la moindre quantité d'eau [10].

### **I.4.7 Le béton armé**

Les spécifications du béton sont utilisées pour les fondations traditionnelles, mais un nouveau matériau est ajouté l'acier. En installant des renforts de ce matériau, la solidité de la fondation en béton peut être augmentée. En effet, l'acier est un matériau très résistant, que ce soit en traction ou en compression [5].

### **I.4.8 Le béton précontraint**

Est un type de béton qui a la propriété particulière de rester en état meilleure compression. Cet état comprimé permet d'utiliser le béton dans des conditions optimales, favorisant ainsi une meilleure finition [5].

### **I.4.9 Le béton projeté**

C'est un béton qui porte bien son nom puisqu'il est projeté intentionnellement sur une surface solide à l'aide d'un projecteur à air comprimé. Le but est de limiter le tassement du béton et sa coulée ultérieure. En termes de composition, le béton projeté a des propriétés similaires à celles du béton de base traditionnel [5].

### **I.4.10 Le béton prêt à l'emploi (BPE)**

Conçu directement par le fabricant dans son usine de béton. Il est ensuite transporté à l'aide d'un camion routeur et transféré directement sur le site client. Une fois sur place, le béton prêt à l'emploi est appliqué par des camions malaxeurs via des pompes à béton ou des goulottes [5].

## **I.4.11 Le béton de ciment alumineux**

Comme son nom l'indique, il est composé de ciment alumineux. Ce type de ciment, à base d'aluminate de calcium, présente de nombreux avantages par rapport au béton. Le durcit plus rapidement, a une meilleure durabilité à long terme et le peut résister à des températures élevées [5].

## **I.5 Les avantages et les inconvénients de l'emploi du béton**

### **I.5.1 Les avantages de béton**

- La forme s'adapte à toutes les formes, des plus robustes aux plus délicates.
- Bon marché, facile à créer et nécessitant peu d'entretien.
- Durcit comme la pierre.
- Résistance au feu et aux influences mécaniques générales.
- Offre une très large gamme d'options de construction lorsqu'il est combiné avec l'acier [4].

### **I.5.2 Les inconvénients de béton**

- Faible résistance à la traction.
- Un coffrage est requis pour la mise en œuvre.
- Coûteux à détruire (en cas de démolition) et ne peut pas ou est rarement recyclé.
- Faible isolation thermique [4].

## **I.6 Propriétés principales des bétons**

### **I.6.1 Propriétés physiques**

#### **I.6.1.1 Ouvrabilité**

L'ouvrabilité est une propriété importante du béton. Celle-ci peut être définie comme la légèreté donnée au béton pour remplir entièrement le coffrage et l'armature. Une bonne ouvrabilité signifie une marge de sécurité sans conséquences indésirables. Une certaine marge nécessaire quant aux règles appropriées, plus ou moins strictes, à appliquer pour une exécution optimale. En fait, la constructibilité dépend de la plupart des propriétés de la structure. La compacité et la résistance réelle du béton dans la structure elle-même, l'enrobage et l'adhésion des armatures, la cohésion du béton pour réduire les risques de décollement, le bel aspect extérieur, l'imperméabilisation. Pour cette raison, les laboratoires responsables des essais du béton doivent considérer l'ouvrabilité comme une propriété tout aussi importante que la durabilité.

Elle est influencée par la granulométrie et la forme des granulats, par le dosage en ciment et en eau, par l'emploi éventuel d'adjuvants. Les essais les plus couramment utilisés pour mesurer la consistance du béton sont l'essai d'affaissement du cône d'Abrams [Norme NF P 18-451], l'essai d'étalement sur table vibrante et l'ouvrabilité LCPC. Toutefois, les tests Vébé et indice de compactage ne s'appliquent qu'aux bétons très résistants [14].

## **I.6.1.2 Le retrait**

C'est la réduction des dimensions du béton lorsqu'il n'y a aucune charge. Cela est dû à l'élimination d'une partie de l'eau de gâchage et à la réaction d'hydratation des particules de ciment. Le retrait est provoqué par la pâte de ciment, mais il peut également se produire dans le béton selon les situations. Le durcissement à l'eau réduit considérablement les effets du retrait. Pour cette raison, les pièces sont maintenues humides en les arrosant pendant la cure (durcissement du béton), lorsque la résistance à la traction du béton très jeune est encore faible et peut facilement se fissurer sous l'effet du retrait [14].

Il y a cinq types de retrait : Le retrait plastique, le retrait de séchage, le retrait endogène, le retrait thermique et le retrait de carbonatation.

## **I.6.1.3 Perméabilité et diffusivité**

La perméabilité est la capacité d'un matériau à pénétrer et à laisser passer des liquides (tels que l'eau, l'air ou d'autres gaz). Ceci est directement lié aux propriétés du réseau poreux (forme, dimensions, répartition, courbure...). La perméabilité des matériaux cimentaires évolue au fur et à mesure de l'hydratation. La diffusion fait référence au mouvement d'espèces chimiques au niveau moléculaire sous l'action d'un gradient de concentration. Cela ne dépend pas de la taille des pores, mais des connexions entre eux. Bien que les mécanismes et les lois qui contrôlent la perméabilité et la diffusivité soient différents, les moyens d'action qui les limitent sont les mêmes. Le béton est plus durable et plus résistant à la pénétration de substances agressives de l'extérieur, ce qui limite le volume occupé par l'eau et la connectivité du réseau capillaire [14].

## **I.6.2 Propriétés mécaniques**

### **I.6.2.1 Résistance mécanique**

La résistance mécanique du béton est déterminée par plusieurs paramètres [14] :

- Type et qualité des composants (ciment, granulats, eau, matériaux auxiliaires).
- Exigences de mise en œuvre pour ces composants.
- Conditions de stockage de température et d'humidité environnementales.

### **I.6.2.2 Résistance à la compression**

La résistance à la compression du béton est un paramètre opérationnel fondamental pour les ingénieurs en salle de planification. C'est la propriété la plus couramment utilisée pour la conception et le dimensionnement des structures en béton armé. Tout d'abord, un ingénieur d'un bureau d'études s'intéresse à la valeur caractéristique qui possède le chiffre le plus élevé après 28 jours. Cette période ne signifie pas que la réaction d'hydratation du ciment est terminée. En pratique, il s'agit d'un compromis entre un temps de contrôle trop long et l'atteinte d'une valeur représentative de la résistance finale que l'on espère atteindre après plusieurs mois de réaction d'hydratation [14].

### **I.6.2.3 Résistance à la traction**

La mesure de la résistance à la traction est moins courante que la mesure de la résistance à la compression. Cela s'explique principalement par le fait que le béton précontraint est généralement ignoré dans la réglementation actuelle (pour le béton armé et le béton précontraint, mais pas pour les revêtements routiers). Cette résistance à la traction est également faible, donc les estimations basées sur la résistance à la compression sont souvent suffisantes [14].

## I.6.3 Durabilité

Le béton durable est un béton qui peut résister de manière satisfaisante aux attaques chimiques et à tous les processus de décomposition. Conserve sa forme et sa qualité d'origine même lorsqu'il est exposé à l'environnement. La durabilité du béton dépend de facteurs qui ne sont pas toujours faciles à déterminer : conditions de construction, composition des différents composants (ciment, granulats, eau, additifs), âge du béton, conditions climatiques, environnement du béton dans lequel il est utilisé [14].

## I.7 Domaines d'application du béton

Le béton est généralement précontraint, armé ou non armé et est abrégé par les lettres NA (non armé), BA (béton armé) ou BP (béton précontraint). Le béton en tant que matériau de construction est actuellement utilisé dans diverses applications et processus, notamment dans les bâtiments, les travaux publics, les ponts, les tunnels et les routes en dur [4].

### I.7.1 Le bâtiment

Le béton tient une place essentielle dans l'urbanisme moderne. Cela semble normale lorsqu'on considère son utilisation dans la construction de logements, pour les murs, 80% des techniques en individuelle, plus de 90% en collectif pour les structures, pour les planchers, le béton est pratiquement le matériau idéal. Le béton est largement imposé dans les autres secteurs de la construction : bureaux, hôpitaux, locaux, ainsi que dans grands édifices publics et les bâtiments industriels [2].

### I.7.2 Les travaux publics

- **Les ponts** : Les progrès techniques, en particulier, l'évolution des caractéristiques de béton, permettent de réaliser des portées atteignant plusieurs centaines de mètres.
- **Les tunnels** : Pour les grands tunnels dont les exemples se multiplient dans le monde, le béton est soit coulé surplace, soit utilisé dans des voussoirs préfabriqués. Ceux-ci sont posés à l'avancement de la machine à forer-le tunnelier.
- **Les barrages** : Les grands barrages sont le plus souvent en béton permettant des implantations dans les sites les plus difficiles.
- **Les routes** : La chaussée béton prend une part de plus en plus importante dans les grandes voiries routières et autoroutières, grâce au développement de techniques modernes : béton armé continu, dalle épaisse traitement de surface les voiries à faible trafic et aménagements urbains montrent un regain d'intérêt pour les solutions béton, qui leur assurent durabilité et faible cout d'entretien.
- **Autres ouvrages** : Il faut également citer les ouvrages hors du commun : structures offshore ou centrales nucléaires, dont les exigences requièrent des bétons aux caractéristiques mécaniques et à la durabilité élevées [2].

## Conclusion

D'après notre étude bibliographique, il n'est pas aisé de dégager des règles générales d'emplois de granulats recyclés dans les bétons ou mortiers ; cela vient de la disparité des objectifs des scientifiques, de ce que leur travail vise à caractériser, ou rechercher des propriétés particulières, de l'abondance des paramètres de composition, de matériaux locaux, de la mise en place, du mode de cure et d'essais.

## CHAPITRE I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

Nous envisageons dans cette étude de travailler sur l'obtention des solutions au problème, avec la possibilité d'incorporer des proportions de fines de marbre sur du béton constitué partiellement d'agrégats recyclés pour obtenir un béton résistant et durable, nous abordons le problème en mesurant avec de nombreuses études menées dans le même domaine.

**CHAPITRE II**  
**LES TYPES**  
**DES**  
**DÉCHETS**

### Introduction

Depuis le regroupement des sociétés humaines dans des villes et des villages, les activités quotidiennes ont été sources de rejets de déchets. Qu'il s'agisse des excréments produits par tout être humain ou par les animaux d'élevages, de restes d'aliments non consommés, de sous-produits de l'artisanat puis de l'industrie, de biens de consommation généralisés par l'évolution socio-économique des dernières décennies, la ville a toujours cherché à gérer sa production de déchets solides et liquides [2].

Le recyclage permet une meilleure gestion des ressources, par valorisation des « déchets » et par économie des granulats naturels traditionnels. Son impact environnemental et écologique est conditionné également par la limitation des zones de dépôt, de l'ouverture de carrières et de l'exploitation des lits alluvionnaires [12].

Dans ce chapitre, nous présentons les différents types de déchets utilisés dans le domaine du génie civil, la gestion et l'activité de recyclage de ces matériaux en abordant le cas de certains mode d'utilisation qui ont adopté cette politique et en soulignant la situation en Algérie [10].

### II.1 Origine de la production de déchets

La production de déchets est inévitable pour les raisons suivantes [15]:

- **Biologiques** : chaque cycle de vie produit des métabolites ;
- **Chimiques** : toutes les réactions chimiques sont régies par la loi de conservation de la matière, ce qui signifie que toute tentative d'obtenir un produit à partir de deux autres produira immédiatement un quatrième produit ;
- **Technologiques** : chaque processus industriel conduit à la production de déchet ;
- **Economiques** : les produits en une durée de vie limitée ;
- **Ecologiques** : les méthodes de nettoyage (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessitent une gestion particulière ;
- **Accidentelles** : les dysfonctionnements inévitables des systèmes de production et de consommation génèrent également du gaspillage ;

### II.2 Définition de déchets

Généralement, un déchet signifie la quantité perdue lors de l'utilisation d'un produit, la quantité restante après utilisation. Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer [15].

### II.3 Différents types de déchets

#### II.3.1 Déchets ultimes (DU)

Tous les déchets ménagers et assimilés issus de la collecte parallèle avec la collecte sélective, le tri des ordures ménagères, les déchets industriels généraux des ménages et des déchetteries ainsi que les boues des stations d'épuration [10].

#### II.3.2 Déchets inertes (DI)

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. Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobes bitumeux [10].

### **II.3.3 Déchets assimilés (DA)**

Les déchets ménagers et assimilés comprennent les déchets ménagers (MO) des ménages et tous les déchets gérés par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants) [10].

### **II.3.4 Déchets verts (DV)**

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...) [10].

### **II.3.5 Déchets organiques (DO)**

Les termes suivants font référence à la même notion : déchets biologiques ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des déchets domestiques). Il s'agit de [10]:

- Déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts)
- Déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épiluchures, papiers essuie-tout, papier.
- Journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc....

### **II.3.6 Les déchets d'activités de soins (DAS)**

Les déchets médicaux sont des déchets générés par les domaines des soins médicaux, de la médecine vétérinaire ou de la recherche médicale. Les réserves annuelles en France sont estimées à environ sept cent mille tonnes. En raison de leur grande diversité, il est difficile de les classer clairement. En effet, les déchets issus des activités de santé ont des origines diverses, des déchets de cuisine aux déchets humains, et présentent des caractéristiques différentes. Par ailleurs, il n'est pas toujours aisé de marquer la limite entre les déchets hospitaliers sans risque et les déchets contaminés [10].

### **II.3.7 Déchets industriels (DI)**

Les déchets d'activités économiques (DAE), anciennement appelés déchets industriels, sont des déchets produits par les activités économiques (industrie, secteur manufacturier, bâtiment et travaux publics (BTP), secteur tertiaire, agriculture, etc.). Dans le cadre de la responsabilité élargie du producteur, ce dernier est responsable de la gestion de ses déchets jusqu'à leur élimination ou leur valorisation finale [10].

### **II.3.8 Déchets dangereux (DD)**

#### **II.3.8.1 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.... [15].

#### **II.3.8.2 Déchets ménagers spéciaux (DMS)**

Il s'agit de déchets dangereux présents dans les ordures ménagères comme les aérosols, colles, détergents, détachants, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce que l'on appelle également DTQS : déchets dangereux en quantités dispersées [15].

### II.3.9 Les déchets d'emballages

Cette catégorie comprend principalement les déchets dont le papier, le plastique, le carton, etc. Ainsi, les déchets de construction ou de démolition de routes peuvent inclure tous ces types de déchets. -Béton (40%), -Brique (30%), -Bois (10%), -Plastique (5%), -Métal (5%), -Autres éléments (10%). Ce traitement des déchets permet de séparer les éléments inappropriés (comme les métaux) dans la production de granulats recyclés destinés à l'usage routier. Il existe trois types de matériaux issus du recyclage : - Granulat recyclé béton [15].

### II.3.10 Les déchets médicaux et pharmaceutiques

Tous déchets résultant des activités de diagnostic, de surveillance et de traitement préventif, palliatif ou curatif dans le domaine de la médecine humaine ou vétérinaire et tous déchets résultant du fonctionnement des établissements publics de maladies, des cliniques, des installations de recherche scientifique, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et tous assimilés installations [3].

## II.4 Gestion des déchets

### II.4.1 Principes de gestion des déchets

Il existe un certain nombre de principes guidant la gestion des déchets, dont l'application varie selon les pays ou les régions. La hiérarchie des stratégies a changé à plusieurs reprises au cours des dix dernières années, mais le concept de base reste le fondement de la plupart des stratégies de gestion des déchets : utilise la quantité maximale de matériaux et produit la quantité minimale de déchets [ [16], [17] , [18]]. Certains experts en gestion des déchets ont récemment ajouté un « Quatrième R » : « Repenser », sous-entendant que le système actuel présente des faiblesses et qu'un système pleinement efficace nécessitera une refonte complètement différente en termes de déchets. Certaines solutions « repensées » sont parfois peu intuitives. On peut prendre par exemple un cas dans l'industrie textile : afin de réduire la quantité de papier utilisée pour les patrons, il a été conseillé de les découper dans de plus grandes feuilles, afin de pouvoir utiliser les chutes pour découper les petites pièces du patron. Bien entendu, ces solutions ne se limitent pas à l'industrie textile [4]. La réduction à la source nécessite des efforts pour réduire les déchets toxiques et autres résidus en modifiant la production industrielle. Les méthodes de réduction à la source incluent des changements dans les processus de fabrication, les intrants de matières premières et la gamme de produits. Parfois le principe de «prévention de la pollution» indique en fait la mise en œuvre d'une politique de réduction à la source. Une autre méthode de réduction des déchets à la source est d'accroître les incitations au recyclage par exemple, certaines villes des États-Unis ont introduit des taxes basées sur la quantité de déchets déversés, qui se sont révélées efficaces pour réduire la production de déchets municipaux. L'efficacité des mesures de réduction à la source se mesure par la mesure dans laquelle elles réduisent la production de déchets [3].

### II.4.2 Méthodes de gestion des déchets

La gestion des déchets est la détermination du type de traitement à appliquer à une catégorie de déchets. Bien entendu, des ressources financières et physiques doivent être disponibles pour assurer une bonne gestion des déchets. Par conséquent, si elles sont correctement gérées, les dommages à la santé peuvent être minimisés. Envisagez progressivement différentes méthodes de gestion des déchets. Il existe actuellement cinq de ces méthodes [3] .

### II.4.2.1 L'enfouissement

L'enfouissement est une méthode de traitement des déchets organiques qui consiste à creuser un trou de 0,5 à 1 mètre de profondeur, à y verser les déchets, à les asperger d'essence, à les recouvrir de terre et à les brûler sans produire de fumée les déchets. Ce procédé utilise du chlore, de la chaux, du kérosène et de l'essence comme produits désinfectants ou désodorisants. Cette méthode reste très adaptée aux établissements médicaux [3].

### II.4.2.2 L'incinération

Il s'agit d'un processus de traitement final des déchets urbains qui utilise le feu pour incinérer les déchets générés par les hôpitaux. L'incinération implique la collecte des déchets et des ordures et leur séparation en matériaux combustibles et non combustibles. Bien que cette méthode soit considérée comme une bonne méthode d'élimination des déchets et qu'elle soit satisfaisante, certains inconvénients peuvent être mentionnés ici [3]:

- Elle nécessite une évacuation des cendres après son exécution.
- Elle provoque un danger de pollution de l'environnement par sa fumée.
- Elle nécessite un investissement et un coût d'exploitation élevés pour sa construction.

### II.4.2.3 La décharge contrôlée

Une décharge gérée est une décharge publique planifiée pour l'élimination des déchets ménagers. Cela présente l'avantage de fournir des éléments pour nourrir les jardins et les plantations. Cette méthode n'est pas recommandée pour l'élimination des déchets hospitaliers [3].

### II.4.2.4 Le compostage

Le compostage est le processus de décomposition de la matière organique usagée, de sa récupération sous une autre forme et de son utilisation comme engrais. Des préparatifs sont nécessaires pour recevoir les déchets, trier les déchets, composter, décomposer et fournir des produits finis [3].

### II.4.2.5 Le recyclage

Le recyclage a l'avantage de réduire la consommation de matières premières pour la production de nouveaux produits, minimisant ainsi l'impact des déchets environnementaux, puisque tout ce qui est brûlé est irrémédiablement perdu en tant que matière première. Un recyclage efficace des déchets réutilisables nécessite une séparation préalable. L'objectif principal de cette mesure est d'éviter de contaminer les déchets recyclables avec des déchets non recyclables. En fait, cela peut le rendre impropre au recyclage. D'une part, il permet d'envoyer divers déchets vers la bonne destination [3].

## II.5 Déchets utilisés en génie civil

### II.5.1 Laitiers de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau est produit comme sous-produit de la transformation du minéral de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite soit lentement refroidies dans l'air libre pour former un matériau cristallin et compact connu sous le nom de « laitier refroidie à l'air », soit rapidement refroidies et traitées avec un jet d'eau pour former un matériau léger connu sous le nom « laitier expansé ». Les laitiers refroidis à l'air convient comme granulat pour le béton. La stabilité volumétrique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure

rendent le béton de laitier armé adapté à une variété d'applications [19].



Figure II- 1: Laitier de haut fourneau [19]

### II.5.2 Laitier d'acier

Laitier dont les impuretés contenues dans la fonte ont été éliminées. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate dicalcique métastable, il est donc utilisé uniquement comme matériau de remplissage routier. Ce laitier est généralement stocké en piles jusqu'à un an avant utilisation. L'utilisation de ces laitiers n'est pas répandue en raison de problèmes de stabilité dimensionnelle. Pour contrôler cette instabilité et les efforts de récupération, des procédés de vieillissement/maturation ont été développés, notamment en génie civil. Par ailleurs, les risques environnementaux liés à l'utilisation des laitiers dans certains domaines sont encore mal connus [19].

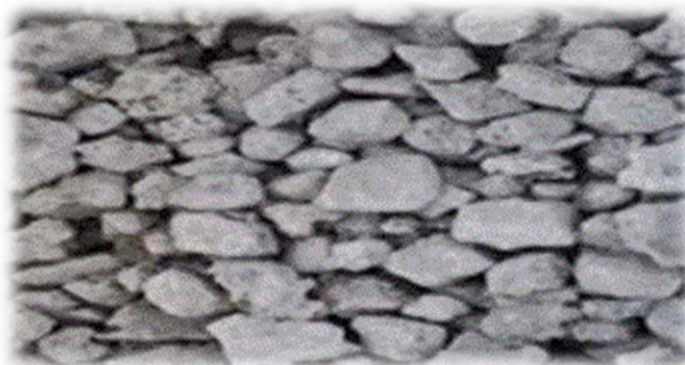


Figure II- 2: Laitier d'acier [19]

### II.5.3 Cendres volantes

Un très bon agrégat léger peut être fabriqué à partir de cendres volantes, mais il n'est pas couramment utilisé. Ceux-ci sont produits par la combustion de poussières de charbon qui sont poussées dans la chambre de combustion du four par les gaz d'échappement. Il est également préféré à de nombreux autres granules légers car il permet une combustion plus efficace, le carbone présent dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire qui éliminant l'humidité des pellets et fournissant la quantité d'humidité nécessaire pour amener les pellets à la température de frittage. Les cendres volantes sont classées en fonction de leur teneur en CaO et du type de charbon qu'elles brûlent [19].



Figure II- 3: Cendre volante [19]

### II.5.4 Mâchefer

Le mâchefer contient de grandes quantités de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Principalement utilisé pour fabriquer des blocs de béton. Le clinker contient des sulfates et des chlorures et n'est donc pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau pourrait devenir de plus en plus rare à mesure que les anciennes centrales électriques se tourneront vers la combustion de poussière de charbon. À la sortie de l'incinérateur, les mâchefers sont généralement humides et contiennent des composants grossiers (par exemple verre, débris métalliques, gros matériaux imbrûlés). Ils sont répartis en trois catégories selon leurs propriétés physico-chimiques [19] :

- Mâchefers de catégorie « V » à faible fraction lixiviable (fraction d'éléments solubles dans un solvant).
- Mâchefers intermédiaires de catégorie « M ».
- Mâchefers avec forte fraction lixiviable de catégorie « S ».

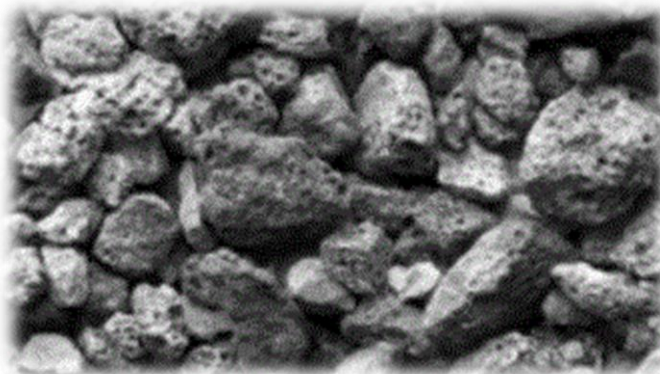


Figure II- 4: Mâchefer [19]

### II.5.5 Boues rouges

La boue rouge est un résidu industriel issu du procédé d'extraction de l'aluminium de la bauxite (procédé Bayer). Ils sont stockés au fond des océans (France, Allemagne) ou à proximité d'usines comme au Canada. Ils ont suffisamment de plasticité pour être transformés en boules. Lorsqu'il est chauffé à une température de 1260-1310°C, il se transforme en un granulat dense et durable qui peut entrer dans la composition d'un béton de résistance appropriée [19].



Figure II- 5: Boues rouges [19]

### II.5.6 Béton récupéré

Cela signifie que la majorité des déchets de démolition sont du béton. De plus, les catastrophes génèrent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes en matière de protection de l'environnement et les problèmes d'élimination des déchets sont des facteurs qui conduisent à l'utilisation de déchets de béton. Les débris routiers sont déjà utilisés pour construire la couche de fondation de nouvelles routes [19].



Figure II- 6: Béton récupéré [19]

### II.5.7 Verre de récupération

Des millions de tonnes de verre sont collectées chaque année et une façon de le recycler consiste à l'utiliser comme matériau de construction. Il est utilisé sous deux formes principales : granulats (taille > 4 mm) et poudre (taille < 4 mm). Le granulat remplace le gravier dans le béton et offre moins de résistance. Les poudres (sable et fines) sont utilisées dans les mortiers en remplacement du sable, ainsi que dans l'industrie du ciment comme fines [19].



Figure II- 7: Verre de récupération [19]

### II.5.8 Sciure de bois

Le bois est utilisé dans l'industrie, la menuiserie, la charpente ou le chauffage. Dans tous les cas, une grande quantité de déchets est générée. En raison de la pollution environnementale associée, ces matériaux ne peuvent pas être directement mis en décharge. Ainsi, l'utilisation de copeaux de bois dans la production de béton léger contribue à valoriser certains sous-produits de l'industrie du bois. Le béton à base de sciure de bois est rarement utilisé en raison de sa faible résistance. Cette dernière peut être augmentée en ajoutant du sable. Le béton de sciure a de bonnes propriétés isolantes, une bonne flexibilité, une faible conductivité thermique et peut être scié et cloué [19].



Figure II- 8: Sciure de bois [19]

### II.5.9 Lin de textile

Le développement industriel et économique des dernières décennies a augmenté la quantité de déchets agricoles générés. Parmi ces déchets, on distingue les déchets de l'industrie textile des fibres de lin, notamment les poussières aspirées lors de la combustion. Ces déchets sont rarement ou jamais recyclés, ce qui en fait une source potentielle de graves problèmes environnementaux, mais l'utilisation des déchets agricoles comme matériau de construction est un enjeu extrêmement important avec un double objectif : c'est une alternative intéressante. D'une part, il devient possible de répondre au besoin de nouveaux matériaux dotés de propriétés spéciales ou améliorées par rapport aux matériaux traditionnels. D'autre part, il vise également à s'affranchir des contraintes économiques et environnementales en réutilisant et recyclant ces déchets [19].



Figure II- 9: Lin de textile [19]

### II.5.10 Brique concassée

Les gravats en terre cuite sont généralement classés comme déchets de démolition, qu'ils soient recyclés ou réutilisés comme granulats légers. Les résidus de briques contenus dans les déchets de démolition sont collectivement appelés « débris de terre cuite ». Le béton contenant de tels granulats est très perméable et si les briques contiennent des sels solubles, de la corrosion et des efflorescences peuvent se produire dans le béton. Le béton à base d'argile cuite présente une résistance au feu nettement supérieure à celle du béton à base de gravier naturel [16].



Figure II- 10: Brique concassée [16]

### II.6 Les déchets de marbre

Le secteur de la construction pose de nombreux problèmes (impact environnemental, besoins en espace de stockage, etc....) lors de la mise en décharge des déchets. Par conséquent, pour protéger l'environnement, nous devons trouver des moyens de recycler et de réutiliser ces déchets. Nos recherches s'inscrivent dans une politique de valorisation des matériaux industriels locaux algériens pouvant être utilisés dans la conception et la formulation du béton ordinaire, résultant de la nécessité d'améliorer l'économie et la qualité de la construction en béton armé [10], parmi ces déchets on choisit le déchet de marbre qui est l'objet de notre étude.



**Figure II- 11: Déchet de marbre [10]**

### II.6.1 Définition de marbre

Le marbre est une roche métamorphisée formée à partir de calcaire ou de dolomite sédimentaire, généralement par métamorphisme local, ou plus rarement par métamorphisme de contact. Au cours de ce processus de transformation de la roche d'origine, la structure sédimentaire est effacée et la roche carbonatée recristallise en masses de cristaux de calcite et/ou de dolomite réticulés dont les dimensions varient du millimètre au centimètre. Les dépôts d'argile, les minéraux détritiques ou les oxydes minéraux présents dans le carbonate d'origine forment le marbre [10].

### II.6.2 La poudre de marbre

La poudre de marbre est du calcaire très dur ou du carbonate de calcium. La couleur est d'un blanc pur et brillant. Selon la granulométrie, il est utilisé comme charge dans les peintures et vernis traditionnels, les enduits et enduits fins, ainsi que le Tadelakt. Taille de particules très fines 0-25 $\mu$ m [10].

**Tableau II- 1: Composition chimique de la poudre de marbre [10]**

Elément	CaO	SiO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	ZnO	SrO	ZrO <sub>2</sub>
%	39.43	1.24	0.382	0.174	2.55	0.18	0.005	0.096	0.021	0.002	0.005

### II.6.3 Effet de la poudre de marbre

Cet effet influence la qualité du ciment grâce à une granulométrie appropriée par leur propriété physique sur des qualités spécifiques du ciment [10] :

- Accroissement de maniabilité.
- Diminution de perméabilité.
- Diminution de capillarité.
- Réduction des fissures.
- Augmente la cohésion.
- Accélérer l'hydratation du ciment.

#### II.6.3.1 Effet de la poudre de marbre sur les propriétés physiques des bétons

L'incorporation de poudre de marbre dans le béton ; modifie la structure granulaire du mélange et peut compenser le manque de fines particules, Optimise le squelette en comblant certains vides et

améliore l'ouvrabilité du mélange, Réduire la quantité d'eau pour maintenir la même maniabilité augmente la résistance. Cette augmentation de résistance est appelée effet de remplissage de la poudre de marbre [10].

### II.6.3.2 Effet sur la porosité

Les fillers de la poudre de marbre auraient tendance à modifier la densité des C-S-H. En général la densité des C-S-H d'échantillons de pâtes contenant du  $\text{CaCO}_3$  (corrigée en prenant en compte la présence de portlandite, de  $\text{CaCO}_3$  et de  $\text{C}_3\text{S}$  anhydre) est légèrement plus importante. Cependant cette relation dépend également du degré d'hydratation des matériaux. La densité d'une pâte de  $\text{C}_3\text{S}$  incorporant du carbonate de calcium est par contre plus faible dans le cas de l'utilisation de  $\text{CaCO}_3$ . À un certain degré d'hydratation, une pâte de  $\text{C}_3\text{S}$  ne contenant pas de  $\text{CaCO}_3$  a une porosité totale plus faible. Cependant durant les sept premiers jours d'hydratation, une pâte contenant par exemple 15% de  $\text{CaCO}_3$  peut posséder une porosité plus faible, due des degrés différents d'hydratation comparativement à une pâte du même âge sans  $\text{CaCO}_3$  [10]□.

### II.6.4 Classification du marbre

Le marbre peut être classé selon différents critères, mais les plus couramment utilisés sont [18]:

#### II.6.4.1 La teinte

La couleur du marbre dépend de l'élément et peut être incrustée dans la roche (oxydes métalliques présents lors de la déformation) ou concentrée dans les veines. Il s'agit de l'oxyde de silicium, de l'oxyde d'aluminium, de l'oxyde de fer, des sels de plomb, de zinc, d'antimoine, de molybdène, de magnésium ou d'étain, d'autres métaux et du soufre sous diverses formes moléculaires. Ces éléments donnent au marbre sa couleur très vibrante. En plus du marbre blanc, il existe également des variétés vertes, beiges, bleues, roses, grises, jaunes, rouges, violettes ou noires. La couleur verte est généralement due à la présence de magnésium et de serpentine, qui résulte de la présence de magnésium et Silicium présent dans le calcaire sous forme d'impureté.

#### II.6.4.2 Le pourcentage en $\text{CaCO}_3$

On peut distinguer deux types de marbre :

- **Marbre calcique** : Il est issu du métamorphisme calcaire et contient au moins (75 %) de calcite.
- **Marbre dolomitique** : En raison du métamorphisme de la dolomite, la dolomite pure ne représente qu'à peine (50 %) de la composition de pierre qui donne la plupart des marbres de dolomite. Tout calcaire contenant moins de (75 %) calcite et/ou dolomite ( $\text{Ca, Mg} (\text{CO}_3)_2$ ) est appelé marbre.

#### II.6.4.3 L'origine

Nous distinguons deux grandes familles du marbre :

- **Marbres antiques** : Désigne toute pierre « brillante », comme le granit, le porphyre, la diorite, le basalte, l'albâtre ou le calcaire particulièrement dur.
- **Marbres modernes** : Roche métamorphique constituée de calcaire ou de dolomite.

### II.6.4.4 L'aspect des éléments visibles

Généralement on distingue trois types principaux :

- **Marbres veinés** : Ils se fissurent sous l'effet de la pression et les fissures se remplissent de dépôts de matières organiques et minérales qui leur donnent de la couleur, avec un fond généralement monochrome et entrecoupé de rayures de couleur opposée à celle du fond :
  - Le blanc de Carrare : les veines gris bleuâtre coulent sur un fond blanc.
  - Le vert de mer : Très répandu en mer Méditerranée, il présente des veines blanc-vert foncé sur fond sombre, ce qui peut s'expliquer par la décomposition du matériel végétal.
- **Marbres brèches** : Ils sont constitués de fragments anguleux soudés entre eux de manière aléatoire, de fragments de marbre ou autres roches, la largeur des espaces entre les fragments est différente, donnant l'apparence de galets plus ou moins petits éclatés.
- **Marbres nuageux** : Il se compose de fragments nuageux de petites veines gris-blanc désorganisées. Le plus frappant est le Languedoc Rouge (fond rouge-orange avec nuages blancs).

### II.6.5 Les caractéristiques technologiques des marbres

Le marbre possède les mêmes propriétés techniques que le calcaire [18]:

- **Résistance mécanique** : La résistance à la compression varie entre 70 et 150 N/mm<sup>2</sup>.
- **Éclat** : Le marbre a une couleur blanche comme le sucre et produit un son sourd et mate lorsqu'il est frappé. En Italie, on utilise le terme « Cotto » (cuit) pour les décrire.
- **Dureté** : relativement tendres et sont d'autant plus tendres quelles sont claires et pures. La surface du marbre doit donc être durcie pour lui conférer une bonne résistance à l'érosion.
- **Densité** : Le marbre a une densité élevée (moyenne 2,7) et est très résistant au poinçonnement, il ne peut donc pas être marqué par des matériels lourds. Les marbres possèdent une schistosité, c'est à dire une direction préférentielle d'orientation des cristaux qui à l'antiquité était utilisée pour découper les blocs selon des plans de faible résistance dans la roche.
- **Porosité** : C'est une pierre très légèrement poreuse (0,3%) en volume (comme elle est obtenue à partir de calcaire, elle dépasse rarement (1,5%) en volume). Il peut donc être lavé à la main ou en machine avec beaucoup d'eau.
- **Brillance** : Les particules sont reliées pour assurer une brillance élevée. La calcite a un faible indice de réfraction, donc la lumière « traverse » la surface avant d'être réfléchi. Pour cette raison (structure compacte), ils sont facilement polis et des niveaux de brillance très élevés peuvent être obtenus par lustrage. Le polissage du marbre se fait généralement mécaniquement par ajout de produits chimiques (sel de Sorrel, c'est-à-dire oxalate acide de potassium). Selon le type de marbre et la manière dont il est utilisé, une très haute brillance peut être obtenue.
- **Résistance aux produits chimiques** : Le marbre n'est pas résistant aux acides (il se produit une effervescence) et est très sensible aux produits fortement alcalins. Tous les produits acides et très basiques sont à éviter, à l'exception des produits de cristallisation (remise en état des marbres).
- **Comportement au feu** : Le marbre est ininflammable et la raison pour laquelle le marbre est froid au toucher, même à température ambiante, est due à son effusivité thermique

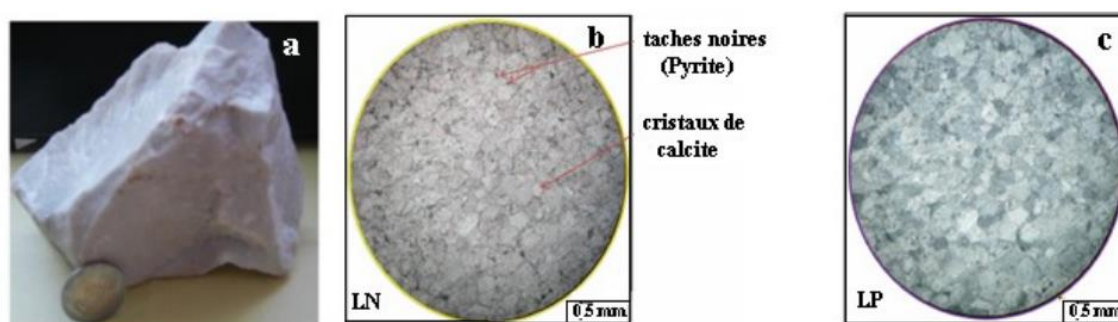
élevée, ce qui le rend très résistant aux changements de température dus aux effets des fluctuations de température le gel tombe.

### II.6.6 Pétro-minéralogie des marbres du gisement de Filfila

Ce gisement produit plusieurs types de marbre. Les principaux sont le marbre blanc, gris et Réséda [20].

#### II.6.6.1 Marbre blanc

Macroscopiquement, le marbre blanc présente un aspect homogène, une texture massive et une structure granoblastique (FigureII-a-12). Au microscope, ce marbre correspond à du calcaire microcristallin et est essentiellement composé de calcite de formes conformes irrégulières et de tailles allant de 0,2 à 0,4 mm (FigureII-b,c-12:) [20].



- a) macroscopique

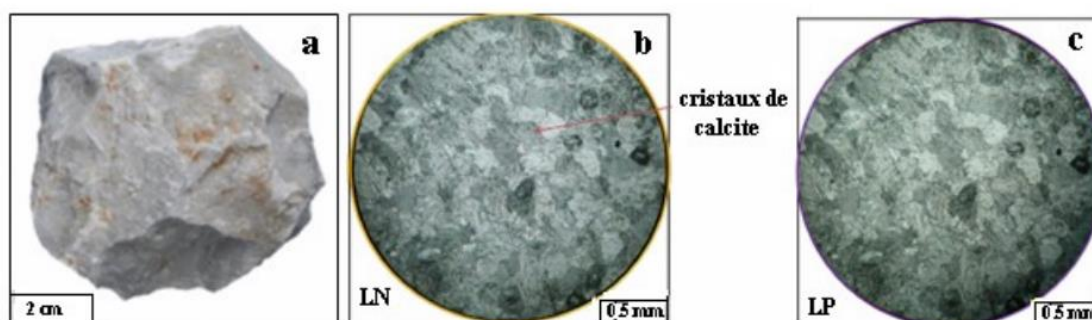
-b) lumière naturelle

- c) lumière polarisée

Figure II- a, b, c - 12: Marbre blanc [20]

#### II.6.6.2 Marbre gris clair

Macroscopiquement, le marbre gris clair présente un aspect hétérogène, une texture massive et une structure microcristalline (FigureII-a-13). Au microscope, les échantillons de marbre sont composés de calcite recristallisée d'une taille moyenne allant jusqu'à 0,8 mm (FigureII-b,c-13). La couleur plus ou moins foncée de la calcite est due à la présence de fer [20].



-a) macroscopique

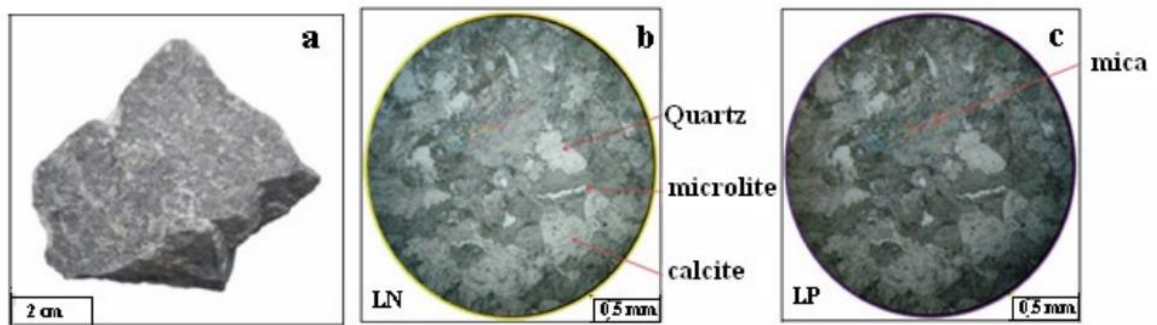
-b) lumière naturelle

-c) lumière polarisée

Figure II -a, b, c-13: Marbre gris clair [20]

### II.6.6.3 Marbre gris foncé

Macroscopiquement, le marbre gris foncé présente un aspect hétérogène, une texture massive avec la présence de lentille de quartz et une structure microcristalline (FigureII-a-14). Au microscope, les échantillons de marbre correspondent à du calcaire microcristallin et sont essentiellement composés de cristaux de calcite de forme allongée irrégulière et de dimensions allant de 0,5 à 1,20 mm (FigureII-b,c-14) [20].



- a) macroscopique

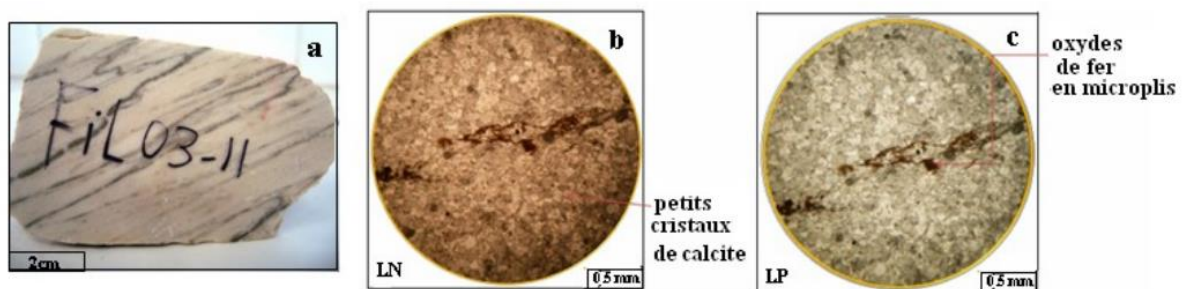
-b) lumière naturelle

- c) lumière polarisée

Figure II -a, b, c-14: Marbre gris foncé [20]

### II.6.6.4 Marbre réséda

Macroscopiquement le marbre réséda présente un aspect hétérogène, une texture massive et une structure microcristalline (FigureII-a-15). Au microscope, les échantillons de ce type de marbre présentent des plis microscopiques correspondant à des horizons anciens riches en oxydes argileux ou métalliques (FigureII-b,c-15) [20].



- a) macroscopique

- b) lumière naturel

- c) lumière polarisé

Figure II -a, b, c-15: Marbre réséda [20]

## Conclusion

Un traitement et une gestion appropriés des déchets permettent de limiter les impacts négatifs sur l'environnement et la santé et de fournir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent au processus de construction civile.

La valorisation de 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

## CHAPITRE II : LES TYPES DES DÉCHETS

---

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.

L'un de ces déchets, on cite le déchet de marbre, qui peuvent être utilisés comme granulats pour la production de béton (qui sont l'objet de notre étude) et sont donc considérés comme une solution dans les zones manquant de granulats naturels.

**CHAPITRE III**  
**MATÉRIAUX ET**  
**PROCÉDURES**  
**EXPÉRIMENTALE**

### Introduction

L'objet de ce chapitre est la présentation des différents matériaux à utiliser dans la confection des bétons étudiés, ainsi que les essais à effectuer selon les normes et les modes opératoires en vigueur.

Nous avons utilisés des matériaux locaux, leurs caractéristiques sont étudiées expérimentalement au laboratoire de génie civil : Laboratoire des Travaux Publics de l'Est « LTP EST de la wilaya de SKIKDA ».

Nous avons analysés les caractéristiques physiques et mécaniques des bétons ordinaires et bétons valorisés.

En effet, notre recherche a pour objet l'étude de la possibilité d'utiliser les déchets de marbre concassée de fraction 0/3 comme granulats dans le béton en substitution volumique de sable, avec un taux de substitution (30%, 50%, 70% et 100%) et d'analyser les comportements des bétons obtenus à l'état frais et durci, puis en les comparant à ceux d'un béton composé de granulats ordinaires (témoin).

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.

### III.1 Matériaux utilisés

#### III.1.1 Caractéristiques du gravier

Le gravier utilisé pour la confection du béton est le gravier d'Ain Abid Constantine obtenue après concassage de roches naturelles. Les fractions utilisées sont : (8/15) et (15/25).



Figure III- 1: Gravier utilisé [LTPE, 2024]

### III.1.1.1 Analyse granulométrique par tamisage [NF EN 933-1]



Figure III- 2: tamis analyse granulométrique de gravier [LTPE, 2024]

#### ➤ But de l'essai

L'analyse granulométrique par tamisage permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale supérieure ou égale à  $80\mu\text{m}$  [21].

#### ➤ Principe de l'essai

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis [21].

#### ➤ Description de l'essai [14]

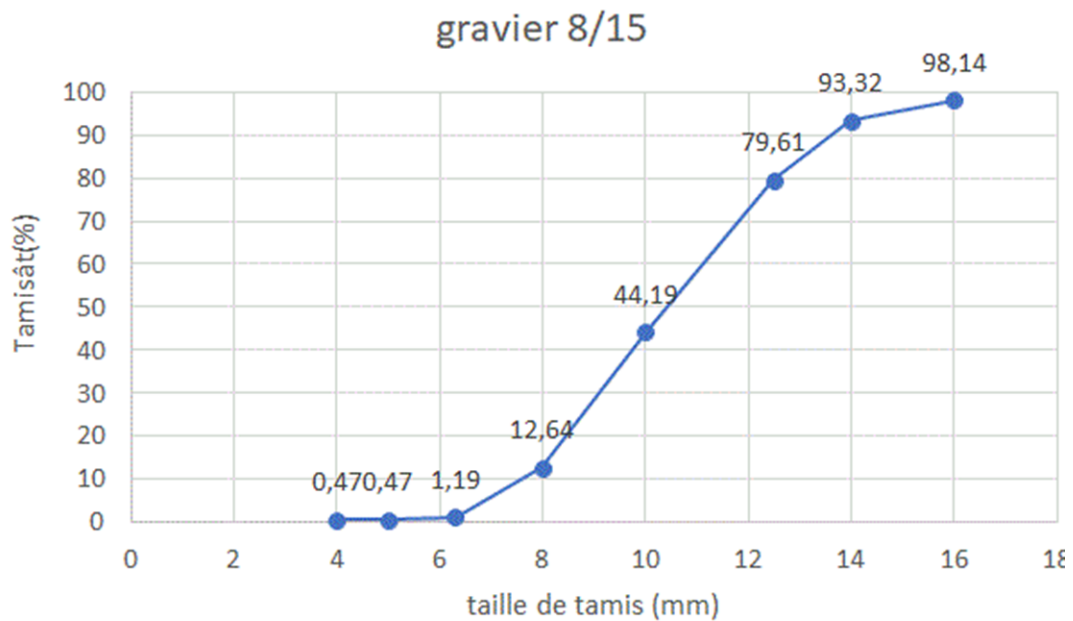
- Le gravier est préalablement étuvé à une température maximale de  $105\text{ C}^0$ .
- On emboîte les tamis les uns sur les autres, dans un ordre croissant du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toutes de matériau pendant le tamisage.
- On met la série dans une tamiseuse mécanique, on verse lentement notre échantillon dans le tamis supérieur et on met notre tamiseur en marche pendant 5 minutes.
- Après l'arrêt de la tamiseuse mécanique on pèse le refus de chaque tamis.
- L'erreur ne doit pas dépasser 2%.

## CHAPITRE III : MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALE

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux III- 1 et III- 2:

**Tableau III- 1 : Analyse granulométrique du gravier concassé (8/15) [LTPE, 2024]**

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
8/15	16	65.00	65.00	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
	08	1104.37	3057.69	87.36	12.64
	6.3	400.70	3458.39	98.81	1.19
	05	25.25	3483.64	99.53	0.47



**Figure III- 3: Courbe granulométrique des graviers concassés 8/15 [LTPE, 2024]**

**Tableau III- 2 : Analyse granulométrique du gravier concassé (15/25) [LTPE, 2024]**

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
15/25	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	977.50	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

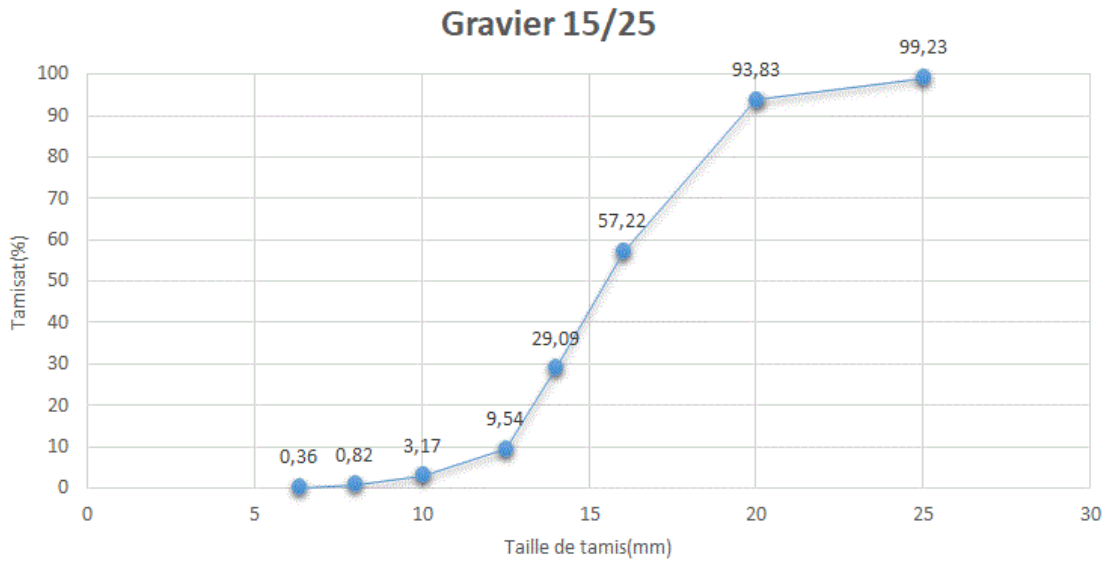


Figure III- 4 : Courbe granulométrique des graviers concassés (15/25) [LTPE, 2024]

### III.1.1.2 L'essai d'aplatissement des granulats

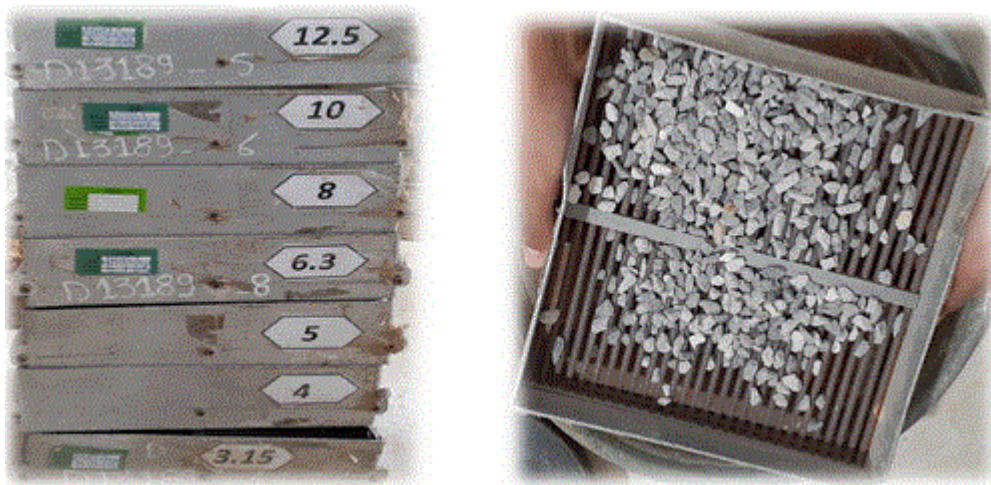


Figure III- 5 : grille l'essai d'aplatissement [LTPE, 2024]

#### ➤ But de l'essai [16]

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

#### ➤ Principe d'essai [16]

L'essai consiste en une double opération de tamisage :

Le tamisage classique (analyse granulométrique) sur une colonne de tamis normalisés à mailles carrées, afin de séparer les granulats en une succession de classes granulaires,  $d / D$ , dont les dimensions sont, telles que ;  $D = 1.25 d$ .

## CHAPITRE III : MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALE

De ce fait, les classes de grosseur  $G$  ainsi définies sont telles, qu'elles suivent la progression géométrique des ouvertures des tamis utilisés au cours de l'analyse granulométrique.

Les différentes classes granulaires,  $d / D$ , ainsi isolées sont tamisées une à une sur des grilles à fentes parallèles, d'écartement  $E = d / 1.58$  (ce qui correspond aussi à :  $E = D / 2$ ).

### ➤ Mode opératoire [21]

- Cet essai se pratique en même temps que l'analyse granulométrique de la fraction 0/40mm.
- Verser le matériau dans une série de tamis choisis.
- Préparer la série de grilles correspondant.
- Après le pesage du refus de chaque tamis, verser cette quantité dans la grille correspondante.
- Peser le tamisât de chaque grille.

### Le calcul :

- Pour une classe granulaire  $d/D$  donnée, on peut définir un coefficient d'aplatissement partiel.

$$A = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

$M_1$  = masse de la classe granulaire  $d/D$

$M_2$  = masse passant à travers le tamis à fentes d'écartement  $E$  correspondant.

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux III- 3, III- 4 :

Tableau III- 3: 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	00.00
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
<b><math>M_1=3483.64g</math></b>		<b><math>M_2=372.5g</math></b>	
<b><math>A =10.69</math></b>			

**Tableau III- 4: 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
<b>M<sub>1</sub> =4981.87g</b>		<b>M<sub>2</sub> =516.84g</b>	
<b>A =10.37</b>			

### III.1.1.3 La masse volumique

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité sur le volume de ce corps. Il ne faut pas confondre entre la masse volumique et la densité : Une densité est le quotient entre la masse d'un certain volume d'un matériau et la masse du même volume d'eau à 4C<sup>0</sup>, c'est - à - dire une grandeur sans unité [22].

Comme il existe le volume apparent et le volume absolu, on distinguera :

#### ➤ La masse volumique apparente ( $\rho_{app}$ )

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g / cm<sup>3</sup>; Kg / m<sup>3</sup>; t / m<sup>3</sup>) [22].



**Figure III- 6:l'essai de la masse volumique apparente [LTPE, 2024]**

#### ➤ Principe

Il s'agit de remplir une mesure de 1 litre ou plus (2 litres, 5 litres) avec le matériau et de déterminer la masse du contenu. Le mode de remplissage de la mesure, a une influence très importante sur les résultats, il faudra réaliser les essais avec du matériel aussi simple que possible, et très soigneusement [22].

## CHAPITRE III : MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALE

➤ **Mode opératoire** [16]

- Peser le récipient à vide et noter  $M_1$ .
- Prendre le matériau dans les 2 mains formant entonnoir.
- Placer les 2 mains à 10 cm environ au-dessus de la mesure et laisser tomber le matériau ni trop vite, ni trop lentement.
- Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce qu'il déborde autour en formant un cône.
- Araser à la règle, et Peser le contenu et noter  $M_2$ .

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{V} \dots\dots\dots(2)$$

$M_1$  : Masse du récipient vide.

$M_2$  : Masse du récipient et gravier.

$V$  : volume de récipient.

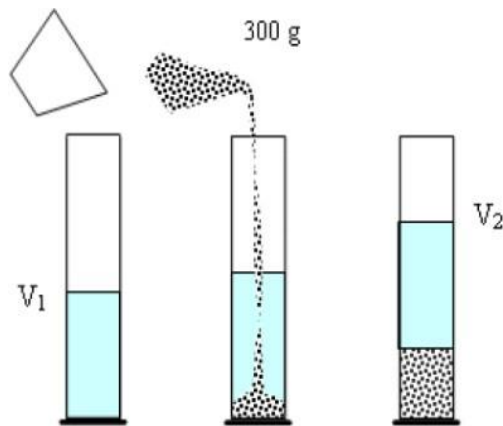
Les résultats obtenus sont classés dans le tableau :

**Tableau III- 5: Masse volumique apparente du gravier concassé (8/15) et (15/25) [LTPE, 2024]**

	N° D'essai	$M_1$ (g)	$M_2$ (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	1.411
	2	5681	12557	5000	1.375	
<b>Gravier 15/25</b>	1	5681	12769	5000	1.417	1.406
	2	5681	12662	5000	1.396	

➤ **La masse volumique absolue ( $\rho_{abs}$ ) :**

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en (t/m<sup>3</sup>, kg/dm<sup>3</sup>, g/m<sup>3</sup>) [22].



**Figure III- 7:l'essai de la masse volumique absolue [LTPE, 2024]**

### ➤ Principe

Le volume absolu ou réel d'un corps est généralement déterminé en mesurant le volume d'un liquide que déplace l'introduction de ce corps. De nombreuses méthodes permettent de déterminer les masses et volumes des matériaux à étudier, dans notre étude en va utiliser la méthode de l'éprouvette graduée [22].

### ➤ Mode opératoire [23]

- Remplir l'éprouvette graduée en verre par un volume d'eau ( $V_1 = 400 \text{ ml}$ ).
- Peser une masse ( $M = 300 \text{ g}$ ) du matériau (gravier).
- Introduire cette masse dans l'éprouvette (s'assuré de bien éliminer les bulles d'air).
- Noter le nouveau volume  $V_2$ .
- Cette opération est répétée 2 fois.
- La masse volumique absolue est déterminée par la formule suivante :

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{M}{(V_2 - V_1)} \dots \dots \dots (3)$$

Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux suivants :

**Tableau III- 6: Masse volumique absolue du gravier (8/15) et (15/25) [LTPE, 2024]**

	N° D'essai	$V_1 (\text{cm}^3)$	$V_2 (\text{cm}^3)$	M(g)	$\rho \text{ abs} (\text{g/cm}^3)$	$\rho_{\text{abs}} \text{ Moy} (\text{g/cm}^3)$
<b>Gravier 8/15</b>	1	400	515.30	300	2.602	2.64
	2	400	512.02	300	2.678	
<b>Gravier 15/25</b>	1	400	515.70	300	2.593	2.67
	2	400	509.21	300	2.747	

### III.1.1.4 La résistance à la fragmentation par chocs (Essai Los Angeles)



**Figure III- 8:l'essai Los Angeles [LTPE, 2024]**

### ➤ But de l'essai

Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat [24].

## CHAPITRE III : MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALE

### ➤ Principe de l'essai

L'essai consiste à introduire des gravillons dans le cylindre de ans une machine cylindrique de Los Angeles en 500 rotations. Lors de sa rotation, les granulats sont heurtés par des boulets plus lourds que les gravillons.

Ce qui permet de mesurer la masse  $m$  d'éléments inférieurs à 1.6mm, produits par la fragmentation du matériau testé et que l'on soumet aux chocs provoqués par la chute de boulets normalisés [24] .

La masse de la charge de boulets varie suivant les classes granulaires selon la norme [NF EN 1097-2] [1].

Tableau III- 7: 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

### ➤ Mode opératoire [14]

- Après introduire l'échantillon et les boules d'acier avec soin dans le tambour, en faire opérer la machine de Los Angeles
- Faire effectuer à la machine 500 rotations avec une cadence régulière comprise entre 30 tr /min à 33 tr/min
- Après l'achèvement de l'essai en recueillir les granulats dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture, juste au-dessus de ce bac, afin d'éviter les pertes de matériau.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm
- Laver le refus au tamis de 1.6 mm égoutter et sécher à l'étuve à  $105C^0$ , jusqu'à masse constante.
- Peser ce refus une fois sécher.

Soit  $P$  le résultat de la pesée avec :  $P = 5000 - \text{refus} \dots \dots \dots (4)$

Le coefficient de Los Angeles  $L_A$  est donné par la relation suivante :

$$L_A = 100 (P/5000) \dots \dots \dots (5)$$

$P$  : est le passant à 1.6mm

## CHAPITRE III : MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALE

Le tableau suivant donne l'estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient  $L_A$  [1]:

Tableau III- 8: Estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient  $L_A$

Coefficient $L_A$ (%)	Estimation de la dureté des agrégats
< 20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
>50	Très tender

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau III-9 ci-dessous :

Tableau III- 9: Résultats d'essai de Los Angeles du gravier (8/15) [LTPE, 2024]

Gravier		$L_A$ (%)
08/15	10 (30%)	23.96
	12.5 (70%)	

### III.1.1.5 Essai Micro-Deval [NF EN 1097-1]



Figure III- 9: l'essai de Micro Deval [LTPE, 2024]

#### ➤ But de l'essai

L'essai « MICRO- DEVAL » permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des granulats. Il vise à caractériser les granulats utilisés pour la constitution des assises de chaussée, y compris les couches de roulement [21].

## CHAPITRE III : MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALE

### ➤ Principe de l'essai

L'essai est réalisé dans un cylindre contenant : le matériau, la charge abrasive et l'eau. L'essai consiste à placer un échantillon de granulats dans un cylindre métallique tournant à une vitesse de 100 tours/min pendant deux heures de temps. Cette durée dépend de la machine utilisée et des charges abrasives ; le principe de l'essai est de mesurer les éléments inférieurs à 1.6 mm produits par fragmentation due aux charges abrasives et par frottement dans la machine MICRO-DEVAL.

### ➤ Mode opératoire [21]

- Utiliser trois tamis de 10 ; 12.5 ; 14 mm, (la classe 10 – 14).
- Le poids utilisé est de 500g.
- Prendre 40% du poids des refus de tamis de 12.5 mm.
- Prendre 60% du poids des refus de tamis de 10 mm.
- Laver ce poids (500g) pour éliminer les fines.
- Sécher le pendant 24 heures.
- Mettre dans une cocotte Micro-Deval 2.5 l d'eau + 5000g de charge abrasive, puis mettre les 500g de matériau séché pour éviter l'écrasement.
- Fixer la cocotte sur l'appareil de Micro-Deval.
- Laisser l'appareil tourner pendant 2 heures.
- Laver le matériau dans un tamis de 1.6 mm.
- Mettre ce dernier en étuve pendant 24 heures.
- Peser le matériau à sec.

Tableau III- 10: Nombre des billes pour essai Micro-Deval [24]

Classe granulaire (mm)	Taille de tamis intermédiaire (mm)	Pourcentage passant dans le tamis intermédiaire (%)	Charge abrasive (g)
4 à 6.3	5	30 à 40	2000 ± 5
4 à 8	6.3	60 à 70	2800 ± 5
6.3 à 10	8	30 à 40	4000 ± 5
8 à 11.2	10	60 à 70	4400 ± 5
11.2 à 16	14	60 à 70	5400 ± 5

Calcul du  $M_{De}$  [24] :

$$M_{De} = \left( \frac{500 - m}{500} \right) \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

Avec :

$M_{De}$  : Micro Deval en présence d'eau.

$m$ : masses du refus à 1.6 mm.

Tableau III- 11: Résultats d'essai de Micro Deval [LTPE, 2024]

Fraction de Gravier	Prise	Masse de l'eau (kg)	Masse de boules (kg)	M (g)	m (g)	Coef Micro Deval (%)	Moyenne Coef Micro Deval (%)
Gravier 8/15 (30%)	1	2.5	5	500	410.24	17.952	17.75
Gravier 15/25 (70%)	2	2.5	5	500	412.260	17.548	

### III.1.2 Caractéristique du sable

- **Sable carrière** : ce sable 0/3 a été prélevé, il est apprécié pour ses bonnes caractéristiques.



Figure III- 10: sable carrière [LTPE, 2024]

- **Sable déchets de marbre** : Nous avons obtenu le sable de marbre (0/3) par écrasement et broyage du déchet de marbre de la carrière de Fel'la de la société Marbre Skikda.



Figure III- 11 : sable déchet de marbre [LTPE, 2024]

## III.1.2.1 Analyse granulométrique de sable



Figure III- 12 : tamis analyse granulométrique de sable [LTPE, 2024]

### ➤ Sable carrière

Tableau III- 12: Analyse granulométrique de la sable carrière (0/3) [LTPE, 2024]

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
Sable carrière 0/3	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	912.97	76.08	23.92
	0.063	55.12	977.09	81.42	18.58

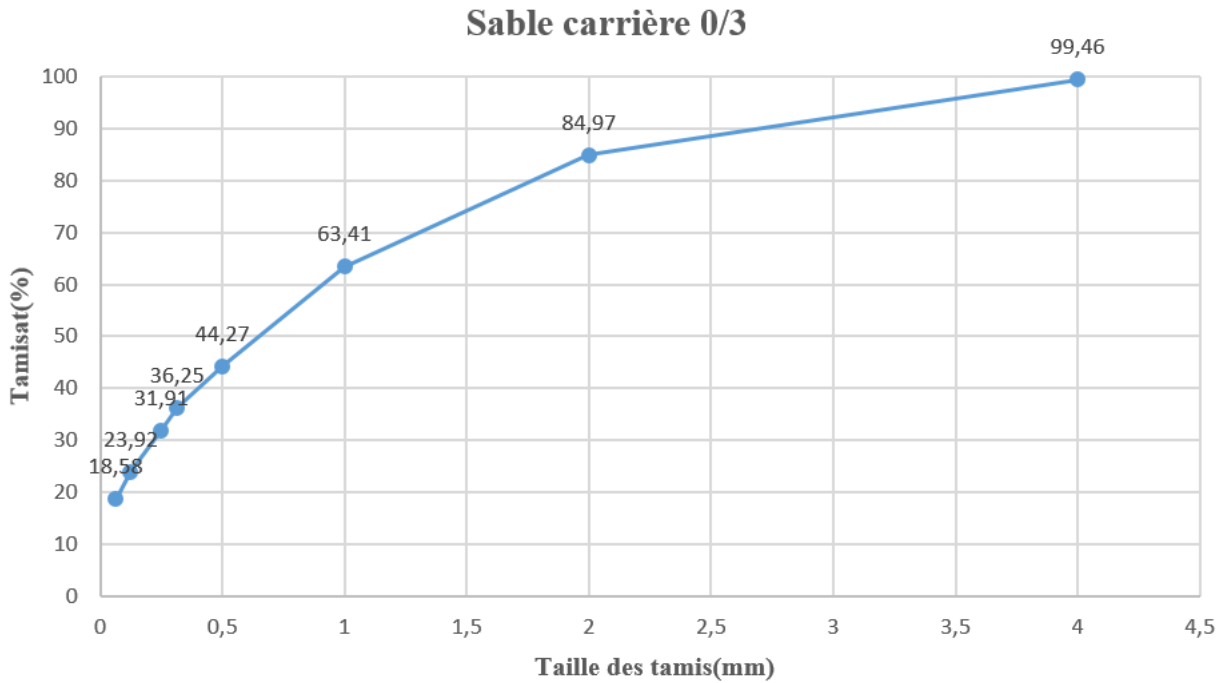


Figure III- 13 : Courbe granulométrique sable carrière (0/3) [LTPE, 2024]

➤ **Sable déchets de marbre**

Tableau III- 13: Analyse granulométrique du sable déchet de marbre (0/3) [LTPE, 2024]

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
<b>Sable de marbre 0/3</b>	<b>4</b>	00.00	00.00	00.00	100
	<b>2</b>	186.93	187.93	18.79	81.21
	<b>1</b>	166.07	354	35.4	64.6
	<b>0.5</b>	110.39	464.39	46.44	53.56
	<b>0.315</b>	46.63	511.02	51.10	48.9
	<b>0.25</b>	27.53	538.55	53.85	46.15
	<b>0.125</b>	130.02	668.57	66.86	33.14
	<b>0.063</b>	229.22	897.79	89.78	10.22

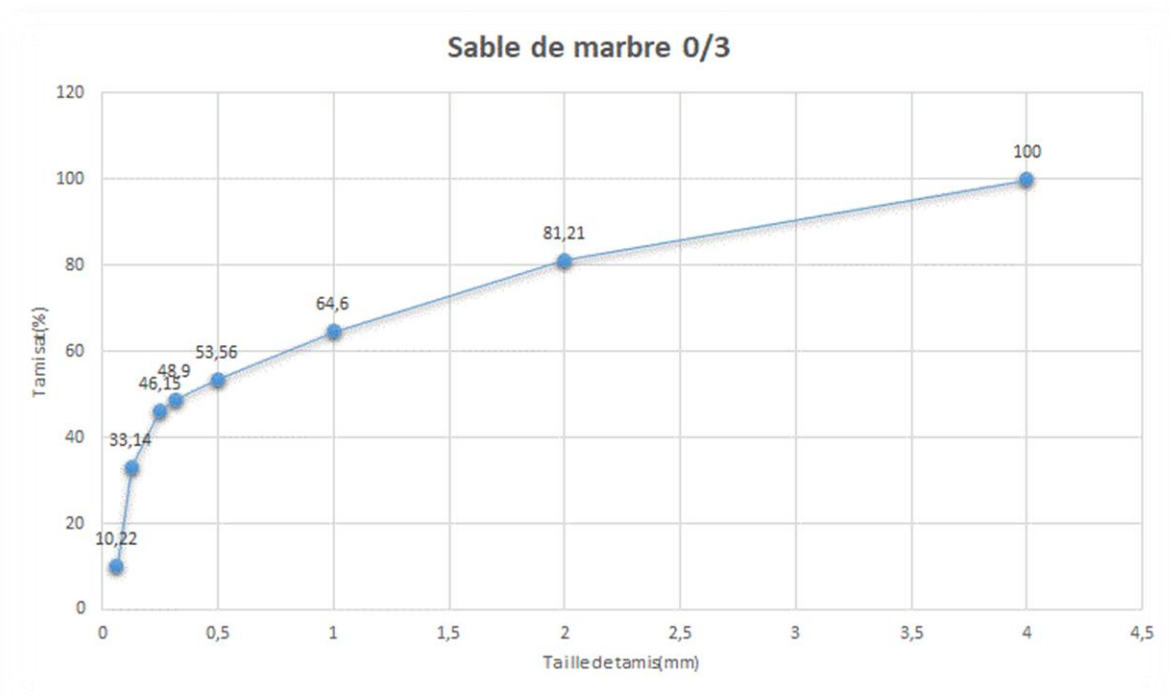


Figure III- 14 : Courbe granulométrique sable déchet de marbre (0/3) [LTPE, 2024]

## III.1.2.2 Masse volumique

### ➤ Masse volumique apparente

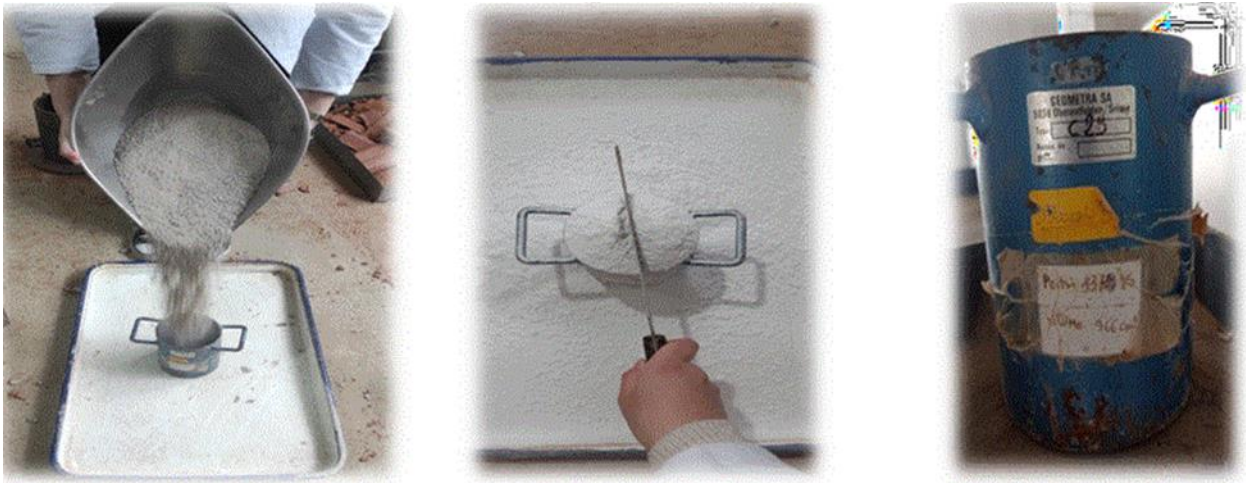


Figure III- 15: L'essai de la masse volumique apparente de sable carrière et sable déchet de marbre [LTPE, 2024]

## CHAPITRE III : MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALE

Les résultats obtenus dans le tableau suivant :

**Tableau III- 14: Masse volumique apparente du sable carrière et sable déchet de marbre [LTPE, 2024]**

	N° D'essai	M <sub>2</sub> (g)	M <sub>1</sub> (g)	V (L)	ρ app (g/cm <sup>3</sup> )	ρ app Moy (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Sable carrière</b>	1	1370	2979	966	1.665	1.68
	2	1370	3009	966	1.696	
<b>Sable de marbre</b>	1	1370	3001	966	1.69	1.71
	2	1370	3029	966	1.72	

### ➤ Masse volumique absolue

Les résultats obtenus dans le tableau suivant :

**Tableau III- 15: Masse volumique absolue du sable carrière et sable déchet de marbre [LTPE, 2024]**

	N° D'essai	V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> )	M(g)	ρ abs (g/cm <sup>3</sup> )	ρ abs Moy (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Sable carrière</b>	1	400	512.86	300	2.658	2.63
	2	400	515.30	300	2.602	
<b>Sable de marbre</b>	1	400	501.10	300	2.717	2.736
	2	400	508.89	300	2.755	

### III.1.2.3 Module de finesse [EN 12620]

La finesse d'un sable est estimée conventionnellement par une grandeur appelée module de finesse. Ce dernier est égal au 1/100ème de la somme des refus, exprimés en pourcentage des différents tamis de la série suivante : (0.125 – 0.25 – 0.5 – 1 – 2 – 4).

$$Mf = \frac{\sum R_c}{100} \dots \dots \dots (7)$$

**R<sub>c</sub>** : refus cumulé en (%).

Lorsque Mf est comprise entre :

- 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.

**Tableau III- 16 : le module de finesse du sable utilise [LTPE, 2024]**

<b>Sable carrière 0/3 : MF =2.52</b>
<b>Sable de déchet de marbre : MF= 2.21</b>

### III.1.2.4 Équivalent de sable [NA EN 933-8]

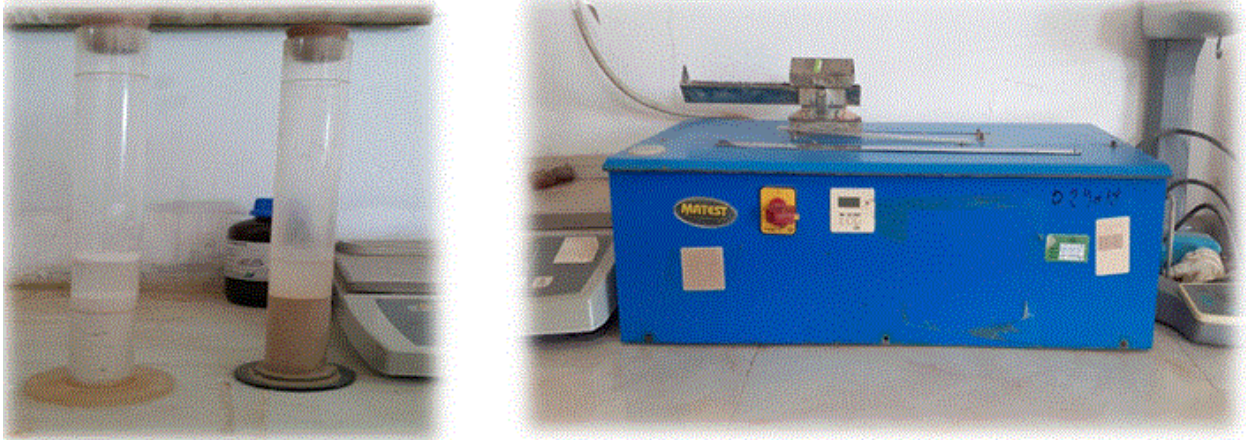


Figure III- 16: l'essai Équivalent de sable [LTPE, 2024]

#### ➤ But de l'essai

L'essai permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrée de 5 mm. Il rend compte globalement de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent [14].

#### ➤ Mode opératoire [14]

- Remplir l'éprouvette d'une solution la vente jusqu'au première repère.
- A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de  $120 \pm 1$ g dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de libérer les bulles d'air et favorise le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 min.
- Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de secousses horizontal en en 30s à la main de l'agitateur mécanique.
- Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec solution le vent au-dessus l'éprouvette et rincer ensuite les parois de celle –ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant au tube un léger piquage.
- Après 20 min de dépôt, lire la hauteur  $h_1$ , de niveau supérieure de flocculat jusqu'à au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- Mesuré également avec la règle la hauteur  $h_2$  compris entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire du fond de l'éprouvette.

## CHAPITRE III : MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALE

$$Esv = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)100\% \dots\dots\dots(8)$$

Avec :  $h_1$  : hauteur du sable plus flocculat.

$h_2$  : hauteur du sable

Introduire le piston dans l'éprouvette et la laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment

$$Esp = \left(\frac{h'_2}{h_1}\right)100\% \dots\dots\dots(9)$$

Avec :  $h_1$  : hauteur du sable plus flocculat.

$h'_2$  : hauteur du sable.

**Tableau III- 17: Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable Esv et Esp [1]**

Esv	Esp	Nature et quantité de sable
<b>Es &lt;65</b>	<b>Es &lt;65</b>	Sable argileuse : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour des bitons de qualité.
<b>65&lt;Es&lt;75</b>	<b>65&lt;Es&lt;80</b>	Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
<b>75 ≤Es≤85</b>	<b>70 ≤ Es≤80</b>	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
<b>Es ≥85</b>	<b>Es&gt;85</b>	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 III- 18: Les résultats de l'équivalent de sable carrière et sable déchet de marbre [LTPE, 2024]

Type de sable	Éprouvette	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	ESV (%)
Carrière	1	12.7	7.7	60.63
Déchet de marbre	1	11.4	5.5	48.25

### III.1.2.5 Essai au bleu de méthylène [NF EN 933-9]



Figure III- 17:L'essai au bleu de méthylène [LTPE, 2024]

#### ➤ But de l'essai

L'essai au bleu de méthylène a pour but la détermination des éléments fins par la mesure de la capacité d'absorption ionique, l'aspect et la propreté du sable [5].

#### ➤ Mode opératoire [5]

- Prend 200g de sable après séchage et tamisage dans 2mm.
- Inverse dans une bêche remplis de 500ml de l'eau distillé.
- Commence par l'agitation du mélange pendant 5min à une vitesse de 600Tr/min.
- Ajoute 5ml du bleu de méthylène chaque minute avec réduction de vitesse jusqu'à 400Tr/min.
- Dépose une goutte du mélange obtenu à l'aide de la baguette sur le papier filtre.
- A la 5émemin après l'ajout de 25ml du bleu de méthylène, on observe des auréoles autour de la goutte, on le cesse. Sans rajout du produit, on prélève une goutte chaque minute 5 fois pour suivre la stabilité des auréoles.

Après on calcule :  $MB = \frac{V}{M} \times 10 \dots\dots\dots(10)$

V : est le volume ajouté du produit.

M : la masse prise du sable.

$$MB = \frac{35}{200} \times 10 \dots\dots\dots(11)$$

Dans notre étude la Valeur du bleu de méthylène : **MB=1.75 g/kg**

### III.1.2.6 Absorption d'eau [NF P 18-555]

Cet essai est effectué conformément à la norme française P 18-555. Pour cela, un échantillon de sable est plongé dans l'eau pendant 24 heures à 20 C<sup>0</sup> et à la pression atmosphérique normale, a l'issue des 24 heures, on effectue sa pesée puis on calcule l'augmentation de masse par rapport à sa masse sèche. Enfin, on obtient le coefficient d'absorption d'eau en effectuant le rapport de l'augmentation de masse à la masse sèche initiale [25].

Les résultats sont regroupés dans le tableau III-18 :

**Tableau III- 19 : Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés [LTPE, 2024]**

	SN	SDMR
A (%)	2.52	0,39

### III.1.3 Ciment

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico mécaniques et chimiques satisfont aux exigences des ciments CPJ CEM II/A 42.5 R selon la norme français [NF P 15-301] [26].



**Figure III- 18 : Ciment (CPJ-CEM II/42.5) [LTPE, 2024]**

## III.1.3.1 Caractéristiques mécaniques

Tableau III- 20: Caractéristiques Mécaniques du Ciment.

Désignations	Ages	Mesures	Normes (*)
Résistance à la flexion	02jours	4,53	-
	07jours	6,79	-
	28jours	7,91	-
Résistance à la compression	02jours	21,25	10,0
	07jours	37,69	-
	28jours	47,48	42,5 et 62,5

## III.1.3.2 Masse volumique du ciment

### ➤ Masse volumique apparente



Figure III- 19 : l'essai masse volumique apparente d'un ciment.

- **Mode opératoire** [14]
  - Placer l'entonnoir au-dessus de la mesure de 1 litre.
  - Fermer l'opercule.
  - Verser environ 200g de liant sur le passoir et le faire descendre dans l'entonnoir à l'aide de la spatule.
  - Ouvrir l'opercule, le liant tombe dans la mesure.
  - Renferme l'opercule.
  - Recommencer de nouvelles quantités du liant, jusqu'à ce que le bol déborde.
  - La masse volumique apparente est :  $\rho = \frac{M_2 - M_1}{V}$  , **V=1 litre.**

**M<sub>2</sub>** : Masse de récipient remplie du liant

**M<sub>1</sub>** : Masse de récipient vide

## CHAPITRE III : MATÉRIAUX ET PROCÉDURES EXPÉRIMENTALE

Tableau III- 21 : masse volumique apparente d'un ciment.

N° D'essai	Mt(g)	M <sub>2</sub> (g)	V (cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>app</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>app</sub> Moy (g/cm <sup>3</sup> )
1	1370	2460,71	966	1,13	1,09
2	1370	2388,87	966	1,05	

➤ **Masse volumique absolue**

▪ **But de l'essai**

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue de ciment anhydre qui varient en fonction de la composition du ciment, tout en restant entre 3.0 et 3.2 g/cm<sup>3</sup> .



Figure III- 20 : le pycnomètre

▪ **Mode opératoire [16]**

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 M<sub>0</sub>.
- Vider le pycnomètre
- Introduire à l'aide de la spatule environ 70 g de ciment dans le pycnomètre, noter cette masse M<sub>1</sub>.
- Remplir ensuite le pycnomètre à moitié, chasser les bulles d'air
- Finir de remplir le pycnomètre
- Peser cet ensemble M<sub>2</sub>

$$\rho_{abs} = 3,1 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

### III.1.4 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 LTP' Est Skikda.

Tableau III- 22 : Analyses chimiques de l'eau de gâchage.

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°

## III.2 Formulation des bétons d'études

Nous allons étudier dans ce chapitre la composition du béton ordinaire et un béton à base de sable de marbre. Pour cela la méthode dite « **Dreux Goriss** » est utilisée. Cette méthode pratique et simple, a pour but de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition d'un béton en fonction des qualités souhaitées et des matériaux utilisés. Toutefois, il faut noter que seules quelques gâchées d'essai et de confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement.

- **Les données nécessaires :**

La résistance désirée pour le béton à 28 jours est :  $f_{c28} = 24 \text{ MPa}$

La résistance visée vaut alors :  $\sigma_{c28} = 42.5 \text{ MPa}$

Diamètre du plus gros granulat :  $D = 25 \text{ mm}$

- **Dosage en ciment :**

$C = 350 \text{ kg/m}^3$ .

- **Dosage en eau :**

La quantité d'eau sera estimée :  $E = 195.53 \text{ L}$

- **Dosage en granulats :**

On obtient les pourcentages des granulats suivants :

Tableau III- 23 : Les pourcentages des granulats.

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

- **Dosage en volume**

Tableau III- 24 : Dosage en volume des granulats

Sable 0/3 L	Gravier 8/15 L	Gravier 15/25 L
335	202	160

- **Dosage en masse**

Tableau III- 25 : Dosage en masse des granulats.

Sable 0/3 kg	Gravier 8/15 kg	Gravier 15/25 kg
881.05	533.28	427.20

## III.2.1 Préparation de mélange

Tableau III- 26: Composition des bétons d'étude.

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>	Gravier kg/m <sup>3</sup>	Gravier kg/m <sup>3</sup>	Sable kg/m <sup>3</sup>	
Sable normale(SN)	Sable de marbre (SDMR)					Sable normale(SN)	Sable de marbre (SDMR)
100	0	350	195.53	533.28	427.20	881.05	0
70	30		195.53			616.74	274.97
50	50		195.53			440.52	458.28
30	70		195.53			264.32	641.59
0	100		195.53			0	916.56

## III.2.2 Malaxage du béton

Il est essentiel que les constituants de base (C ; S ; G et E) soient mélangés correctement afin de produire un béton frais dont la surface de tous les granulats sera enrobée de pate de ciment et qui sera alors homogène à grande échelle et possédera par conséquent des propriétés uniformes. Le malaxage est effectué dans des malaxeurs ou à la main. Dans notre cas on a utilisé le malaxeur [27].



Figure III- 21 : Le malaxage de béton [LTPE, 2024]

## III.2.3 Préparation des éprouvettes

La préparation de coffrage des éprouvettes :

- L'essai de compression simple est effectué sur des éprouvettes cubiques 10x10x10 cm.
- L'essai de traction par flexion est effectué sur des éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm.



Figure III- 22 : Préparation des éprouvettes [LTPE, 2024]

### III.2.4 Affaissement au cône d'Abrams

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué à l'aide de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui consiste à [4]:

- Mouler des troncs de cône en béton (base de diamètre 20cm, partie haute de diamètre 10cm).
- Remplir le cône en trois couches piquées chacune par 25 coups avec une tige métallique de 16 mm de diamètre a extrémité arrondie.
- Soulever le moule avec précaution et mesurer la hauteur l'affaissement en cm.



Figure III- 23 : Affaissement au cône d'Abrams [LTPE, 2024]

### III.2.5 La presse hydraulique (Essai d'écrasement)

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes cubiques (10 ×10 ×10 cm), fabriqués dans des moules d'acier. L'éprouvette est centrée dans les plateaux d'une presse hydraulique à vitesse constante [28].

L'essai de compression est conduit jusqu'à la rupture de l'éprouvette. La résistance à la compression est calculée selon la formule suivante :

$$\sigma = \frac{F}{S}[\text{MPa}] \dots\dots\dots(12)$$

F : l'effort de rupture.

S : la section d'éprouvette.

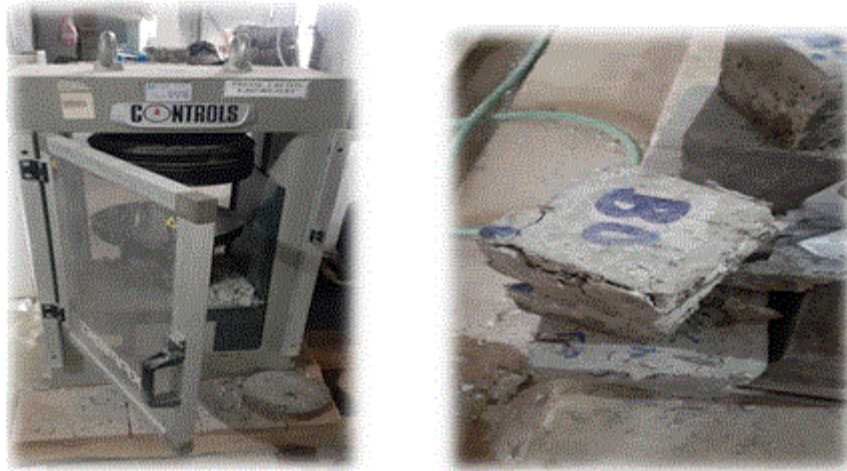


Figure III- 24: Presse hydraulique [LTPE, 2024]

### III.2.6 L'essai de traction par flexion

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes prismatiques (7×7×28cm), fabriqués dans des moules d'acier. L'essai consiste à rompre en deux points des éprouvettes à l'aide d'une machine de traction par flexion manuelle. On enregistre la valeur de l'effort de rupture et on calcul la résistance par la formule suivante [28] :

$$R_{tf} = \frac{3P}{2bh^2} \text{ [MPa]} \dots\dots\dots(13)$$

**P** : l'effort de rupture.

**L** : distance ente appuis.

**b** et **h** : dimension d'éprouvette.



Figure III- 25: Essai de traction par flexion [LTPE, 2024]

### Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les matériaux utilisés et les méthodes d'analyse qui nous permettent de faire la caractérisation physique et mécanique de nos matières premières.

L'analyse des résultats des caractéristiques des différents matériaux étudiés dans ce chapitre nous conduit à faire les remarques suivantes :

- Le ciment, l'eau de gâchage ainsi que les gravillons naturels sont appropriés pour la confection des bétons.
- 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 sont bons à moyen résistance à l'usure.
- L'essai « los Angeles » a prouvé que les granulats sont moyens à faible résistance au choc.

En conclusion, de différents mélanges ont été confectionnés à base de ces matériaux afin d'apprécier les caractéristiques des granulats de déchets de marbre concassée ainsi que leur influence sur les performances du béton ordinaire.

**CHAPITRE IV**  
**ANALYSE ET**  
**DISCUSSION DES**  
**RÉSULTATS**

### Introduction

Ce chapitre présente les résultats de diverses études menées sur le béton frais et durci, suivis d'une discussion et d'une interprétation. Les résultats sont la moyenne de deux échantillons pour chaque type de béton (5 types).

Notre recherche a pour but d'étudier l'éventualité d'utiliser les déchets de marbre comme un remplacement d'un pourcentage du sable dans le béton ordinaire, avec un taux de substitutions de (0, 30, 50, 70 et 100%) et d'analyser les comportements de ces mélanges à l'état frais ainsi qu'à l'état durci en les comparant à ceux d'un béton composé de granulats ordinaires désigné dans cette étude sous l'appellation du béton témoin.

### IV.1 Étude de béton

#### IV.1.1 Propriétés des bétons frais (État frais)

Il s'agit de tous les essais ont été réalisés sur le béton à l'état frais (ouvrabilité, et masse volumique) effectués avant la mise en place du béton (En particulier, avant coulage des éprouvettes).

##### IV.1.1.1 Equivalent de sable

D'après l'ES du sable levé, qui est de 60,63%, il est inférieure au pourcentage exigés (65%), ce qui nous traduit un sable argileux : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.

##### IV.1.1.2 Ouvrabilité (essai cône d'Abrams)

Dans le tableau IV- 1, on présente les résultats de la mesure de l'affaissement (essai cône d'Abrams) et quantités d'eau réellement utilisées pour les différents mélanges du béton étudié à l'état frais avec un dosage de ciment de 350 (kg/m<sup>3</sup>).

Tableau IV- 1: Quantités d'eau réellement utilisées et l'affaissement pour les différents mélanges [LTPE, 2024].

Type de béton SN/SDMR (%)	Rapport E/C	Quantité d'eau réellement utilisée (L/m <sup>3</sup> )	Affaissement (cm)
100/0	0.558	195.53	7,5
70/30	0.558	195.53	10
50/50	0.558	195.53	8
30/70	0.558	195.53	4.5
0/100	0.558	195.53	3

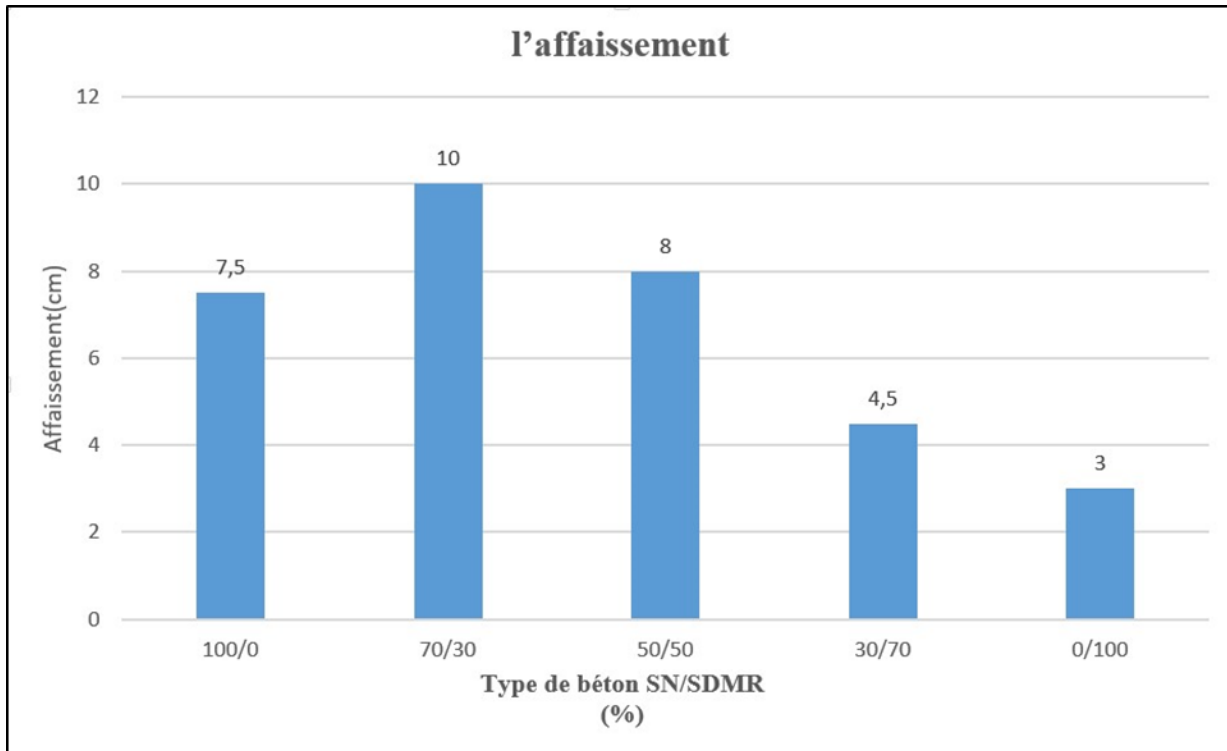


Figure IV- 1: l'affaissement pour les différents mélanges du Béton ordinaire à l'état frais [LTPE, 2024]

Tous les types du dosage de béton sont préparés avec un affaissement imposé (entre 3 et 10 cm) la maniabilité au sable recycle et n'absorbent pas d'eau, sachant que E/C et S. Plastifiant dans notre étude ont été fixés.

La demande en eau de tous les bétons étudiés augmente avec le taux de substitution en granulats recyclés, par conséquent une augmentation du rapport Eau/Ciment est inévitable [11]. L'absorption d'eau des granulats recyclés de béton est pratiquement inévitable et affecte le comportement rhéologique du béton frais ainsi que sa résistance au gel-dégel, Cette absorption est constatée dans les compositions à base de ces granulats, Pour s'affranchir de celle-là, une quantité d'eau supplémentaire est indispensable pour conserver une ouvrabilité plastique similaire.

Lors de la confection des bétons à base de granulats recyclés de béton, on a remarqué une certaine difficulté de mise en œuvre par rapport à celle des bétons ordinaires probablement due à l'absorption d'eau élevée de ces granulats, une moins bonne adhérence entre la pâte de ciment et ces granulats a été confirmée par des études antérieures.

### IV.1.1.3 Masse volumique (État frais)

Le tableau IV- 2 montre les résultats des mesures de la masse volumique de divers mélanges de béton ordinaire à l'état frais.

## CHAPITRE IV : ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Tableau IV- 2 : la masse volumique pour les différents mélanges du Béton ordinaire à l'état frais [LTPE, 2024].

Type de béton SN/SDBR (%)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )
100/0	2,421
70/30	2,368
50/50	2,391
30/70	2,391
0/100	2,43

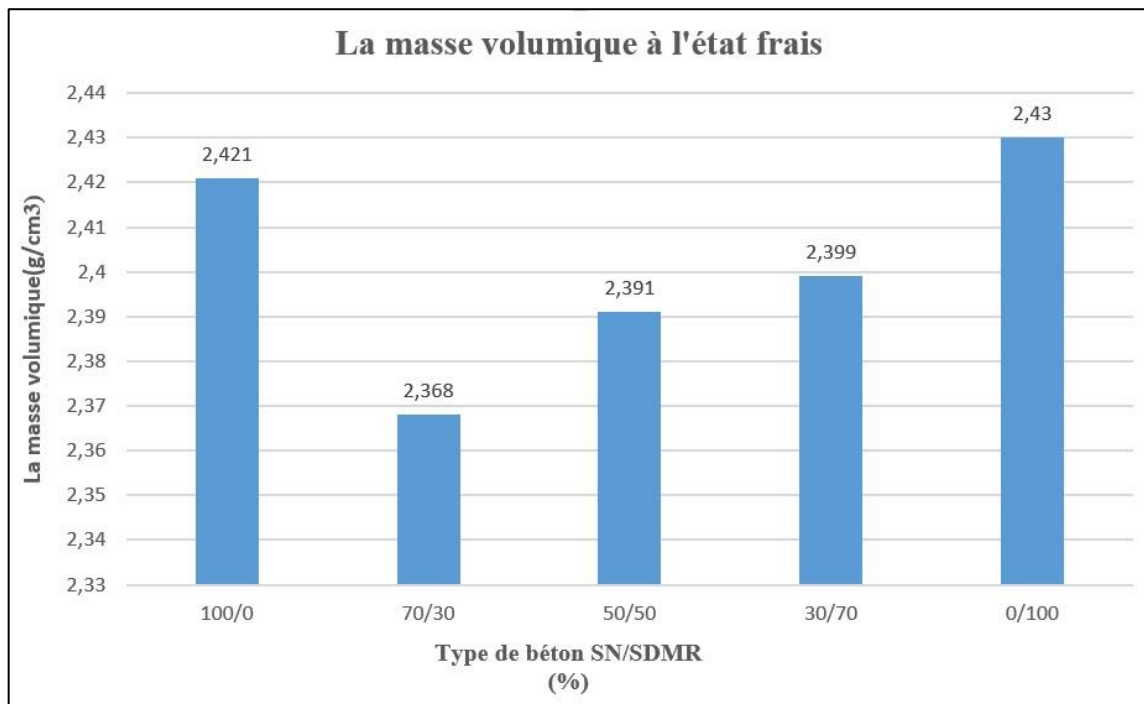


Figure IV- 2: la masse volumique pour les différents mélanges du béton ordinaire à l'état frais [LTPE, 2024].

D'après la figure IV- 2, la masse volumique de béton recyclé diminue comparant avec le béton témoin, bien que cette variante indique que y a une relation inverse entre la masse volumique et l'ajout des fines de marbre.

### IV.1.2 Propriété de béton durcis (État durci)

#### IV.1.2.1 Essais mécaniques

##### ➤ Résistance à la compression

Dans le tableau IV- 3, on présente les résultats de la mesure de la résistance à la compression pour les différents mélanges du béton ordinaire à 7j et 28j.

## CHAPITRE IV : ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Tableau IV- 3: la résistance à la compression pour les différents mélanges du Béton ordinaire à 7j et 28j [LTPE, 2024].

Résistance à la Compression (Mpa)		
Type de béton SN/SDBR(%)	7 jours	28 jours
100/0	34,62	41,47
70/30	36,61	46,94
50/50	33,27	44,51
30/70	31,15	40,24
0/100	23,7	29,51

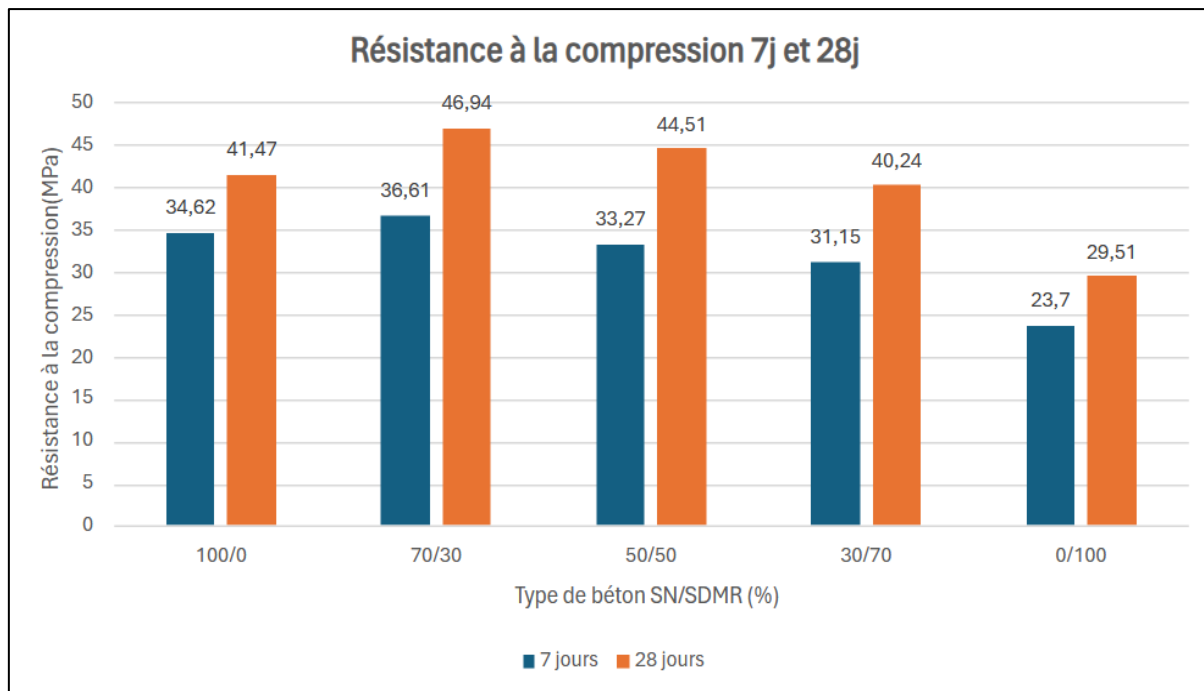


Figure IV- 3: Résistance à la compression pour les différents mélanges (7j et 28j) [LTPE, 2024].

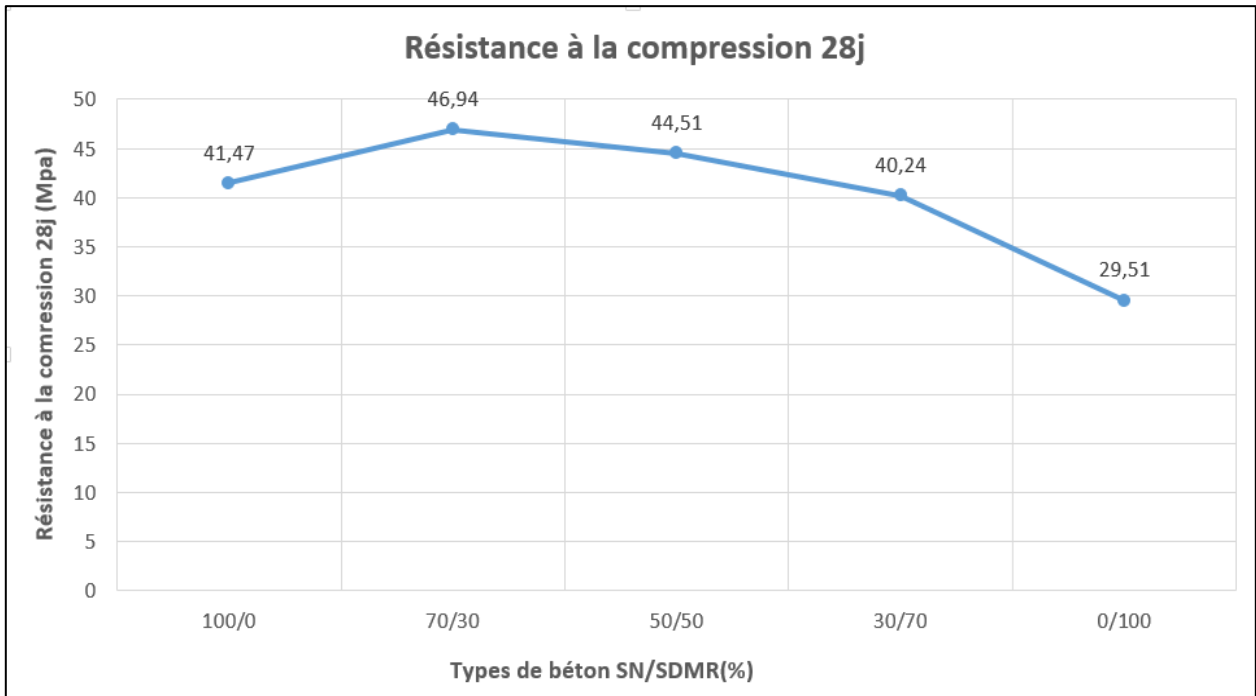


Figure IV- 4: Résistance à la compression pour les différents mélanges à 28j.

D'après la figure IV- 3, on remarque bien que la résistance en compression au niveau de l'association des sables recyclés à base de déchet de marbre concassée augmente d'une façon proportionnelle celui de béton qui contient un sable normal à 7 jours et à 28 jours. Cette proportionnalité s'applique jusqu'à ce que le taux de remplacement atteigne 30 %, après cette association la résistance en compression baisse lorsque le taux de substitution est plus que 30 %. Cette baisse peut être liée à la faible adhérence avec le temps au niveau de l'interface agrégats ce qu'on appelle une matrice cimentaire (granulats-ciment). Cette baisse pourrait s'expliquer aussi par l'augmentation du volume occupé par les granulats recyclés.

En effet, il a été montré que le rapport Eau/ciment est le facteur le plus important qui conditionne la résistance à la compression d'un béton, ainsi que la qualité du béton parent [25].

L'adhérence entre le mortier et le gros granulat influence considérablement la résistance à la compression, ce qui traduit la diminution de la résistance du béton à base de granulats recyclés [11].

## CHAPITRE IV : ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

### ➤ Résistance à la traction

Dans le tableau IV- 4, on présente les résultats de la mesure de la résistance à la traction pour les différents mélanges du béton ordinaire à 7j et 28j.

Tableau IV- 4: la résistance à la traction par flexion pour les différents mélanges du Béton ordinaire à 7j et 28j [LTPE, 2024].

Résistance à la traction par flexion		
Type de béton SN/SDMR (%)	7 jours	28 jours
100/0	6.29	8.36
70/30	6.43	8.26
50/50	7.30	7.94
30/70	6.66	7.89
0/100	4,32	5.23

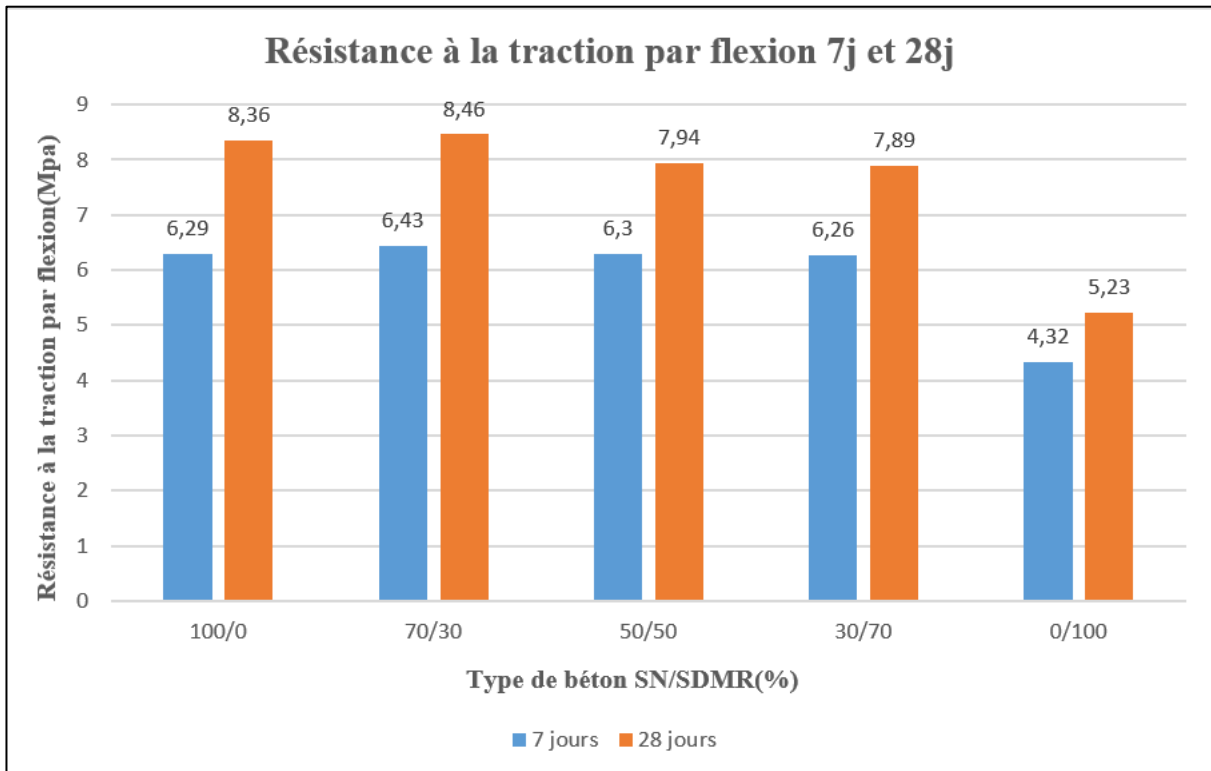


Figure IV- 5: Résistance à la traction par flexion pour les différents mélanges (7j et 28j) [LTPE, 2024].

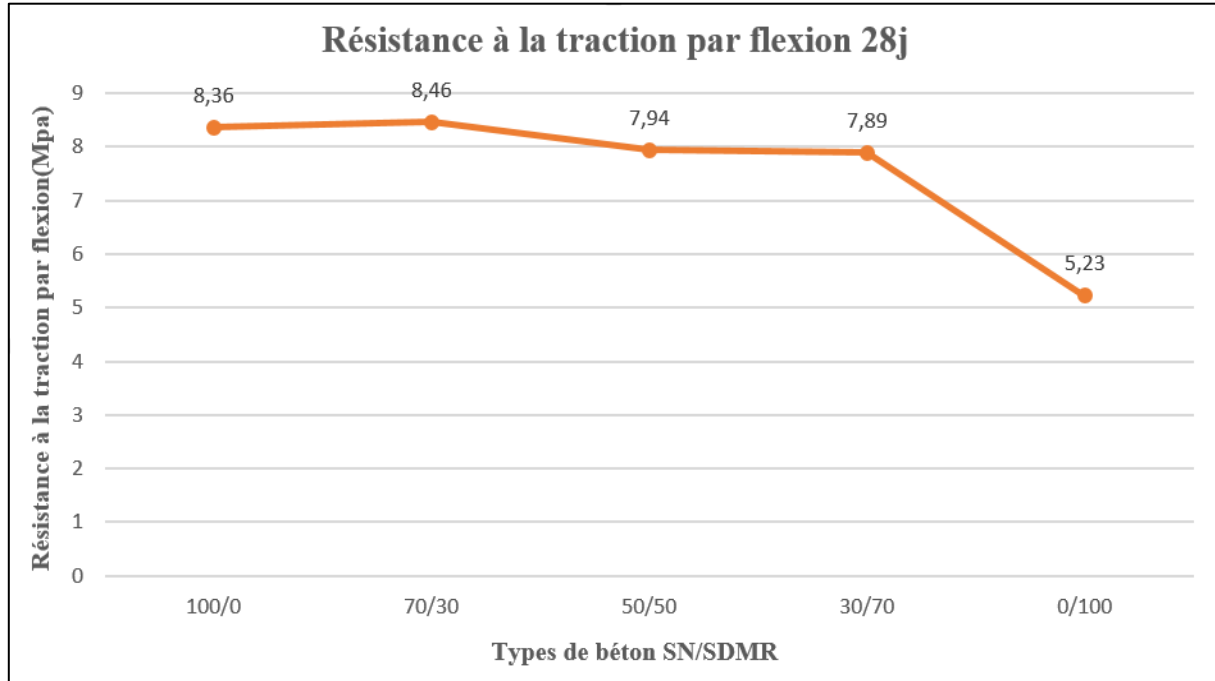


Figure IV- 6: Résistance à la traction par flexion pour les différents mélanges à 28j.

D'après la figure IV- 5, on remarque bien que pour les bétons recyclés dont le taux de substitution des fines ne dépassant pas le taux optimal 20 à 30 %, la résistance de traction par flexion augmente un peu par rapport au béton qui contient des agrégats naturels. Au fur et à mesure on observe une perte de résistance de flexion dans le béton qui contient des fines de marbre quand le taux de substitution dépasse 30%.

On récapitule que les principaux paramètres influençant la résistance sont : l'hydratation du ciment et la qualité des fines.

### 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 fines de marbre avec fixation du dosage en ciment, superplastifiant et teneur en eau sur le comportement du béton à l'état frais et durci a été étudiée :

- ✓ Le béton à base de 30 % de granulats recyclés présente les meilleures performances, une bonne maniabilité, une demande en eau acceptable et une résistance considérable presque identiques.
- ✓ Lorsque le taux de substitution dépasse 30 % on observe une perte de résistance que ce soit à la compression ou à la traction à 7 jours et 28 jours.

## CHAPITRE IV : ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

---

- ✓ 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.
- ✓ La variation des dosages de constitution de béton est un paramètre très influant sur les caractéristiques des bétons à l'état frais et durci.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de notre travail concerne l'utilisation de la poudre de marbre finement broyé comme un rempacement de sable dans le but de formuler un béton ordinaire.

Ce travail devrait porter essentiellement sur l'étude de la possibilité de récupération des déchets de marbre (sable) de substitution dans la fabrication du béton. Une étude expérimentale a été programmé de façon à confirmer certains travaux de recherche avancée dans le domaine et d'améliorer sa maitrise par rapport à l'effet d'un certain nombre de facteurs tous indispensables pour sa qualification et son évaluation. Ainsi le programme initialement arrêté consisté a opéré des remplacements de quantité de sable par des pourcentages marbre (30%, 50%, 70% et 100%), comparé avec un béton ordinaire 0% de substitution. Les propriétés physiques et mécaniques des bétons ordinaires et béton valorisé sont déterminés à l'état frais (masse volumique, ouvrabilité et l'équivalent de sable) et à l'état durci (résistances mécaniques dans différents milieux de conservation). Nous avons pu présenter la caractérisation des matériaux utilisés dans le programme expérimental en se basant sur des fiches techniques fournies par le Laboratoire de Travaux Publique de l'Est «L.T.P.E» Unité de Skikda.

D'après la recherche bibliographique des recherches requis confirme que :

Les avantages du recyclage des déchets de marbre:

- ✓ Le recyclage des déchets de marbre 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 marbre 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 marbre est moins onéreux que la production de granulats neufs et ne requiert pas d'installations spéciales.

Les inconvénients du recyclage des déchets de marbre :

- ✓ La résistance à la compression des bétons à base de déchets de marbre concassés est inférieure à celle des bétons classiques, surtout lorsque le taux de substitution dépasse 30%.
- ✓ 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 marbre 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 marbre :

- ✓ La masse volumique de ces bétons varie en fonction de la composition. Cette variation est due à l'hydratation du ciment, au remplissage des pores et au pourcentage de poudre de marbre incorporée.
- ✓ La principale faiblesse des bétons à base de granulats recyclés réside dans leur résistance à la compression. Pour des mélanges dosés à  $350 \text{ kg/m}^3$ , une chute de résistance a été observée après l'ajout de 30% de sable de marbre à 7 et 28 jours.
- ✓ Dans les conditions de l'étude, il est recommandé de ne pas dépasser un taux de substitution de 30% pour les granulats naturels par des granulats recyclés de marbre concassée.
- ✓ Le béton avec un sable recyclé de marbre concassée est plus absorbant que le béton avec du sable de carrière. Cette différence est due à la porosité de la pâte de ciment, qui est la seule phase continue dans le béton.
- ✓ Le béton entièrement en marbre concassée est plus poreux et donc plus perméable que le béton ordinaire ou le béton avec du sable recyclé de marbre concassée.

D'après les essais qu'on a effectués au niveau de cette étude, on a imposé les remarques suivantes :

- ✓ Tous les types du dosage de béton sont préparés avec un affaissement imposé (entre 3 et 10 cm) c'est une fourchette des bétons plastiques.
- ✓ Les masses volumiques des mélanges préparés sont variables.
- ✓ 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 30% 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.

Perspectives et Recommandations pour des recherches futures

- ✓ Des recherches complémentaires sont nécessaires pour optimiser les propriétés des bétons à base de déchets de marbre 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 marbre dans le béton est nécessaire.
- ✓ 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.
- ✓ Des recherches peuvent être menées pour étudier l'effet de l'ajout de déchets de marbre broyés en combinaison avec d'autres ajouts minéraux, comme les fibres ou les fillers, afin d'optimiser les propriétés des bétons.
- ✓ 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.

- ✓ L'étude a démontré que le potentiel du recyclage des déchets de marbre comme granulats dans le béton. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer les performances de ces bétons et explorer de nouvelles applications.
- ✓ Des recherches peuvent être entreprises pour évaluer l'influence de la nature du ciment (CEM I, CEM II, etc.) sur la maniabilité et le temps de prise des bétons à base de granulats recyclés.

Les déchets de marbre (sable de marbre) utilisés dans ces mélanges incorpore par pourcentage contribue et améliore le module de finesse, d'après sa composition minéralogique et selon la norme ASTM C618 nous pouvons conclure que ces déchets ont des propriétés pouzzolaniques. Cette grande finesse (4000 cm<sup>2</sup>/g) peut augmenter la demande en eau et par conséquent causer des problèmes à l'état frais (fluidité). Par contre, cette propriété pouzzolanique peut contribuer à l'amélioration de la résistance à la compression ainsi qu'à la flexion [3, 25].

D'après les résultats obtenus dans notre recherche, nous pouvons dire que la possibilité de recycler le béton avec l'incorporation des déchets de marbre de taux égale à 30%.

## RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- A. Nabila et L. Ouahiba, durabilité du béton à base des déchets de démolition,  
1] UNIVERSITE DE MOHAMED EL BACHIR EL -IBRAHIMI BORDJ BOU ARRERIDJ, 2018.
- B. Z. NADIA, Etude expérimentale d'un béton à base de déchets de verre non coloré  
2] confiné avec des matériaux composites., UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI  
OUZOU, 2020.
- B. LARIBI, VALORISATION DES DECHETS DANS LE BETON AUTO-PLAÇANT :  
3] ETAT DE L'ART, Guelma: Université 8 Mai 1945, Faculté des Sciences et de la Technologie,  
Département de Génie Civil & Hydraulique, 2020.
- B. OUSSAMA, ETUDE DE LA DURABILITE D'UN BETON A BASE DU  
4] GRANULAT RECYCLE, l'Université 08 Mai 1945 de Guelma, 2019.
- B. AYOUB et E. HIBA, La formulation du béton prêt à l'emploi et procédés de ses  
5] différents types de contrôle de qualité, faculté des sciences et techniques\_MARRAKCH, 2021.
- D. Daoud et B. Abd Elouahab, ETUDE DE COMPORTEMENT PHYSIQUE ET  
6] MECANIQUE DU MORTIER ET BETON A BASE DES CIMENTS TERNAIRES, Université  
Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arreridj, 2013.
- B. Mouloud et S. Abdel madjid, Influence des polyémers en tant que plastifiants sur le  
7] comportement chémomécanique des mortiers de ciment, Université de Blida 1, 2017.
- T. KARINA, Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de  
8] Démolition sur les propriétés des Mortiers, Université Mouloud Mammeri de Tizi ouzo,  
2015/2016.
- M. MOHAMED, Influence des différentes granulométries du sable sur le comportement  
9] mécanique du béton, UNIVERSITE DE LARBI BEN MEHIDI –OUM ELBOUAGHI, 2019.
- G. Meriem, Effet de l'ajout de la poudre de marbre et de brique sur les propriétés physico-  
10] mécaniques de béton, Université Mohamed khider –Biskra, 2022.
- T. Houssef Eddine, INFLUENCE DES FIBRES DE DISS ET LA POUDRE DE VERRE  
11] SUR LES PROPRIETES D'UN BETON ORDINAIRE, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR -  
ANNABA, 2021.
- B. Abdelhafid, Étude Statistique de la variation de la résistance à la compression du béton  
12] formulé par la méthode de Dreux Gorisse, Université A.MIRA-BEJAIA, 2023.

- B. Fatima et B. Rania, Etude comparative entre trois méthodes de formulation de béton ordinaire, Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem, 2022.
- 13]
- C. Azeddine, Effet des ajouts minéraux actifs sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons à base des granulats de la région de Bordj Bou Arreridj, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arreridj, 2015.
- 14]
- L. Hadjer, Comportement des bétons à base des granulats de déchets de brique concassé sous différents conditions de durcissement, Bordj Bou Arreridj: Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy ,Sciences et de la Technologie ,Département Génie Civil, 2016.
- 15]
- B. Tarek, S. Lazhari et I. Said, L'effet déchets de brique sur durabilité de béton, Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique-Skikda, 2022/2023.
- 16]
- R. Lalao Evelyne, ETUDE COMPARATIVE DES METHODES DE FORMULATION DE BETON : LES METHODES DE DREUX–GORISSE ET BARON-OLLIVIER, UNIVERSITE D'ANTANANARIVO, 2011.
- 17]
- B. Dahmane, Les carrières de marbre du massif de Filfila (Est de Skikda ;Algérie nord-orientale) : contexte géologique, minéralogie, qualité des matériaux et méthodes d'exploitation., CONSTANTINE: Univerité Constantine1,Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie, Et de l'Aménagement du Territoire, Département des Sciences Géologiques, 2015.
- 18]
- H. Achour, Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement du mortier, M'SILA: UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF, FACULTE DE TECHNOLOGIE, DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL, 2020.
- 19]
- M. Boudries, Géostatistique et répartition spatiale des différents types de marbre dans le gisement de Filfila – Skikda – Algérie Nord Orientale, Annaba: Laboratoire de Recherche de Géologie (LRG), Département de Géologie, Université Badji Mokhtar, BP. 12, Annaba, 23000, Algérie., 2019.
- 20]
- K. Ismail, VALORISATION DES STERILES DES TOUT-VENANTS DE CARRIERES, ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE, 2007.
- 21]
- S. KHALIL et G. ABDERRAHMEN, COMPORTEMENT MECANIQUE EN MODE CISAILLEMENT DES POUTRES COURTES EN BETON ARME, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy –Bordj Bou Arreridj , 2016.
- 22]
- K. Salah Eddine et M. Mohamed Cherif, etude de l'effet des additions minéraux sur les propriétés d'un béton recyclé local avec application de la méthode des plan d'expérience
- 23]

Desgin\_Expert, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arreridj, 2014.

24] B. Souhib, CALCULE DE LA COMPACITE DES MELANGE GRANULAIRES DES MATERIAUX LOCAUX (UTILISATION DE 03 CARRIERES LOCALES DE : CHAROUINE, AOUGROUT ET KOUSSANE), UNIVERSITE AHMAD DRAIA D'ADRAR, 2020.

25] A. Yaakoub et A. Abdelhak, Valorisation des déchets de marbre et de granite de l'entreprise Timgad Marbre dans les bétons, École Nationale Polytechnique, 2020.

26] Y. Mohamed El Amine et O.-A. Ibrahim Othmane, Elaboration et étude d'un béton drainant, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2019.

27] B. El hadj, Durabilité des bétons à base du sable de démolition et ajouts minéraux actifs, Université Mohamed Khider - Biskra, 2018.

28] L. Islem, INFLUENCE DES FIBRES DE DISS ET LA POUDRE DE VERRE SUR LES PROPRIETES D'UN BETON ORDINAIRE, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA, 2021.