

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Ahmed Zabana de Relizane  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie civil et travaux publics



جامعة غليزان  
RELIZANE UNIVERSITY

**MEMOIRE**

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER  
Dans le cadre de la décision 008 : Diplôme Institution Economique  
Génie Civil (Structure)  
Intitulé

**Confection du mortier autoplaçant écologique à  
base des déchets de fines de marbre et de granit**

**Présenté par :**

Mlle : BESSELMA Manel

Mlle : DJABELARBI kheira

**Devant les membres de jury :**

**Président :** Mlle BESSELAMA Khadidja

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Encadrant 01 :** Mlle LAOUFI Imane

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Encadrant 02 :** Mlle BELKADOUR Leila

Maître de conférences (B) (U. Relizane)

**Co-Encadrant :** Mr Safer Omar

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Examineur :** Mr AIT MOHAMED AMER Adem

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Représentant de l'incubateur :** Mr ZINE Abdellah

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Année universitaire : 2024/2025**

# REMERCIEMENT

Avant tout, nous exprimons notre profonde gratitude envers Dieu Tout-Puissant, qui nous a accordé la bénédiction d'apprendre et la force de persévérer sur le chemin du savoir. À Lui reviennent nos louanges, aujourd'hui et à jamais.

Nous adressons également nos remerciements les plus sincères à nos chers parents, pour leur soutien indéfectible, leur amour inconditionnel, et leur présence constante tout au long de notre parcours.

Nos remerciements les plus chaleureux vont à notre encadrante, Madame Dr. Laoufi Imane, pour son suivi rigoureux, son encadrement attentif et ses orientations tout au long de ce travail. Nous tenons aussi à remercier chaleureusement Monsieur Dr. Aït Mohamed Amer Adam pour son soutien généreux et ses conseils précieux qui nous ont été d'une grande aide durant la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance aux membres du jury, qui nous ont honorés en acceptant d'évaluer ce travail et de participer à sa soutenance.

Nos vifs remerciements s'adressent aussi à l'ensemble des enseignants du Département de Génie Civil, ainsi qu'à toute l'équipe administrative et technique du laboratoire de génie civil de l'Université Ahmed Zabana – Relizane, pour leur disponibilité et leur soutien tout au long de notre stage.

Enfin, nous n'oublions pas nos collègues, amis du laboratoire et camarades de promotion, qui ont partagé avec nous cette aventure et ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à l'aboutissement de ce projet.

À vous tous, nous disons : merci du fond du cœur.

# *Dédicaces*

Louange à Dieu, par Sa grâce les belles choses s'accomplissent.

Je Le remercie sincèrement pour m'avoir guidé jusqu'à cette étape de ma vie.

À ma chère mère, battement de mon cœur, source d'amour et de force — que Dieu te préserve.

À mon père, mon pilier et mon exemple de patience et de persévérance.

À mes frères et sœurs :

À Hadjer, bien plus qu'une sœur, un refuge dans les moments d'épreuve — que Dieu te comble.

À son époux Bouabdallah,

À Hamida,

À Chaima, Khaled et leur petit rayon de soleil, Hamoudi,

À Youssef et Mohamed, mes compagnons de toujours.

À toute ma grande famille, maternelle et paternelle — chacun de vous a une place précieuse dans mon cœur.

À tous mes enseignants, du primaire jusqu'à l'université : merci. Vous êtes, après Dieu, les bâtisseurs de ce que je suis devenu.

À mon amie et partenaire de travail, Manel — merci pour ce chemin parcouru ensemble.

Et à mes amis, présents et précieux tout au long de cette aventure.

Un remerciement particulier à l'ingénieur Abdallah Al-Taybani pour son soutien et sa bienveillance — Qu'Allah le récompense pour tout le bien qu'il m'a fait.

À tous ceux qui ont cru en moi, m'ont soutenu d'un mot ou d'un geste — ce travail vous est dédié.

**Kheira**

# *Dédicaces*

Louange à Dieu, par Sa grâce les belles choses s'accomplissent. Je Le remercie sincèrement pour m'avoir guidé jusqu'à cette étape de ma vie.

À ma chère mère, Modèle de sacrifice, d'amour et de générosité, lumière de mon chemin, de ma vie et de mon bonheur.

À mon cher papa, Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

À mes chères sœurs :

À Kamilia et à son époux Khaled.

À Nadjet, pour son grand soutien et sa présence constante à mes côtés à chaque étape de ma vie, à son époux, le Docteur Ismaïl, pour son aide, ses conseils, et le rôle essentiel qu'il a joué dans ce mémoire, et à leur enfant que nous attendons avec tant de joie.

À Hala, à son petit garçon Amir, rayon de soleil, et à son mari Nasreddine.

À mon chère frère Hocine, mon pilier et soutien constant.

À tous mes enseignants, du primaire jusqu'à l'université : merci. Vous êtes, après Dieu, les bâtisseurs de ce que je suis devenu.

À Abdenoor Abdelli, qui m'a toujours aidé, encouragé et éclairé mon chemin.

À ma meilleure amie et binôme Kheira, Merci pour ta présence tout au long de ce parcours.

Et à mes amis, présents et précieux tout au long de cette aventure.

À toute personne qui m'ont aidé pour faire ce modeste travail.

**Manel**

## **Résumé :**

Cette étude vise à trouver une méthode efficace pour recycler les déchets industriels, tels que la poudre de marbre et la poudre de granit, en leur conférant une valeur ajoutée contribuant à la protection de l'environnement contre la pollution résultant de l'entassement de ces déchets. La poudre de marbre et la poudre de granit ont été utilisées séparément comme matériaux additionnels à propriétés cimentaires, en remplaçant le ciment à des taux de 10 %, 20 % et 30 %, dans le but de formuler un mortier autoplaçant à caractère écologique.

Les formulations ont été soumises à une série d'essais à l'état frais et à l'état durci. Les résultats ont montré qu'un remplacement de 10 % du ciment par de la poudre de marbre ou de granit offre de bonnes performances en termes d'ouvrabilité et de propriétés mécaniques du mortier autoplaçant, ce qui a permis d'envisager une étude technico-économique.

Sur la base de ces résultats, le mortier obtenu peut être considéré comme un éco-matériau. Son utilisation est donc recommandée aux ingénieurs du bâtiment ainsi qu'à tous les utilisateurs de ciment dans le domaine de la construction.

**Mots-clés :** déchets industriels, recyclage, poudre de marbre, poudre de granit, mortier autoplaçant, éco-matériau.

## **Abstract:**

This study aims to find an effective method for recycling industrial waste, such as marble powder and granite powder, by giving it added value that contributes to environmental protection against pollution caused by the accumulation of such waste. Marble powder and granite powder were used separately as supplementary materials with cementitious properties, replacing cement at rates of 10%, 20%, and 30%, in order to formulate an eco-friendly self-compacting mortar.

The mixtures were subjected to a series of tests in both fresh and hardened states. The results showed that replacing 10% of cement with marble or granite powder provided good performance in terms of workability and mechanical properties of the self-compacting mortar, allowing for the consideration of a techno-economic study.

Based on these results, the resulting mortar can be considered an eco-material. Its use is therefore recommended for civil engineers and all cement users in the construction field.

**Keywords :** industrial waste, recycling, marble powder, granite powder, self-compacting mortar, eco-material.

## ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى إيجاد طريقة فعّالة لإعادة تدوير النفايات الصناعية، مثل مسحوق الرخام ومسحوق الغرانيت، بمنحها قيمة مضافة تُساهم في حماية البيئة من التلوث الناتج عن تراكم هذه المخلفات. تم استخدام كل من مسحوق الرخام ومسحوق الغرانيت بشكل منفصل كمواد مضافة ذات خصائص إسمنتية، حيث جرى استبدال الإسمنت بنسب 10%، 20% و30% بهذه المساحيق، وذلك بهدف تحضير ملاط ذاتي التوضع بخصائص بيئية

تم إخضاع الخلطات لسلسلة من الاختبارات في كل من الحالتين السائلة والصلبة. وقد أظهرت النتائج أن استبدال 10% من الإسمنت بمسحوق الرخام أو مسحوق الغرانيت يوفر أداءً جيداً من حيث التشغيلية والخصائص الميكانيكية للملاط الذاتي التوضع، مما أتاح إمكانية إجراء دراسة تقنية اقتصادية.

بناءً على هذه النتائج، يمكن تصنيف الملاط المحصل عليه كمادة بيئية، وعليه يُنصح باستعماله من طرف مهندسي البناء وكل مستعملي الإسمنت في مشاريع البناء.

### الكلمات المفتاحية: النفايات الصناعية، إعادة تدوير، مسحوق

الرخام، مسحوق الغرانيت، ملاط ذاتي التوضع، مادة بيئية.

## Liste des tableaux

<i>Tableau II.1: Nature et quantité des déchets de l'entreprise TIMGAD MARBRE (entreprise Algérienne) [1].</i> .....	22
<i>Tableau III. 1 : Caractéristiques chimiques et minéralogique du ciment utilisé</i> .....	42
<i>Tableau III. 2 : Composition minérale de l'eau de gâchage</i> .....	42
<i>Tableau III. 3 : Caractéristiques physico-chimiques du superplastifiant (Medaflow 30)</i> .....	43
<i>Tableau III. 4 : Analyse granulométrique du sable (sable de Chlef)</i> .....	46
<i>Tableau III. 5 : Résultats de la masse volumique apparente et de la masse volumique absolue</i> .....	49
<i>Tableau III. 6 : Résultats de l'équivalent de sables</i> .....	50
<i>Tableau III. 7 : Qualité du sable en fonction des valeurs des équivalents de sable Esv et Esp</i> .....	51
<i>Tableau III. 8 : présente les quantités des matériaux utilisées dans chaque formulation.</i> .....	52

## Liste des figures

<i>Figure I. 1 : Composants du mortier.</i> .....	6
<i>Figure I. 2 : Etalement au Mini-Cône</i> .....	11
<i>Figure I. 3 : L'entonnoir en V (V-Funnel test)</i> .....	12
<i>Figure I. 4 : Schéma simplifié de la mesure de la vitesse de son</i> .....	13
<i>Figure I. 5 : Protection d'un talus par les pneus réformés [10].</i> .....	19
<i>Figure II. 1 : Les déchets de marbre et de granite (Usine à Relizane).</i>	23
<i>Figure II. 2 : Bous sèches du marbre [1].</i>	23
<i>Figure II. 3 : Bous sèches du granite [1].</i>	23
<i>Figure II. 4 : carrières de marbre [19].</i>	26
<i>Figure II. 5 : Machine de Sciage [19].</i>	26
<i>Figure II. 6 : Machine de Coup et Ébarbage [19].</i>	27
<i>Figure II. 7 : Machine de Polissage [19].</i>	27
<i>Figure II. 8 : Machine de Finition [19].</i>	28
<i>Figure II. 9 : Variation de l'étalement en fonction de la teneur en poudre de marbre [8].</i>	29
<i>Figure II. 10 : Les minéraux présents dans le granite, (a) Le quartz, (b) Les feldspaths, (c) Les micas.</i>	32
<i>Figure II. 11: La maniabilité de béton à base de déchets de granite [29].</i>	34
<i>Figure II. 12 : L'affaissement au cône d'Abrams en fonction de pourcentage de substitution de granite [11].</i>	34
<i>Figure II. 13 : Variation de la densité en fonction du taux de substitution à poudre de granite [11].</i>	35
<i>Figure II. 14 : La résistance à la compression de béton à base de déchets de granite avec (a) 7 jours, (b) 28 jours [29].</i>	36
<i>Figure II. 15 : Influence du pourcentage sur la résistance en compression [24].</i>	36
<i>Figure II. 16 : Résistances en compression de béton avec ajout de poudre de granite [23].</i>	37
<i>Figure III. 1 : Matériaux utilisées</i>	41
<i>Figure III. 2 : Sac de Ciment</i>	41
<i>Figure III. 3 : Sable naturel</i>	42
<i>Figure III. 4 : Le super-plastifiant (SP) utilisé.</i>	43
<i>Figure III. 5 : Les fines provenant des déchets de granite</i>	43
<i>Figure III. 6 : Les fines provenant des déchets de marbre</i>	44
<i>Figure III. 7 : La fiche technique de granite</i>	44
<i>Figure III. 8 : La fiche technique de marbre</i>	45
<i>Figure III. 9 : Appareil de l'analyse granulométrique</i>	46
<i>Figure III. 10 : Courbe granulométrique du sable de Chlef.</i>	47
<i>Figure III. 11 : Principe de l'essai d'équivalent de sable</i>	49
<i>Figure III. 12 : Malaxeur électrique pour mortier</i>	53
<i>Figure III. 13 : Essai sur Mortier</i>	53
<i>Figure III. 14 : Essai d'étalement pour mortier</i>	54
<i>Figure III. 15 : Essai à l'entonnoir en V pour mortier</i>	54
<i>Figure III. 16 : Moule prismatique à mortiers</i>	55
<i>Figure III. 17 : Remplissage du moule.</i>	55
<i>Figure III. 18 : Des éprouvettes 4×4×16 cm<sup>3</sup> et 5×10 cm<sup>2</sup></i>	55
<i>Figure III. 19 : Essai du dispositif de compression simple.</i>	56
<i>Figure III. 20 : Essai du dispositif de flexion simple.</i>	56
<i>Figure III. 21 : Appareil ultrason</i>	57

# Sommaire

## REMERCIEMENT

*Dédicaces*

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....	1
Chapitre I Recherche bibliographique.....	4
I.1. Introduction.....	5
I.2. Les bétons autoplaçant.....	5
I.3. Les mortiers Autoplaçants.....	6
I.3.1. Les constituants des mortiers : .....	6
I.3.1.1. Ciment .....	6
I.3.1.2 Le sable.....	7
I.3.1.3 L'eau de gâchage .....	8
I.3.1.4 Les adjuvants .....	8
I.3.2. Formulation des mortiers autoplaçants .....	9
I.3.2.1 Méthode D'Okamora .....	9
I.3.3. Domaine d'application d'un MAP.....	10
I.3.4. Caractérisation des MAP à l'état frais.....	10
I.3.4.1 Essai d'Etallement au Mini-Cône.....	11
I.3.4.2 Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test) .....	11
I.3.5. Caractérisation des MAP à l'état durci .....	12
I.3.5.1 Résistances mécaniques .....	12
I.3.5.2 Essai ultrasonique.....	13
I.4. Recyclage des déchets .....	13
I.4.1. Généralité.....	13
I.4.2. Définition de déchets .....	14
I.4.3. Origine de la production de déchets :.....	14
I.4.4. Type de déchets .....	14
I.4.5. Techniques de gestion des déchets.....	15

I.4.5.1. Les décharges .....	16
I.4.5.2. L'incinération .....	16
I.4.5.3 Point d'apport volontaire.....	16
I.4.5.4. Les déchetteries.....	17
I.4.5.5. Les filières de recyclage .....	17
I.4.5.6. Les trafics de déchets .....	17
I.4.5.7. Compost et fermentation .....	17
I.4.6. Valorisation et recyclage des déchets en Algérie.....	17
I.4.7. Utilisation des déchets dans le domaine du génie civil.....	18
I.4.7.1. Pneus usagés et déchets plastiques.....	18
<b>Chapitre II Influence de marbre et de granite sur le mortier autoplaçant .....</b>	<b>21</b>
<b>II.1. Introduction .....</b>	<b>22</b>
<b>II.2. Déchets de marbre et de granite .....</b>	<b>22</b>
<b>II.3. Mortier à base de déchets de marbre .....</b>	<b>24</b>
II.3.1. Historique de marbre .....	24
II.3.2. Définition de marbre .....	24
II.3.3. Composition de marbre .....	25
II.3.4. Types de marbre .....	25
II.3.5. Mode de fabrication du marbre en Algérie.....	25
II.3.6. Propriétés de marbre .....	28
II.3.7. Utilisation de marbre .....	28
II.3.8. Effet de marbre sur le mortier et sur le béton .....	29
II.3.9. Effet de marbre sur les qualités des ciments.....	29
<b>II.4. Mortier à base de déchets de granite.....</b>	<b>29</b>
II.4.2. Définition de granite.....	30
II.4.3. Composition de granite .....	30
II.4.4. Domaine d'utilisation de granite .....	31
II.4.4.1. Le granite dans la cuisine.....	31
II.4.4.2. Le granite dans la salle de bain.....	31
II.4.4.3. Le granite sur la terrasse et dans le jardin.....	31
<b>II.5. Les propriétés du granite.....</b>	<b>31</b>
<b>II.6. Les différents types de granites .....</b>	<b>33</b>
<b>II.7 Influence des déchets de granite sur les propriétés des matériaux cimentaires .....</b>	<b>34</b>
II.7.1. Influence à l'état frais .....	34
II.7.2. Influence à l'état durci .....	35
<b>II.8. Présentation de l'entreprise TAMSTONES .....</b>	<b>37</b>

<b>II.8.1. Localisation</b> .....	37
<b>II.8.2. Données administratives</b> .....	37
<b>II.8.3. Historique</b> .....	37
<b>II.8.4. La capacité de production</b> .....	38
<b>II.8.5. Processus de fabrication</b> .....	38
<b>II.9. Conclusion</b> .....	39
<b>Chapitre III Matériaux et méthodes d'essai</b> .....	40
<b>III.1 Introduction</b> .....	41
<b>III.2 Matériaux utilisés</b> .....	41
<b>III.2.1 Ciment</b> .....	41
<b>III.2.2 Sable naturel</b> .....	42
<b>III.2.3 Eau de Gâchage</b> .....	42
<b>III.2.4 Superplastifiant</b> .....	42
<b>III.2.5 Déchets</b> .....	43
<b>III.3 Essais réalisés</b> .....	46
<b>III.3.1 Essais sur les granulats utilisés</b> .....	46
<b>III.3.1.1 Analyse granulométrique</b> .....	46
<b>III.3.1.2 Module de finesse du sable</b> .....	47
<b>III.3.3 Equivalent de sable</b> .....	49
<b>III.4 Formulations des mortiers</b> .....	51
<b>III.5 Séquence de malaxage du mortier</b> .....	52
<b>III.6 Essai sur mortier</b> .....	53
<b>III.6.1 Essais sur le mortier à l'état frais</b> .....	54
<b>III.6.1.1 Essai d'étalement :</b> .....	54
<b>III.6.1.2 Essai d'entonnoir en V (V-Funnel)</b> .....	54
<b>III.6.2 Essais sur le mortier à l'état durci</b> .....	55
<b>III.6.2.1 Résistance à la compression</b> .....	55
<b>III.6.2.2 Résistance à la traction par flexion</b> .....	56
<b>III.6.2.3 Essais aux ultrasons</b> .....	56
<b>III.7 Conclusion</b> .....	57
<b>Chapitre IV Résultats et discussions</b> .....	59
<b>IV.1. Introduction</b> .....	60
<b>IV.2. Influence de poudre de marbre sur le mortier autoplaçant</b> .....	60
<b>IV.2.1. A l'état frais</b> .....	60
<b>IV.2.1.1. Étalement</b> .....	60
<b>IV.2.1.2. Temps d'écoulement à travers le V-Funnel</b> .....	61

<b>IV.2.1.3. La masse volumique</b> .....	61
<b>IV.2.2. A l'état durci</b> .....	62
<b>IV.2.2.1 Résistance à la compression</b> .....	62
<b>IV.2.2.2. Résistance à la traction</b> .....	64
<b>IV.2.2.3. Ultrasonique</b> .....	66
<b>IV.3. Influence de poudre de granite sur le mortier autoplaçant</b> .....	67
<b>IV.3.1. A l'état frais</b> .....	67
<b>IV.3.1.1. Etalement</b> .....	67
<b>IV.3.1.2. Temps d'écoulement à travers le V-Funnel</b> .....	68
<b>IV.3.1.3. La masse volumique</b> .....	68
<b>IV.3.2. A l'état durci</b> .....	69
<b>IV.3.2.1 Résistance à la compression</b> .....	69
<b>IV.3.2.2. Résistance à la traction</b> .....	71
<b>IV.3.2.3. Ultrasonique</b> .....	72
<b>IV.4. Conclusion</b> .....	73
<b>Conclusion générale</b> .....	75
<b>Références bibliographiques</b> .....	78
<b>ANNEXE</b> .....	82

# **Introduction générale**

### Introduction Générale

De nos jours, dans le domaine de la construction et des travaux publics, devant les besoins croissants en matériaux et devant les exigences de préservation de l'environnement dans une vision du développement durable, il est devenu nécessaire de prospecter et d'étudier toutes les possibilités d'élaboration de nouveaux matériaux avec la réutilisation et la valorisation des déchets et sous-produits industriels. Cependant, les contraintes d'ordre économique, écologique et technique de ces dernières années ont rendu nécessaire la valorisation et le recyclage des déchets. Par conséquent, dans plusieurs pays du monde, beaucoup d'importance est donnée à la valorisation des déchets et de sous-produits industriels dans la fabrication du ciment et du béton.

Dans ce contexte, dans plusieurs universités du monde entier, les laboratoires de recherche sur les matériaux travaillent sur le développement de nouveaux composites cimentaires à base de déchets, dans le but de réduire le coût de réalisation, d'éliminer ces déchets de l'environnement d'une part, d'autre part d'améliorer les propriétés mécaniques et physiques des mortiers et des bétons, notamment les mortiers et bétons autoplaçants.

Les bétons autoplaçants (Self-Compacting Concrete - SCC) ont été inventés au Japon dans les années 1980 par des chercheurs de l'Université de Tokyo. Ce nouveau type de béton a été développé pour faciliter la mise en œuvre dans les structures complexes et fortement armées, sans recours à la vibration mécanique. Grâce à leur grande fluidité, homogénéité et stabilité, ces bétons se sont rapidement répandus à l'échelle mondiale, offrant des avantages techniques et économiques considérables.

Sur le même principe, les mortiers autoplaçants ont été développés pour des applications plus ciblées, telles que les joints ou les réparations localisées. Ces mortiers conservent les propriétés de fluidité et de stabilité des bétons autoplaçants, et reposent sur l'utilisation de superplastifiants, des adjuvants chimiques permettant d'augmenter considérablement la fluidité sans ajouter d'eau, ce qui permet de préserver les performances mécaniques et la durabilité du mortier.

Dans cet axe, ce travail de recherche a pour objectif l'étude de la possibilité d'élaboration d'un mortier autoplaçant (un éco-matériau) avec la substitution du ciment (de 10 %, 20 %, 30 %) par la poudre de marbre et la poudre de granite.

## **Introduction générale**

---

Pour le besoin de l'étude, le mémoire est structuré comme suit :

Après l'introduction générale, le premier chapitre présente un cadre théorique sur les mortiers et bétons autoplaçants, ainsi que sur la valorisation des déchets dans le secteur du BTP.

Le deuxième chapitre est consacré à une présentation théorique des déchets de marbre et de granite, leurs caractéristiques, et leur influence sur le ciment, mortier et béton.

Dans le troisième chapitre, on a présenté les modes opératoires des essais sur les matériaux employés dans cette étude, ainsi que les différentes méthodes expérimentales, selon les normes nécessaires pour la caractérisation physique et mécanique de ces matériaux.

Le quatrième chapitre résume les résultats et les discussions des expériences expérimentales réalisées durant la présente étude.

Enfin, le mémoire est clôturé par des conclusions générales et des recommandations pour les futurs travaux.

# **Chapitre I**

## **Recherche bibliographique**

### I.1. Introduction

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau.

Ce chapitre présente une synthèse de l'étude bibliographique sur les différents constituants des mortiers autoplaçants (MAP), et il présente également les méthodes et techniques de formulation, ces domaines d'utilisations en génie civil et leur caractérisation à l'état frais, et à l'état durci.

### I.2. Les bétons autoplaçant

Les bétons autoplaçant sont des bétons fluides, très déformables, homogènes et stables, ils sont capables de s'écouler sous leur propre poids quel que soit le confinement du milieu sans apport d'énergie extérieure (vibration) et restent homogènes au cours l'écoulement et une fois mis en place (absence de ségrégation dynamique et statique), ce qui constitue un grand avantage pour la réalisation des constructions. Un béton autoplaçant permet de remplir des coffrages dont la complexité de forme ou la densité en ferrailage n'est pas réalisé dans le cas d'un béton ordinaire.

La mise en place, sous le seul effet de la gravité, nécessite une grande fluidité du matériau, mais il est aussi indispensable que le béton conserve une stabilité satisfaisante et une parfaite homogénéité. Ces deux propriétés contradictoires sont obtenues par l'ajout et le dosage adéquat de superplastifiant et de fines (et/ou) l'emploi d'agents de viscosité. La fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats. De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très cohésif et très stable lors de la mise en place et cela jusqu'à son durcissement.

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires notamment par leurs propriétés à l'état frais.

Ces propriétés se caractérisent principalement par :

- Une mobilité en milieu non confiné (décrite par l'essai d'étalement)
- Une stabilité (c'est-à-dire une résistance à la ségrégation et au ressuage).

Afin de pouvoir répondre à ces caractéristiques, la composition d'un BAP doit être soigneusement mise au point.

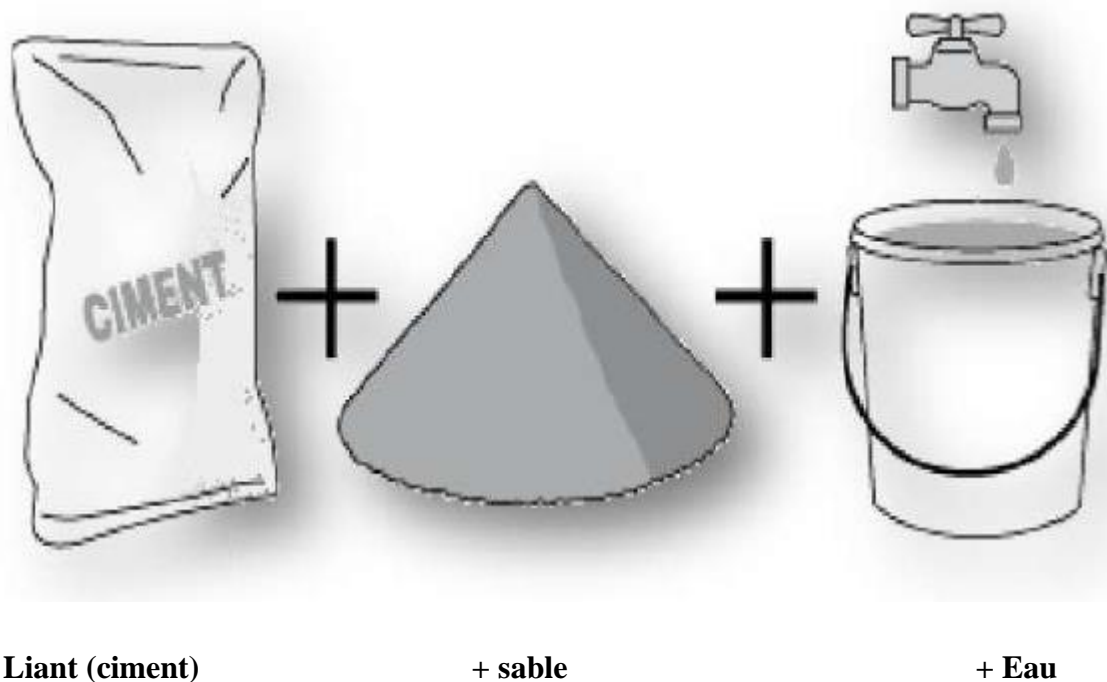
### I.3. Les mortiers Autoplaçants

Les mortiers autoplaçants se caractérisent par une grande fluidité et une grande capacité de remplissage tout en étant stables et garantissent aussi de bonnes performances mécaniques et de durabilité [21].

Le mortier est un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général, le mortier se compose de ciment ou de chaux, de sable et d'eau dans un rapport donné, qui varie selon les réalisations et d'adjuvant.

#### I.3.1. Les constituants des mortiers :

La grande différence entre le mortier autoplaçant et le mortier ordinaire réside dans le choix des constituants et leurs propriétés. Ces derniers peuvent être classés en trois catégories : les matériaux de base (sable, ciment, eau), les additions minérales ainsi que les adjuvants chimiques [33].



*Figure I. 1 : Composants du mortier.*

#### I.3.1.1. Ciment

C'est un liant hydraulique qui durcit rapidement et atteint sa résistance maximale en quelques jours. Après durcissement, cette pâte peut conserver sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Son utilisation la plus courante est sous forme de poudre, mélangée à de l'eau, utilisée pour agréger du sable fin et du gravier, pour produire du mortier et même du béton. [22]

Le ciment est une matière pulvérulente, à base de silicate et d'aluminate de chaux, obtenue par cuisson, en proportions variables selon les matières premières utilisées :

- Silicate tricalcique, ou  $C_3S$  ( $3 CaO, SiO_2$ ).
- Silicate bicalcique, ou  $C_2S$  ( $2 CaO, SiO_2$ ).
- Aluminate tricalcique, ou  $C_3A$  ( $3 CaO, Al_2O_3$ ).
- Aluminoferrite tricalcique, ou  $C_4AF$  ( $4 CaO, Al_2O_3, Fe_3O_3$ ). [9]

Les matières premières essentielles sont la roche calcaire et l'argile. Elles sont broyées et éventuellement additionnées de produits secondaires. Le mélange obtenu s'appelle le cru et est composé d'environ 80 % de calcaire et d'environ 20 % d'argile.

Généralement, on peut utiliser :

- Les ciments normalisés (gris ou blanc) ;
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..) ;
- Les liants à maçonner ;
- Les chaux hydrauliques naturelles ;
- Les chaux éteintes. [9]

Ainsi qu'il existe différents types de ciment :

### a) Ciments naturels

Obtenus par cuisson de roches calcaires contenant 20 à 40 % d'argile. Ils sont à prise rapide ou demi-lente et ne conduisent pas à des résistances finales élevées. Exemple : les ciments prompts.

### b) Ciments artificiels

Les liants les plus importants et les plus employés dans la construction actuelle.

Ils sont à prise lente et on distingue les catégories suivantes :

- **CPA** : Ciment Portland artificiel (97% clinker plus des fillers) ;
- **CPJ** : Ciment Portland composé (65% clinker plus des ajouts) ;
- **CHF** : Ciment de haute-fourneau (40% à 75% laitier plus du clinker) ;
- **CLK** : Ciment de laitier au clinker (80% laitier plus du clinker). [9]

### I.3.1.2 Le sable

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière [5], Les sables proviennent de la désagrégation

des roches qui constituent l'écorce terrestre ; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix.

Le diamètre maximum des grains de sable [32] utilisés pour les mortiers est :

Extra-fins : jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).

Fins : jusqu'à 1,6 mm

Moyens : jusqu'à 3,15 mm

Gros : jusqu'à 5 mm

### I.3.1.3 L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle dans la composition du mortier, c'est d'elle que dépendent en grande partie la cohésion et la résistance de ce matériau de construction omniprésent.

Associée au ciment, l'eau remplit deux fonctions :

- ✓ Elle sert à l'hydratation du ciment
- ✓ Elle permet la fluidification de la pâte

L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme **NA-442**. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale.

### I.3.1.4 Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques utilisés dans les bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ 5 % du poids du ciment) sans provoquer de retard de prise ou d'aération excessive. De manière générale l'adjuvant le plus utilisé dans la fabrication du béton fluide est le superplastifiant.

Les superplastifiants, ou réducteurs d'eau élevée selon la norme **ASTM C494**, sont des polymères à très longues chaînes moléculaires. Ils permettent de réduire le taux d'humidité de 30% voire 40% dans la nouvelle génération de SP.

Les principaux avantages de l'utilisation des superplastifiants sont :

- Produire un béton ou un mortier très facile à traiter (haute ouvrabilité) sans réduire la teneur en ciment et sa résistance.
- Produire un béton ou un mortier contenant moins de ciment tout en conservant une résistance et une maniabilité normales.

### I.3.2. Formulation des mortiers autoplaçants

En utilisant des matériaux avec des pourcentages appropriés de chaque composant, les formulations de coulis et de mortier autoplaçant offriront les meilleures performances en termes de stabilité et de fluidité. Lorsque le mortier est considéré comme autoplaçant, les caractéristiques requises ont une grande fluidité et une résistance suffisante à la ségrégation statique et dynamique.

Diverses méthodes ont été conçues pour optimiser la formulation de MAP et de BAP. Parmi elles : la méthode japonaise d'Okamora (1990), la méthode française LCPC, la méthode suédoise CBI de Peterson et al. Ceci est basé sur la conception expérimentale et la conception d'OH et al. Ceci est basé sur la théorie de l'excès de pâte [4].

La formule repose donc sur trois critères :

- Fluidisation de la pâte : Elle est obtenue en utilisant un superplastifiant à haute capacité anti-floculation sans ajout d'eau.
- Restreindre le frottement entre les granulats pour favoriser l'écoulement : C'est parce que la taille des granulats est généralement plus petite, et le volume de la pâte et la quantité de poudre fine sont plus importants que ceux du béton ordinaire.
- Stabiliser le mélange pour éviter les risques de ségrégation : il est obtenu grâce à l'utilisation d'agents de viscosité et l'ajout d'additifs (charges, cendres volantes, laitier broyé, fumée de silice).

#### I.3.2.1 Méthode D'Okamora

La formulation des MAP par l'approche développée à l'université de Kochi au Japon [26] se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Cette méthode de formulation est à la fois forfaitaire pour les dosages des granulats et expérimentale pour le dosage en eau et en adjuvant. Pour formuler un BAP par cette méthode baptisée « méthode japonaise », on doit passer par les étapes suivantes :

- Choix du dosage en ciment : La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité...).
- Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est pris égal à 2 %.

- Détermination du dosage du sable : Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.
- Détermination du dosage minimal en eau : La demande en eau passe par la conception de la composition de la pâte. En effet des essais d'étalement au mini- cône sont réalisés en faisant varier le rapport Eau/Liant avec le dosage choisi en liant.
- En traçant la courbe d'Eau/Liant en fonction de l'étalement relatif « Rp », on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées « βP » qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour cimenter les additions minérales [25] [27].

$$R_p = \frac{d^2 - 100^2}{100^2} = \left( \frac{d}{100} \right)^2 - 1 \quad (1)$$

Avec :

«Rp» : L'étalement relatif.

« d » : le diamètre d'étalement moyen en millimètre de la galette de pâte.

### I.3.3. Domaine d'application d'un MAP

Le mortier autoplaçant est généralement utilisé pour remplir des espaces vides et difficiles pour y accéder contrairement au béton [30]. Le domaine d'application du MAP est très vaste, on peut l'utiliser comme :

- Un joint.
- Une réparation.
- Un support pour les peintures murales.

### I.3.4. Caractérisation des MAP à l'état frais

La déformabilité du mortier est définie comme la capacité du mortier à changer de forme sous l'effet de son propre poids, tout en répondant à des exigences élevées en termes de déformabilité.

Pour atteindre cette déformabilité, il est nécessaire de réduire les frottements entre les grains de sable du mélange, notamment en diminuant la proportion de sable grossier et en augmentant le volume de pâte, afin d'obtenir la déformabilité requise du mortier autoplaçant (MAP).

La réduction des frottements entre les grains de sable peut également être obtenue par l'ajout d'additifs minéraux tels que les fillers [3] [20]. Afin d'améliorer la déformabilité de la pâte et de réduire le frottement entre les sables, un superplastifiant à haute réduction d'eau est incorporé dans le mélange MAP. Ce type de superplastifiant permet de maintenir un rapport

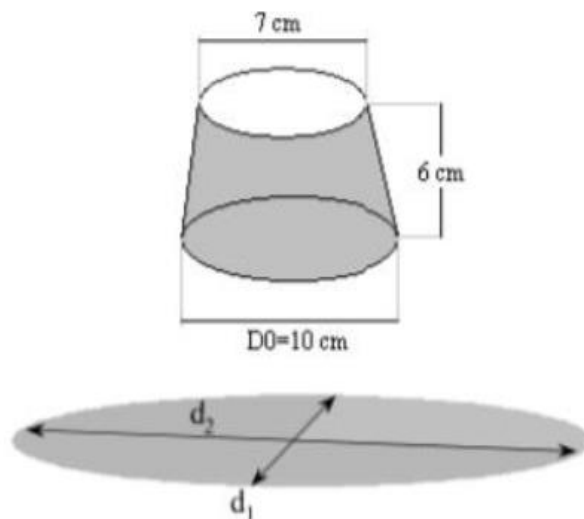
eau/liant relativement faible tout en garantissant une fluidité élevée. La déformabilité de la pâte est aussi améliorée par la diminution de sa viscosité.

Le test d'étalement a pour objectif de mesurer la déformabilité du mortier en évaluant l'étalement obtenu, ainsi que de vérifier sa stabilité en observant la surface du mortier après l'arrêt de l'écoulement.

La viscosité du mortier est quant à elle évaluée en mesurant le temps d'écoulement à l'aide du test du mini entonnoir en forme de V.

### I.3.4.1 Essai d'Etalement au Mini-Cône

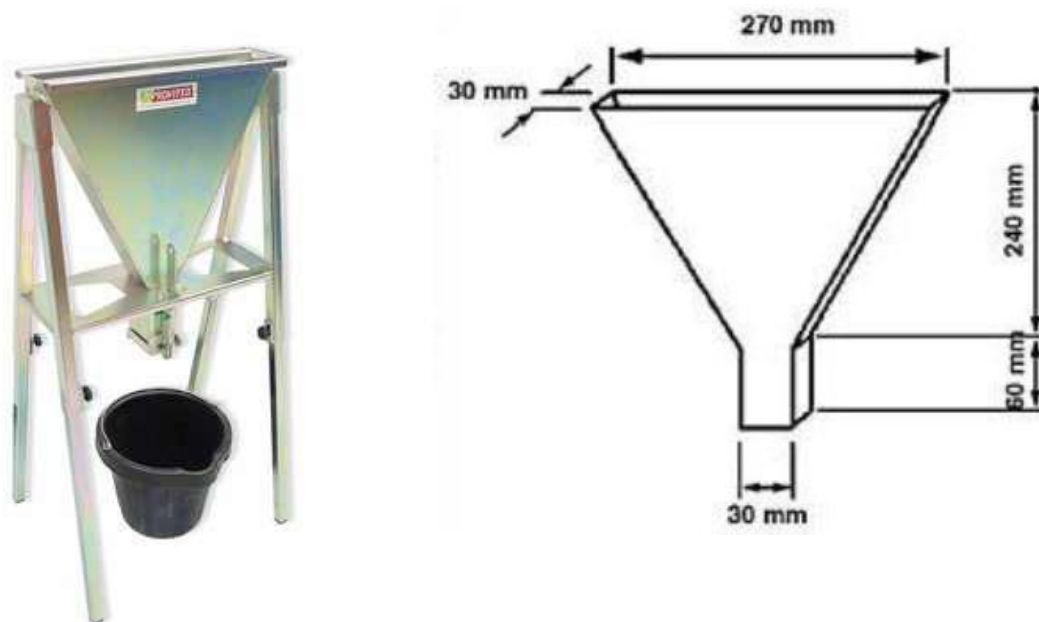
L'essai d'étalement vise à évaluer la capacité d'écoulement du mortier. Il consiste à remplir le mini cône miniature placé sur une surface horizontale lisse, et après avoir soulevé le cône, Le diamètre d'étalement est mesuré dans deux directions perpendiculaires afin d'obtenir une valeur moyenne. Le diamètre d'étalement doit être compris entre 270 mm et 330 mm pour obtenir un mortier autoplaçant.



*Figure I. 2 : Etalement au Mini-Cône*

### I.3.4.2 Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test)

L'essai d'écoulement à l'entonnoir (V-Funnel test) est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité des MAP. Dans cet essai, un entonnoir de dimensions définies est rempli de mortier jusqu'au bord, puis la vanne située à sa base est ouverte. On mesure le temps ( $T_v$ ) nécessaire pour que le mortier s'écoule complètement hors de l'entonnoir. Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, il caractérise la viscosité du mortier. Si le mortier s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible.



*Figure I. 3 : L'entonnoir en V (V-Funnel test)*

### **I.3.5. Caractérisation des MAP à l'état durci**

#### **I.3.5.1 Résistances mécaniques**

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  conservés dans l'eau à  $20^\circ\text{C}$ . Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

##### ***I.3.5.1.1 La résistance à la traction :***

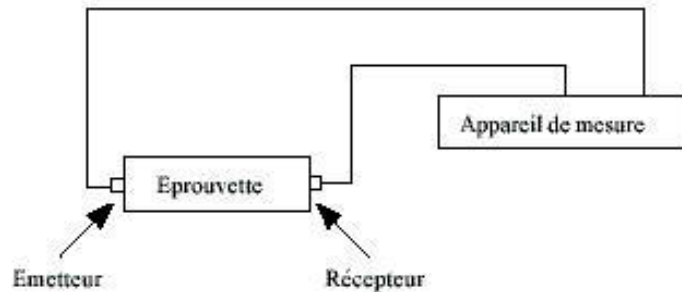
La résistance à la traction correspond à la capacité d'un matériau à résister à des charges, à des forces sans rompre en raison d'une concentration de contrainte ou de déformation. La résistance maximale à la traction ( $R_m$ ) est souvent désignée par la contrainte maximale et est calculée en divisant la force maximale de traction que l'échantillon supporte par sa surface transversale.

##### ***I.3.5.1.2 La résistance à la compression :***

La résistance à la compression d'un matériau est l'effort de compression uniaxial atteint à la rupture complète du matériau. Si le matériau est ductile cette rupture n'aura pas lieu mais le matériau se déformera de manière irréversible, de sorte que la résistance à la compression est assimilée à l'effort atteint à la limite de la déformation.

### I.3.5.2 Essai ultrasonique

Cet essai consista à mesurer la vitesse longitudinale du son dans le béton à l'aide d'un appareil comportant une boîte de mesure, et deux têtes (une émettrice et l'autre réceptrice). Voir (Figure 1.4)



*Figure I. 4 : Schéma simplifié de la mesure de la vitesse de son*

Deux méthodes peuvent être utilisées pour mesurer la vitesse du son :

- Mesure en surface ;
- Mesure en transparence.

Cette dernière présente la meilleure méthode. Elle consiste à presser les deux têtes de mesure sur les deux faces de l'éprouvette, en utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission du son. La surface du béton doit être raisonnablement plane et bien nettoyée. Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en micro-seconde. La vitesse de propagation  $V$  (m/sec) est donnée alors par l'équation suivante :

$$V = \frac{S}{t} 10^6 \quad (2)$$

-  $S$  : distance entre les têtes en (m).

-  $t$  : temps en micro-seconde.

## I.4. Recyclage des déchets

### I.4.1. Généralité

L'Algérie est confrontée à de graves problèmes environnementaux, notamment la dégradation du milieu naturel et l'épuisement ou la perte des ressources naturelles, comme en témoignent des indicateurs environnementaux alarmants qui exigent des actions rapides. Face à ces défis, la protection de l'environnement doit être considérée comme une composante essentielle du développement durable, en réduisant la consommation des ressources naturelles

et en limitant les déchets issus des activités humaines, notamment dans le domaine du génie civil.

Le recyclage s'impose dans ce contexte comme une solution efficace. Il s'agit d'un processus de traitement des déchets industriels et ménagers permettant de réintroduire les matériaux qui les composent dans un nouveau cycle de production. Ses principaux avantages écologiques résident dans la réduction du volume des déchets et la préservation des ressources naturelles. Les techniques de recyclage varient en complexité et en coût : certaines sont simples et peu coûteuses, tandis que d'autres sont plus complexes et onéreuses. Depuis les années 1970, le recyclage est devenu une activité essentielle dans l'économie et l'amélioration des conditions de vie des pays développés.

### I.4.2. Définition de déchets

Un déchet est tout résidu provenant d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, qu'il s'agisse d'une matière, d'un produit ou d'un objet mobile abandonné ou destiné à l'être par son détenteur. Ces déchets peuvent avoir des effets nuisibles sur le sol, la végétation et la faune, dégrader les paysages et les sites naturels, polluer l'air et les eaux, provoquer des odeurs désagréables ou du bruit, et nuire, en fin de compte, à la santé humaine et à l'environnement.

### I.4.3. Origine de la production de déchets :

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

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

### I.4.4. Type de déchets

- **Déchets ultimes** : le déchet ultime est une sorte de déchet qui n'a plus de possibilité d'être traité dans les conditions techniques et économiques actuelles, notamment en extrayant des pièces recyclables ou en réduisant leur pollution ou leurs caractéristiques dangereuses [28].

- **Déchets inertes** : ce sont des déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique majeure, ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne dégradent pas les autres matériaux en contact avec eux, et peuvent provoquer une pollution de l'environnement ou des moyens qui mettent en danger la santé humaine. Ces déchets peuvent être utilisés dans des installations de stockage, provenant principalement de chantiers de construction et de travaux publics ou d'industries qui fabriquent des matériaux de construction. Il s'agit notamment des déchets suivants : béton, carreaux de céramique, céramique, briques, déchets de verre, terre et les enrobés bitumeux [31].
- **Déchets assimilés** : les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants).
- **Déchets verts** : ce sont des déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...).
- **Déchets organiques** : Les termes suivants recouvrent la même notion : bio-déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit des déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs... etc.
- **Déchets industriels banals (DIB)** : Ils regroupent tous les déchets non dangereux générés par les industriels et les entreprises dans les domaines de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, de la peinture, de la chimie et de la pétrochimie. Il s'agit des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie [31].
- **Déchets dangereux** :
  - **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....
  - **Déchets ménagers spéciaux (DMS)** : Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé [31].

### I.4.5. Techniques de gestion des déchets

Traditionnellement, la gestion des déchets urbains, industriels et commerciaux consistait à les récupérer puis à les stocker. Une fois collecté, divers traitements peuvent être

appliqués aux déchets. Le but de ces traitements peut être de réduire la dangerosité des déchets, de revaloriser les matériaux par le recyclage, de produire de l'énergie à partir des déchets.

### **I.4.5.1. Les décharges**

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays. Mettre les déchets en décharge a été longtemps une solution pratique et peu coûteuse. Les inconvénients des décharges sont ; les nuisances pour le voisinage, risques de fuites dans les sols et les cours d'eau. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets.

### **I.4.5.2. L'incinération**

Est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant ; est une technique de destruction par le feu. Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques. Beaucoup d'organisations utilisent aujourd'hui l'exposition des déchets à haute température pour les traiter thermiquement (cela inclut aussi la gazéification et la pyrolyse). Cette technique inclut la récupération du métal et de l'énergie des déchets solides municipaux comme le stockage adapté des résidus solides (mâchefers) et la réduction du volume des déchets.

L'incinération est critiquée parce que des dioxines cancérigènes sont produites par les incinérateurs, surtout par les installations anciennes. Afin de contrôler les quantités de ces dioxines, une norme française s'applique depuis le 28 décembre 2005 sur tous les incinérateurs, fixant un seuil limite d'émission de dioxine.

L'amélioration du tri de ces déchets à forte teneur en eau permettrait de limiter les quantités de déchets incinérés d'une part et de faciliter leur combustion d'autre part.

Les mâchefers sont les résidus solides de l'incinération des déchets. 25% des quantités entrantes ressortent sous forme de mâchefers. Ce sont des mélanges de métaux, de verre de silice, d'alumine, de calcaire, de chaux d'imbrûlés et d'eau. Ils subissent un tri par aimant et courant afin de retirer les différents métaux qui peuvent ensuite être recyclés. Suivant leur qualité et leur stabilité, le reste des mâchefers est soit stocké en décharge, soit utilisé en remblais pour les routes.

### **I.4.5.3 Point d'apport volontaire**

Il s'agit de conteneur permettant un recyclage spécifique mais limité en général aux verres, papier-cartons et parfois les emballages (plastique et métaux). Ce système de collecte

est déchetterie permet le tri sélectif de manière plus efficace (les déchets sont alors triés dès le départ).

### **I.4.5.4. Les déchetteries**

Sont un moyen simple d'évacuer des déchets encombrants, déchets de bricolage ou déchets spéciaux, Une déchetterie accueille différents types de déchets, que les usagers déposent dans différentes bennes en fonction du déchet. Ces déchets sont ensuite orientés selon leur type vers une filière de valorisation, de recyclage ou vers un incinérateur ou un centre d'enfouissement, pour la partie des déchets non recyclables. On trouve en général dans les déchetteries des bennes pour les différents déchets suivants : bois, ferrailles, cartons, déchets verts, gravats, encombrants.

### **I.4.5.5. Les filières de recyclage**

En Algérie, de nombreuses communes ont commencé, au cours des dernières années, à adopter un système de collecte sélective des déchets, notamment dans les grandes villes. Ce processus concerne principalement les filières de recyclage du plastique (comme les bouteilles), du papier et du carton, des métaux (telles que les canettes de boissons et les boîtes alimentaires), ainsi que du verre.

### **I.4.5.6. Les trafics de déchets**

En Europe, le traitement des déchets devient de plus en plus réglementé et est très coûteux. La solution : se débarrasser de ses déchets en Afrique et certains pays d'Asie. Le traitement des déchets y coûte beaucoup moins cher (surtout lorsqu'il n'y a aucun traitement et que les déchets sont tout simplement stockés).

### **I.4.5.7. Compost et fermentation**

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes. Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage.

## **I.4.6. Valorisation et recyclage des déchets en Algérie**

L'Algérie est entrain de connaître un développement économique et démographique sans précédent.

Le taux élevé d'accroissement de la population a ainsi engendré une urbanisation accélérée, le plus souvent de manière anarchique qui a vu la prolifération de l'habitation précaire. Cela ne s'est pas fait sans conséquences sur l'environnement.

Face à la gravité des problèmes environnementaux, le gouvernement algérien a décidé en 2001 de consacrer une enveloppe financière importante, de près de 970 Md, pour atteindre les objectifs inscrits dans le Plan National d'actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAEDD), prévu jusqu'en 2010.

Sur le plan de la politique environnementale, le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAEDD) fixe les différents programmes environnementaux du pays pour 2001-2010.

Ces politiques sont appuyées par le fonds national de l'environnement et de dépollution (FEDEP) qui intervient notamment pour aider les entreprises industrielles à réduire ou à éliminer leurs pollutions et les unités de collecte, de traitement et de recyclage des déchets, ainsi que par la nouvelle fiscalité écologique basée sur le principe du pollueur payeur afin d'inciter à des comportements plus respectueux de l'environnement.

Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées :

- Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Loi n°01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement du territoire dans le cadre du développement durable.
- Loi n°02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- Loi n°04-03 du 23 Juin 2004 relative à la protection des zones de montagne dans le cadre du développement durable.
- Loi n°04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
- Loi n°04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. L'Algérie affronte aujourd'hui de nombreux problèmes liés à :

- la gestion des ressources naturelles : eau, espaces,
- la lutte contre les pollutions et les nuisances,
- la protection et la préservation des patrimoines.

### **I.4.7. Utilisation des déchets dans le domaine du génie civil**

#### **I.4.7.1. Pneus usagés et déchets plastiques**

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans les divers travaux de génie civil ce qui contribuera

d'une part, à la préservation de l'environnement, et d'autre part, à la réduction des coûts induits par l'utilisation des matériaux de plus en plus rares notamment dans certaines régions du pays. En effet, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique. La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier (contournement de Bou Smail).

Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie dans les travaux de stabilisation d'un talus de remblai d'une hauteur de 5 m environ avec une largeur de 50 m [10].



*Figure I. 5 : Protection d'un talus par les pneus réformés [10].*

### **I.4.7.2. Déchets de la construction/démolition**

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf.

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en

## **Chapitre I : Recherche bibliographique**

---

compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton. Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de briques, présente généralement de bonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées [10].

# **Chapitre II**

## **Influence de marbre et de granite sur le mortier autoplaçant**

### II.1. Introduction

Dans le cadre des efforts visant à développer des matériaux de construction durables, l'exploitation des sous-produits industriels et des résidus de pierre naturelle suscite un intérêt croissant. Le marbre et le granite, générés en grande quantité sous forme de poudre lors des opérations de sciage et de polissage, représentent une source potentielle de substitution pour les constituants traditionnels du mortier. Cette étude s'inscrit dans cette démarche et vise à évaluer l'effet de l'incorporation de la poudre de marbre et de granite sur les propriétés rhéologiques et mécaniques du mortier autoplaçant.

### II.2. Déchets de marbre et de granite

À l'échelle mondiale, l'industrie du marbre et du granite génère chaque année des centaines de millions de tonnes de déchets solides et boueux, ce qui en fait l'une des principales sources de résidus industriels dans le secteur des pierres naturelles. La quantité globale de ces déchets est estimée à environ 167 millions de tonnes par an, soit plus de la moitié de la production brute extraite des carrières.

Les déchets de marbre et de granite comptent parmi les principaux résidus industriels en Algérie, en raison de l'activité intense d'extraction et de transformation de ces matériaux. Ce secteur connaît un développement notable, avec plus de 60 unités de production et de transformation actives à l'échelle nationale, produisant environ 250 millions de mètres carrés de marbre et granite par an, en plus de 43 unités de transformation privées réparties à travers les différentes wilayas, avec une capacité de production atteignant 50 000 m<sup>2</sup> par jour. Cette industrie génère d'importantes quantités de déchets provenant de deux sources principales : la première est celle des carrières, où de grands blocs de roche sont extraits, mais une partie significative est rejetée en raison de fissures ou de défauts naturels. La deuxième source concerne les ateliers et usines de transformation, qui effectuent des opérations telles que la découpe, le sciage, le polissage et la finition, produisant des déchets solides comme des morceaux cassés ou irréguliers (chutes des carreaux), ainsi que des boues sèches ou liquides issus de l'utilisation de l'eau pour le refroidissement.

**Tableau II.1:** Nature et quantité des déchets de l'entreprise TIMGAD MARBRE (entreprise Algérienne) [1].

Nature de déchet	Quantité par an	Type de traitement ou condition de gestion	Lieu de stockage
Boues sèche	70 tonnes	Enlevé régulièrement du site vers la décharge.	Zone de déchet
Chutes de marbre et granite	3000 m <sup>2</sup>	Revendu	Zone de déchet



*Figure II. 1 : Les déchets de marbre et de granite (Usine à Relizane).*



*Figure II. 2 : Bous sèches du marbre [1].*



*Figure II. 3 : Bous sèches du granite [1].*

### II.3. Mortier à base de déchets de marbre

#### II.3.1. Historique de marbre

L'Histoire du marbre date de très longtemps. L'utilisation du marbre dans l'architecture remonte à des milliers d'années pour les anciennes cultures égyptiennes et mésopotamiennes. Capable de supporter un poids immense, le marbre a été idéal pour les colonnes monolithiques et structures d'appui dans les bâtiments publics, privées et religieux.

De la salle rouge richement colorée de la basilique de Saint-Paul à Rome aux murs du palais de Versailles, à la nef richement conçue de Salisbury Cathédrale de l'Angleterre, le marbre a été utilisé dans certains des bâtiments les plus impressionnants du monde. Le Trésor des Athéniens, construite au VI<sup>e</sup> siècle avant JC, a été le premier bâtiment construit entièrement en marbre. Le Parthénon, érigé par Périclès dans la même période, a été construit pour être le phare de l'Acropole. Le Parthénon est encore aujourd'hui, témoigne de la résistance de l'un des matériaux de construction les plus luxueux du monde.

L'histoire du marbre a aussi une signification. Le mot «marbre» provient du grec, marmaros, ce qui signifie « Neige pierre blanche et sans tache ». Et parce qu'aucune autre pierre n'offre le raffinement du marbre, il a été utilisé par les plus grands sculpteurs du monde. Le plus célèbre, Michel-Ange, « David » sculpte à partir d'un seul bloc de marbre.

Les architectes ont également profité des caractéristiques uniques du marbre, les détails iconographiques sont intégrés ainsi que des portraits de marbre dans la conception du bâtiment.

Les technologies modernes ont permis aux concepteurs de profiter de la beauté et de l'élégance du marbre sans être pénalisé par un coût élevé. Aujourd'hui le marbre est fabriqué à un prix abordable et en masse [6].

#### II.3.2. Définition de marbre

Le marbre est une roche métamorphique dérivant d'un calcaire ou d'une dolomie sédimentaire ayant été transformée généralement par métamorphisme régional ou plus rarement par métamorphisme de contact. Dans ce processus de transformation de la roche originelle, les structures sédimentaires sont effacées et la roche carbonatée recristallise en un amas de cristaux de calcite et/ou de dolomie engrenés de dimensions millimétriques à centimétriques. Les intercalations argileuses, les minéraux détritiques ou les oxydes minéraux présents dans le carbonate originel donnent alors au marbre diverses colorations et divers polychromes du plus grand effet esthétique [18].

### II.3.3. Composition de marbre

Le marbre est une roche métamorphique formée de roches telles que le calcaire, la calcite, la dolomie et la serpentine sous haute pression et haute température. Le marbre est principalement composé de carbonate de calcium (environ 50 % de  $\text{CaCO}_3$ ) et d'une petite quantité d'oxyde acide  $\text{SiO}_2$ .

Par conséquent, le marbre appartient à la roche cristalline alcaline. Dans l'industrie de la pierre, le marbre comprend tous les types de carbonate ou de carbonate de magnésium et les roches métamorphiques associées aux propriétés similaires au marbre [13].

Le marbre contient principalement de la calcite, mais peut contenir plus ou moins de dolomite. Dans la transition vers le calcaire silicaté et le skarn, on y trouve de la brucite, de l'olivine, de la serpentine, de la trémolite, de la phlogopite. Les marbres se rayent facilement avec un couteau, ce qui permet de les distinguer du quartzite blanc plus dur. Le marbre est généralement constitué de cristaux rhombiques. Le marbre blanc est un calcaire très pur, contenant principalement du  $\text{CaCO}_3$ , communément appelé calcite. Pendant longtemps, la calcite n'était connue que pour son spath calcaire ou sa chaux carbonatée. Cela lui a donné le nom désormais bien connu de calcite.

### II.3.4. Types de marbre

La classification des marbres se fait selon la teinte et le dessin : outre le marbre blanc, il existe des variétés bleues, roses, beiges, grises, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires, etc. On classe aussi les roches marbrières géologiquement [12] :

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

### II.3.5. Mode de fabrication du marbre en Algérie

La fabrication du marbre en Algérie consiste à transformer des matières premières naturelles (comme le calcaire ou la dolomie) en dalles de marbre prêtes à l'usage. Voici les principales étapes du processus :

### 1. Extraction du marbre :

Le marbre est extrait des carrières situées dans plusieurs wilayas telles que Skikda, Tébessa, Tizi Ouzou, Batna, etc., à l'aide de machines modernes comme le fil diamanté.



*Figure II. 4 : carrières de marbre [19].*

### 2. Transport des blocs bruts :

Les blocs extraits sont transportés vers des usines de transformation à l'aide de camions spécialisés.

### 3. Sciage primaire :

Les blocs sont découpés en plaques épaisses à l'aide de scies multi-lames ou à disque diamanté.



*Figure II. 5 : Machine de Sciage [19].*

### 4. Découpe secondaire et ébarbage :

Les plaques sont découpées aux dimensions souhaitées (par exemple 60x60 cm) avec des machines de précision. Les bords sont rectifiés et les surfaces sont corrigées.



*Figure II. 6 : Machine de Coup et Ébarbage [19].*

### 5. Polissage :

Les plaques de marbre sont polies à l'aide de machines à têtes multiples équipées de disques abrasifs. Cette étape donne une surface lisse et brillante en faisant ressortir les couleurs naturelles du marbre.



*Figure II. 7 : Machine de Polissage [19].*

### 6. Finition :

Selon l'usage final, plusieurs types de finition peuvent être appliqués : Brillante : très lisse et réfléchissante. Mate : douce au toucher mais sans brillance. Brossée : aspect rustique avec relief. Flammée : surface rugueuse pour usage extérieur. Adoucie : entre mate et brillante.



*Figure II. 8 : Machine de Finition [19].*

### II.3.6. Propriétés de marbre

- ❖ Durable : Le marbre est l'une des pierres durables entre toutes les pierres naturelles. Il garantit toujours la longue durée de vie des éléments construits avec du marbre.
- ❖ Résistance à la chaleur : Le marbre est l'une des pierres avec une meilleure résistance à la chaleur parmi toutes les pierres naturelles. Cela garantit également la température uniforme à l'intérieur de la maison.
- ❖ Résistance au feu : Le marbre est idéal pour la maison et la construction de bureaux. En cas d'accident de feu à la maison, le marbre assure moins de dégâts [14].

### II.3.7. Utilisation de marbre

Il se prête bien à la taille et est très utilisé en construction, en décoration ou en sculpture. On peut s'en servir comme dessus de comptoirs pour la salle de bains, mais n'est pas recommandé comme surface de comptoirs pour la cuisine. Le marbre est très poreux, ce qui en contact avec certaines substances alimentaires provoquant sa détérioration.

L'utilisation du marbre comme matériel décoratif a été vue pour la première fois dans la construction intérieure des églises. Le marbre est aussi massivement utilisé pour la fabrication de dentifrice, certaines variétés de marbres sont utilisées dans la construction, la décoration intérieure et la création d'ornement, tel que les pieds de la lampe, les escaliers, les plateaux de table ou les parures de bureaux [2].

### II.3.8. Effet de marbre sur le mortier et sur le béton

De nombreuses recherches ont été menées pour étudier l'effet du marbre comme substitut à la matrice de ciment ou au sable frais et durci. Concernant l'opérabilité du MAP, les avis divergent. L'effet du marbre dépend du type de remplacement (poudre, sable ou granulat) et du pourcentage.

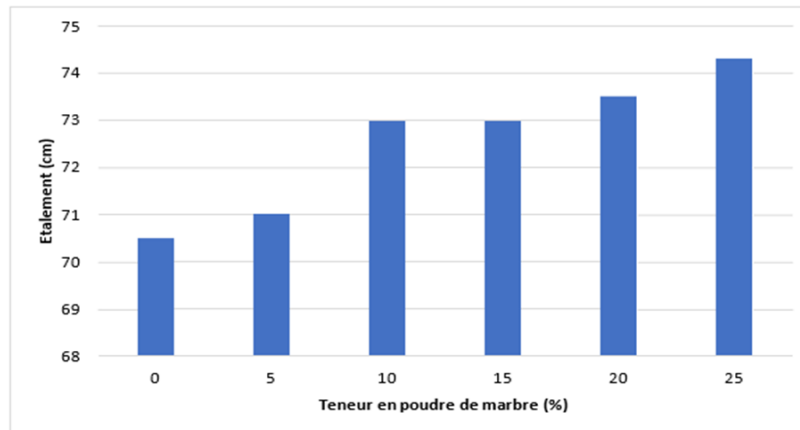


Figure II. 9 : Variation de l'étalement en fonction de la teneur en poudre de marbre [8].

### II.3.9. Effet de marbre sur les qualités des ciments

Agissant principalement grâce à une granulométrie appropriée par leur propriété physique sur certaines qualités du ciment :

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

## II.4. Mortier à base de déchets de granite

### II.4.1. Historique de granite

Le granite est une roche magmatique plutonique formée il y a plus de 300 millions d'années, suite au refroidissement lent du magma sous la surface terrestre, ce qui a permis la formation de grands cristaux visibles de quartz, de feldspath et de mica. C'est l'une des roches les plus anciennes de la croûte terrestre, largement présente dans les continents, notamment dans les boucliers géologiques.

Dans l'Antiquité, les Égyptiens ont extrait le granite, surtout des carrières d'Assouan, pour construire des obélisques et des temples comme celui de Karnak ou les statues de Ramsès

II, en tirant profit de sa solidité et de sa résistance aux intempéries. Il fut également utilisé par les civilisations romaines et indiennes dans l'architecture et la sculpture, comme le temple Brihadeeswarar en Inde, entièrement construit en granite au 11<sup>e</sup> siècle. Au Moyen Âge, il a servi à la construction d'églises et de châteaux, et son usage s'est poursuivi jusqu'à l'époque moderne, devenant un matériau de choix pour les sols, les plans de travail, les statues et les monuments commémoratifs, grâce à sa beauté naturelle et la diversité de ses couleurs. Les techniques d'extraction ont évolué, passant du dynamitage manuel à la découpe au câble diamanté, ce qui a permis de généraliser son emploi à l'échelle mondiale [17].

### II.4.2. Définition de granite

Le granite est une pierre naturelle et plus précisément une roche magmatique présente au cœur de l'écorce terrestre. Elle se décline en différentes couleurs, à savoir le blanc, le noir, le rose, le gris, le bleu ou encore le rouge et profite d'une grande solidité. Ses veines, tâches, inclusions et micro fissures sont uniques pour chaque morceau taillé puisque chaque roche est unique ! Le granit se compose de feldspath alcalin et de quartz, il est présent partout dans le monde. Il est plus accessible que le marbre et ses rainures sont parfois semblables à celles du marbre. Cette pierre naturelle n'est pas poreuse et cela lui permet d'être naturellement antidérapante. Ainsi, elle se destine à un usage intérieur et extérieur [7] [23].

### II.4.3. Composition de granite

Le granite est composé d'un ensemble de substances chimiques qui déterminent ses propriétés physiques et mécaniques. Le dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ) est le principal composant du granite, représentant entre 65 % et 75 % de sa composition. Il est responsable de sa grande dureté et parfois de son aspect vitreux. Il est suivi par l'oxyde d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), présent à hauteur de 12 % à 15 %, et qui entre dans la composition des feldspaths. Le granite contient également des oxydes alcalins comme l'oxyde de potassium ( $\text{K}_2\text{O}$ ) et l'oxyde de sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), atteignant ensemble jusqu'à 8 %, ce qui reflète la présence de feldspath alcalin et de plagioclase.

Parmi les autres composants figurent l'oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ), les oxydes de fer ( $\text{FeO}$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), l'oxyde de magnésium ( $\text{MgO}$ ), ainsi que des oxydes secondaires comme le dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) et l'oxyde de manganèse ( $\text{MnO}$ ), présents en faibles proportions. Cette composition chimique confère au granite une grande résistance aux agents naturels et un aspect varié en termes de couleur et de texture.

### II.4.4. Domaine d'utilisation de granite

Le granit s'utilise dedans, dehors, comme revêtement mural ou revêtement de sol. Voici quelques exemples d'utilisation du granite [16].

#### II.4.4.1. Le granite dans la cuisine

Dans la maison, le granit prend place dans la cuisine et devient un plan de travail résistant à la préparation des repas. Son design naturel permet de réchauffer l'ambiance de la cuisine et il convient de le choisir en fonction de la décoration pour encore plus de cachet. Toutefois, faites attention à son poids. En effet, si le granit est résistant, c'est avant tout parce qu'il est vraiment très lourd : en moyenne 50 kg au m<sup>2</sup>. Par conséquent, la mise en place et la découpe d'un plan de travail en granit passe obligatoirement par un professionnel aguerri [16].

#### II.4.4.2. Le granite dans la salle de bain

Le granit s'utilise dans la salle de bain, en carrelage, en mosaïque ou encore en dalles sur le sol et les murs. Sa haute résistance, vous permet de réaliser une salle de bains durable et élégante [16].

#### II.4.4.3. Le granite sur la terrasse et dans le jardin

Le granit est une roche capable de résister aux intempéries et aux variations de température. Voilà pourquoi, il peut facilement prendre place sur la terrasse ou être utilisé dans les allées du jardin. En plus, il est naturellement antidérapant [16].

### II.5. Les propriétés du granite

#### ➤ Les propriétés physiques du granite :

Le granit est une roche magmatique qui possède des propriétés physiques remarquables, ce qui en fait un matériau de choix pour l'industrie de la construction et de l'aménagement [15].

- **Résistance et dureté**

Le granit est une roche très résistante et durable. Il est dur et peut résister à l'usure, aux rayures et aux taches. Cette propriété en fait un choix populaire pour les comptoirs de cuisine, les planchers et les façades de bâtiments [15].

- **Densité**

Le granit est une roche dense, ce qui lui donne une sensation de solidité et de robustesse. Cette propriété le rend résistant à l'usure, aux impacts et aux pressions [15].

### ▪ Variété de couleurs

Le granit est disponible dans une large gamme de couleurs, allant du blanc au noir, en passant par le rose, le gris et le jaune. Cette variété de couleurs permet aux architectes et aux designers de choisir le granit qui convient le mieux à leur projet [15].

### ➤ Les propriétés chimiques du granite :

Le granit possède une composition chimique complexe et variée. Sa composition chimique varie en fonction de sa formation géologique. Cette composition en minéraux confère au granit sa résistance à l'acidité et sa durabilité. Voici quelques-unes de ses propriétés chimiques les plus importantes [15].

### ▪ Composition en minéraux

Le granit est principalement composé de trois minéraux : le feldspath, le quartz et le mica. Les proportions de ces minéraux peuvent varier en fonction de la formation géologique de la roche. Les différents types de granit sont ainsi classés en fonction de leur composition minérale [15].



(a)



(b)



(c)

**Figure II. 10 :** Les minéraux présents dans le granite, (a) Le quartz, (b) Les feldspaths, (c) Les micas.

### ▪ Réaction à l'acidité

Le granit est résistant à l'acide en raison de sa composition en minéraux. Il peut résister à des produits de nettoyage acides tels que le vinaigre et le jus de citron. Cependant, il est important de noter que certaines pierres de granit peuvent contenir des minéraux qui sont plus sensibles à l'acidité. Il est donc important de tester la résistance du granit avant de l'utiliser dans des projets qui pourraient être exposés à des produits acides [15].

### ➤ Les propriétés thermiques du granite :

Le granit est une roche qui possède de nombreuses propriétés thermiques, voici quelques-unes des plus importantes [15].

### ▪ Conductivité thermique

Le granit est un matériau qui conduit très bien la chaleur. Sa conductivité thermique est élevée, ce qui le rend très utile dans les projets de construction nécessitant une régulation thermique. Le granit peut ainsi être utilisé dans la construction de cheminées, de plans de travail de cuisine, ou encore de dalles de sol pour une régulation thermique efficace [15].

### ▪ **Résistance à la chaleur**

Le granit est également très résistant à la chaleur. Il peut supporter des températures élevées sans se déformer, ni se fissurer. Cette propriété en fait un matériau de choix pour les projets de construction nécessitant une résistance à la chaleur, tels que les revêtements de cheminées ou les plans de travail de cuisine [15].

### ▪ **Dilatation thermique**

Le granit a une faible dilatation thermique, ce qui signifie qu'il ne se dilate pas beaucoup lorsqu'il est exposé à des températures élevées. Cette propriété est importante dans les projets de construction où des matériaux de différents types sont utilisés ensemble. Le granit peut ainsi être utilisé pour des joints de dilatation afin d'éviter les fissures causées par la dilatation thermique [15].

## II.6. Les différents types de granites

Le granit se décline en différents modèles grâce à son large panel de couleurs, mais il garde la même composition. Par conséquent, les critères de choix qui différencient les différents granites, sont l'utilisation, la couleur et les motifs naturellement présents sur la pierre. Du côté des couleurs, le granit peut être rouge, orange, jaune, bleu, gris, noir, blanc, rose, vert et violet. Généralement, il mélange plusieurs couleurs, ce qui lui permet d'obtenir des designs uniques ! En effet, les granites arborent des motifs particuliers formés naturellement, ils sont uniques pour chaque morceau de roche. Vous retrouvez :

- Les veines
- Les microfissures
- Les tâches
- Et les inclusions

Ensuite, le granite se décline en différents matériaux. Vous retrouvez par exemple des dalles en granite, du carrelage en granite, des plans de travail en granite ou encore pour la réalisation de décorations intérieures comme les figurines ou les statuettes. Évidemment, chaque utilisation diffère, par conséquent, il faut choisir un granite adapté pour cela [16].

## II.7 Influence des déchets de granite sur les propriétés des matériaux cimentaires

### II.7.1. Influence à l'état frais

#### ✓ Maniabilité

Peem Nuaklong et al. [29] Ont étudié l'effet de déchet de granite sur la maniabilité de béton, Ils ont rapporté que plus le pourcentage de déchets de granite augmente plus la maniabilité est augmenté.

Houria Hebhou et al. [11] Ont étudié l'influence de substitution du (25%,50%,75% et 100%) du sable par la poudre de granite sur l'ouvrabilité du béton. Ils ont constaté que l'affaissement est diminué en fonction d'augmentation du pourcentage de granite jusqu'à 75%.

Naamaoui et al. [24] ont trouvé que l'étalement d'un BAP est augmenté en fonction d'augmentation du pourcentage de poudre de granite.

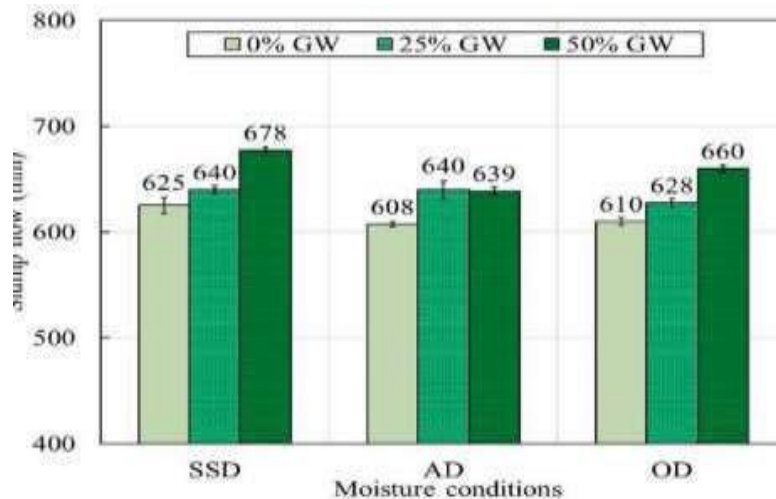


Figure II. 11: La maniabilité de béton à base de déchets de granite [29].

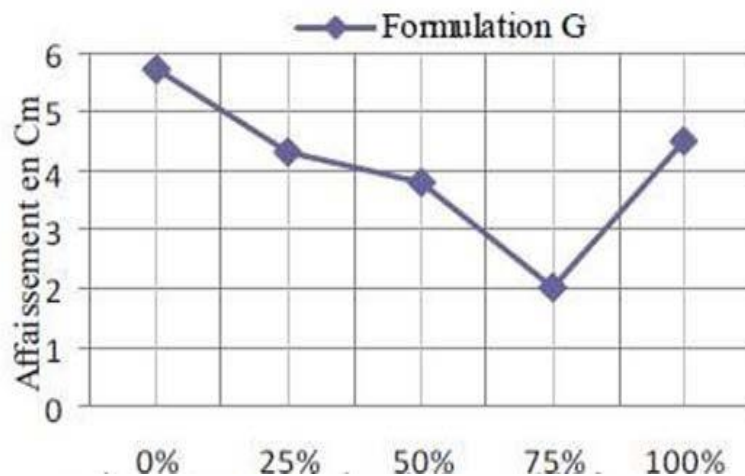
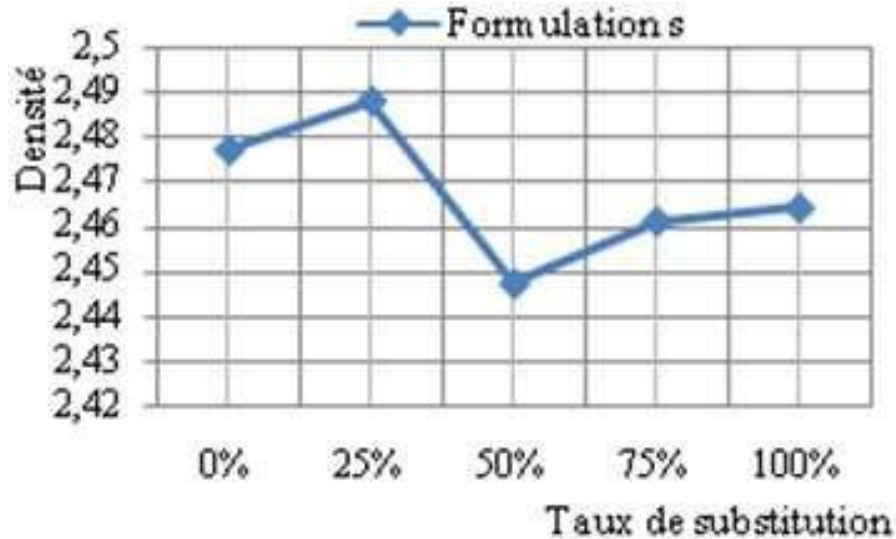


Figure II. 12 : L'affaissement au cône d'Abrams en fonction de pourcentage de substitution de granite [11].

### ✓ Densité

**Houria Hebhou et al. [11]** Ont étudié l'influence de substitution du (25%,50%,75% et 100%) sable par le granite sur la densité du béton vibré. Ils ont trouvé que la densité est diminuée en fonction d'augmentation du pourcentage de granite. C'est mêmes résultats trouvés par **Naamaoui et al [24]**.



*Figure II. 13 : Variation de la densité en fonction du taux de substitution à poudre de granite [11].*

### ✓ L'air Occlus

**Houria Hebhou et al. [11]** Ont montrés d'après leur étude que l'air occlue du béton ordinaire est diminué en fonction de substitution du (25%,50%,75% et 100%) du sable par la poudre de granite.

**Naamaoui et al. [24]** ont montrés d'après leur recherche que l'air occlue de béton autoplaçant est diminué aussi avec l'augmentation du % de granite.

## II.7.2. Influence à l'état durci

### ✓ La résistance à la compression

La figure II.14 présente les résultats des tests de résistance à la compression pour divers mélanges de béton géo polymère. La résistance à la compression sur 7 jours variait entre 15,2 et 22,1 MPa. Les résultats présentés que la force du jeune âge augmentait avec l'augmentation de la teneur en déchets de granite. Le béton géo polymère avec les déchets de granite dans une proportion de 50% des granulats fins avaient la compression de 7 jours résistance d'environ 27 à 40 % supérieure à celle du béton de sable naturel. Cela peut être attribué à l'amélioration du lien physique entre la pâte de géo polymère et les particules de granit de forme angulaire [29].

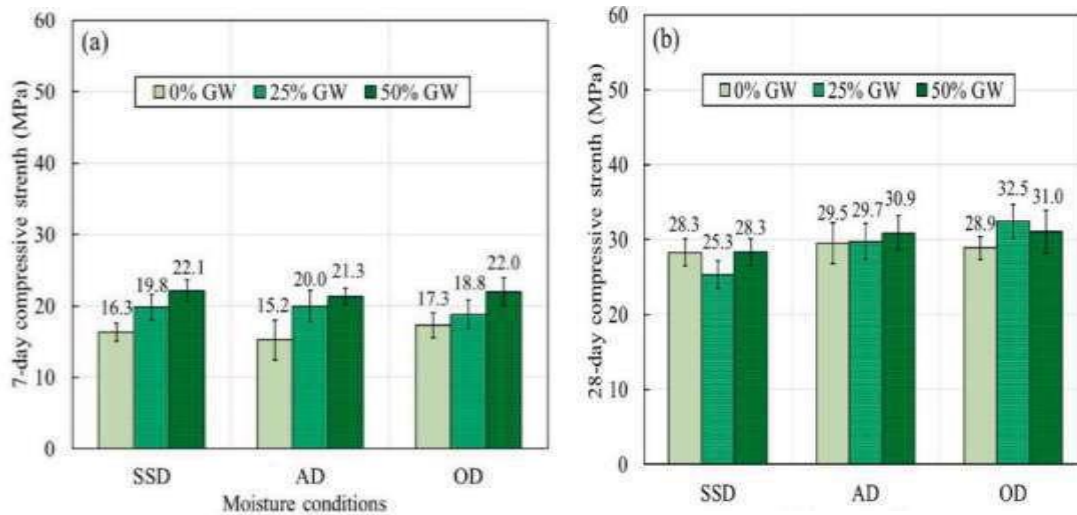


Figure II. 14 : La résistance à la compression de béton à base de déchets de granite avec (a) 7 jours, (b) 28 jours [29].

Houria Hebhou et al. [11] ont trouvé que la résistance à la compression est augmentée en fonction de substitution de 50% du sable par la poudre de granite. La valeur maximale de la résistance à 28 jours est de 34,5 MPa obtenue dans le béton de 50% de taux de substitution et la valeur minimale est de 21,4 MPa obtenue dans le béton de 100% de taux de substitution.

Naamaoui et al. [24] ont conclu que la résistance à la compression augmente au fur et à mesure que l'âge augmente et elle diminue avec l'augmentation du pourcentage de poudre de granite incorporé. Pour un pourcentage de 30% de poudre de granite incorporé la résistance à la compression du béton représente près de 81% de la résistance du BAP avec 5% de poudre de granite.



Figure II. 15 : Influence du pourcentage de poudre de granite sur la résistance en compression [24].

Taylor et al. [23] ont montré que les résistances en compression de béton avec ajout de poudre de granite de granulométrie très serrée sont augmentées en fonction d'augmentation.

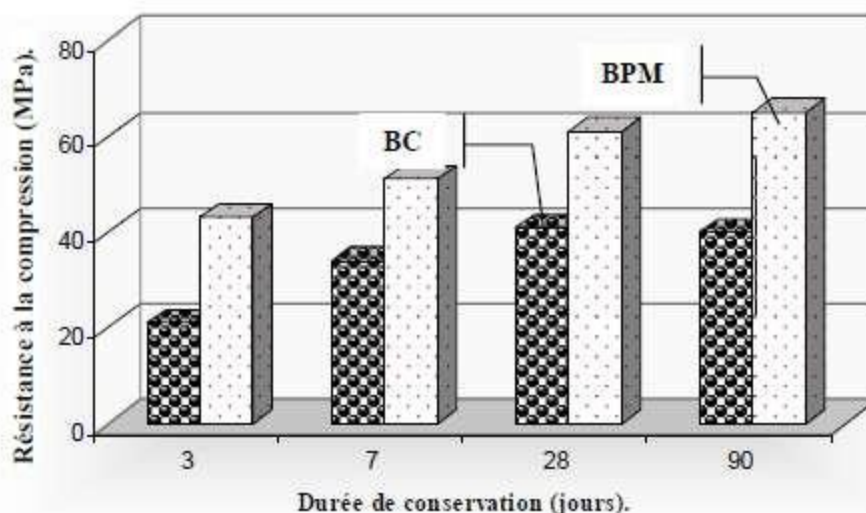


Figure II. 16 : Résistances en compression de béton avec ajout de poudre de granite [23].

## II.8. Présentation de l'entreprise TAMSTONES

### II.8.1. Localisation

L'usine TAMSTONES est située en Algérie, dans la commune de Sidi Ali Benyoub, wilaya de Sidi Bel Abbès, plus précisément dans la zone appelée Montagne de Karaoula, sur la route de Chetouane.

Coordonnées géographiques :

- Latitude : 34.94556° Nord
- Longitude : 0.71944° Ouest

### II.8.2. Données administratives

- **Forme juridique** : Société par Action (SPA)
- **Tel** : 048770317/0561987484/0655514391
- **Fax** : 048771301
- **E-mail** : info@tamstones.com
- **Site web** : www.tamstones.com
- **Adresse du siège** : Bloc K10, Cité Makam Chahid, Sidi Bel Abbès 22000, Algérie
- **Activité** : Extraction et transformation de pierres naturelles, notamment le marbre, le granit, l'ardoise et l'onix.
- **Superficie totale** : Environ 7 hectares

### II.8.3. Historique

La société TAMSTONES a été créée en 2012 dans le but de valoriser les ressources naturelles de l'Algérie, notamment les pierres ornementales comme le marbre, le granit, l'onix et l'ardoise. La société est entrée en production, début avril 2019, après une phase d'essais

techniques de deux mois. Elle est la plus grande unité de transformation du marbre et du granite en Afrique et parmi les cinq plus grandes au monde.

### II.8.4. La capacité de production

La capacité de production installée est de 6500 m<sup>2</sup> par jour, entre marbre et granite et ses installations sont dotés d'équipements ultramodernes capables de mettre sur le marché un produit de qualité supérieure, au niveau des meilleures unités de transformation existantes au-delà des frontières. Les produits finis issus de cette unité sont des plaques polies de 2 et 3 cm aux dalles de 1 cm d'épaisseur.

### II.8.5. Processus de fabrication

#### 1. Extraction des blocs :

Provenance : Carrières situées à Tlemcen, Ghazaouet, Saïda et Tamanrasset.

Matériaux extraits : Marbre, granite, ardoise et onyx.

2. **Stockage des blocs** : Dotée d'une surface de stockage de matière première de plus de 3.000 m<sup>2</sup>, l'entreprise a en permanence un stock varié de plus de 9.000 t de blocs de différentes qualités.
3. **Sciage des blocs** : La section de sciage est équipée de trois châssis de 80 lames capable de produire près de 1.000 m<sup>2</sup>/ jour.
4. **Coupe des tranches** : La section de coupe est actuellement équipée de machines de dernière génération, avec une capacité de production de 500 m<sup>2</sup>/jour.
5. **Polissage** : Cette section divisée en deux zones à une capacité installée par jour de  $\cong$  600m<sup>2</sup> en tranche et 400m<sup>2</sup> en produit fini (dimensions variables).
6. **Finition** : Section capable de donner des différents types de finition dans le produit fini (arrondi ; chanfrein ; moulures diverses, etc....)
7. **Contrôle qualité** : Conformité aux normes ISO 9001:2015.
8. **Emballage et expédition** : Préparation des produits finis pour la distribution nationale et l'exportation.

### **II.9. Conclusion**

L'utilisation des fines de déchets de marbre et de granite dans le mortier autoplaçant a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche à travers le monde. De manière générale, on observe une forte variation des valeurs des propriétés du mortier fabriqué à partir de ces fines, notamment en ce qui concerne les résistances mécaniques et l'influence du taux de substitution sur ses propriétés mécaniques.

Sur la base de ces résultats, il devient plus clair qu'il est nécessaire de tracer un plan expérimental pour évaluer les propriétés du mortier autoplaçant à base de déchets de marbre et de granite.

**Chapitre III**

**Matériaux et méthodes**

**d'essai**

### III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous intéressons d'abord à la caractérisation des matériaux utilisés dans différentes compositions de mélanges, puis nous continuons à décrire les méthodes de préparation des mortiers autoplaçants. Enfin, des essais relatifs au mortier à l'état frais et à l'état durci sont réalisés.

### III.2 Matériaux utilisés :

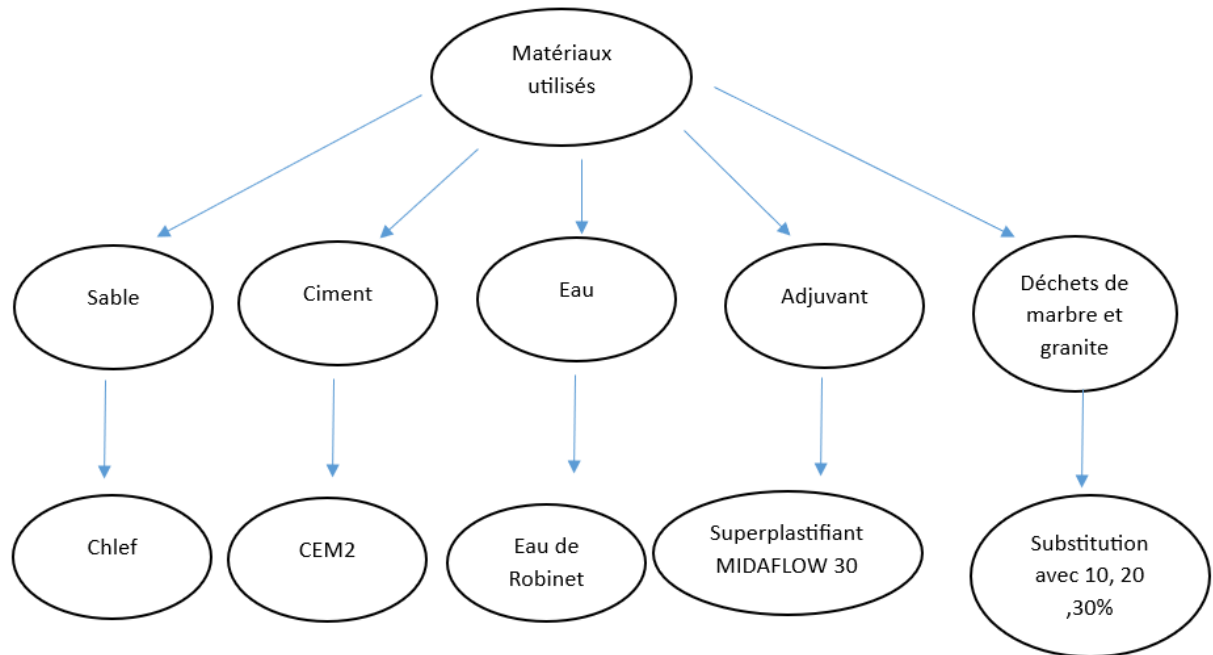


Figure III. 1 : Matériaux utilisées

#### III.2.1 Ciment :

Le ciment utilisé dans notre travail de recherche est le ciment GICA de type CEM II 42,5, provenant de la cimenterie de Zahana, située dans la wilaya de Mascara, voir Figure III.2.



Figure III. 2 : Sac de Ciment

Le tableau suivant présente les compositions chimique et minéralogique du ce ciment.

## Chapitre III : Matériaux et méthode d'essai

**Tableau III. 1 : Caractéristiques chimiques et minéralogique du ciment utilisé**

Composition chimiques (%)							
CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	LOI	NA <sub>2</sub> O+0.658 K <sub>2</sub> O
65	4.59	2.85	1.68	16.60	2.5	4.5	0.8
Composition minéralogiques (%)							
C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaOL			
60	21	10	11	< 2			

### III.2.2 Sable naturel :

Le sable utilisé est un sable de Chlef, de granularité 0/4.



*Figure III. 3 : Sable naturel*

### III.2.3 Eau de Gâchage :

L'eau utilisée pour le gâchage de mortier est l'eau du robinet du laboratoire.

**Tableau III. 2 : Composition minérale de l'eau de gâchage**

Echantillon	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	Résidus secs à 180 °C	PH
<b>Concentration (MG/l)</b>	53	6.6	5.8	0.5	11	9	168	2	160	7.3

### III.2.4 Superplastifiant :

Pour la présente étude, le superplastifiant utilisé est un superplastifiant haut réducteur d'eau appelé MEDAFLOW 30, voir figure III.4.



Figure III. 4 : Le super-plastifiant (SP) utilisé.

Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés rhéologiques du béton frais et ne présente pas d'effet retardataire. Le tableau III.3 présente quelques caractéristiques de ce produit.

Tableau III. 3 : Caractéristiques physico-chimiques du superplastifiant (Medaflo 30).

Aspect	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec	Dosage
Liquide	Brun clair	6-6,5	1,81 ± 0,01	≤ 1 g/l	30 %	0,5 % à 2 % en Masse de poudre

### III.2.5 Déchets

Plusieurs ajouts peuvent être utilisés comme substituts dans le mortier autoplaçant. Dans le cadre de ce travail, deux types de déchets ont été étudiés :

- Les déchets de granite



Figure III. 5 : Les fines provenant des déchets de granite

- Les déchets de marbre



*Figure III. 6 : Les fines provenant des déchets de marbre*

Après leur collecte, ces déchets ont été d'abord concassés à l'aide d'un concasseur à mâchoires, permettant d'obtenir un matériau sous forme de granulats. Ils ont ensuite été broyés à l'aide d'un broyeur afin d'être transformés en poudre fine. Cette dernière a été tamisée à l'aide d'un tamis de 80 microns, présentant une finesse comparable à celle du ciment utilisé.



**TAMSTONES**  
TRANSFORMATION DE LA PIERRE  
GRANITE TAM BLACK

www.tamstones.com

CHEMICAL ANALYSIS	
SiO <sub>2</sub>	75,61 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,90 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (total)	2,07 %
CaO	1,89 %
MgO	0,18 %
S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01 %
K <sub>2</sub> O	4,42 %
Na <sub>2</sub> O	2,37 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03 %
TiO <sub>2</sub>	0,17 %
PF	0,36 %

**DESCRIPTION :**  
Black background stone with wavy veins of clear crystals.

**ORIGIN :**  
This stone is natural from the Tamanrasset region in the extreme south of Algeria.

**RECOMMENDED USAGE :**  
Exterior and Interior.

**PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS :**

- Apparent density - 2 655 kg/m<sup>3</sup>
- Water absorption at atmospheric pressure - 0,22 %
- Open porosity - 0,74 %
- Abrasion resistance - 16,2 mm
- Flexural resistance - 13,2 Mpa
- Compressive resistance - 111,6 Mpa

spa TAMSTONES  
Cité Makam Chahid 164 Logts. Bâtiment K10, Cote B3 Etage N° 8  
Sidi-Bel-Abbès 22000, Algérie.  
Service commercial : + 213 (0) 561 675 322  
E-mail : info@tamstones.com / Site web : www.tamstones.com



*Figure III. 7 : La fiche technique de granite*

**TAMSTONES**  
TRANSFORMATION DE LA PIERRE  
MARBLE YELLOW GHAZAOUET

www.tamstones.com

**CHEMICAL ANALYSIS**

SiO2	3,82 %
Al2O3	0,35 %
Fe2O3 (total)	0,87 %
CaO	52,57 %
MgO	0,37 %
S03	0,01 %
K2O	0,01 %
Na2O	0,11 %
P2O5	0,03 %
TiO2	0,02 %
PF	41,85 %

**DESCRIPTION :**  
Yellow background stone with light yellow nuances and small crystallizations of a pure white.

**ORIGIN :**  
This stone is natural of the region of Ghazaouet in the extreme west of Algeria.

**RECOMMENDED USAGE :**  
Interior.

**PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS :**

- Apparent density - 2 574 kg/m<sup>3</sup>
- Water absorption at atmospheric pressure - 1,64 %
- Open porosity - 4,58 %
- Abrasion resistance - 24,6 mm
- Flexural resistance - 11,5 Mpa
- Compressive resistance - 98,7 Mpa

**spa TAMSTONES**  
Cité Makam Chahid 164 Logts. Bâtiment K10, Cote B3 Étage N° 8  
Sidi-Bel-Abbès 22000, Algérie.  
Service commercial : + 213 (0) 561 675 322  
E-mail : info@tamstones.com / Site web : www.tamstones.com

Figure III. 8 : La fiche technique de marbre

### III.3 Essais réalisés :

#### III.3.1 Essais sur les granulats utilisés :

##### III.3.1.1 Analyse granulométrique :

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

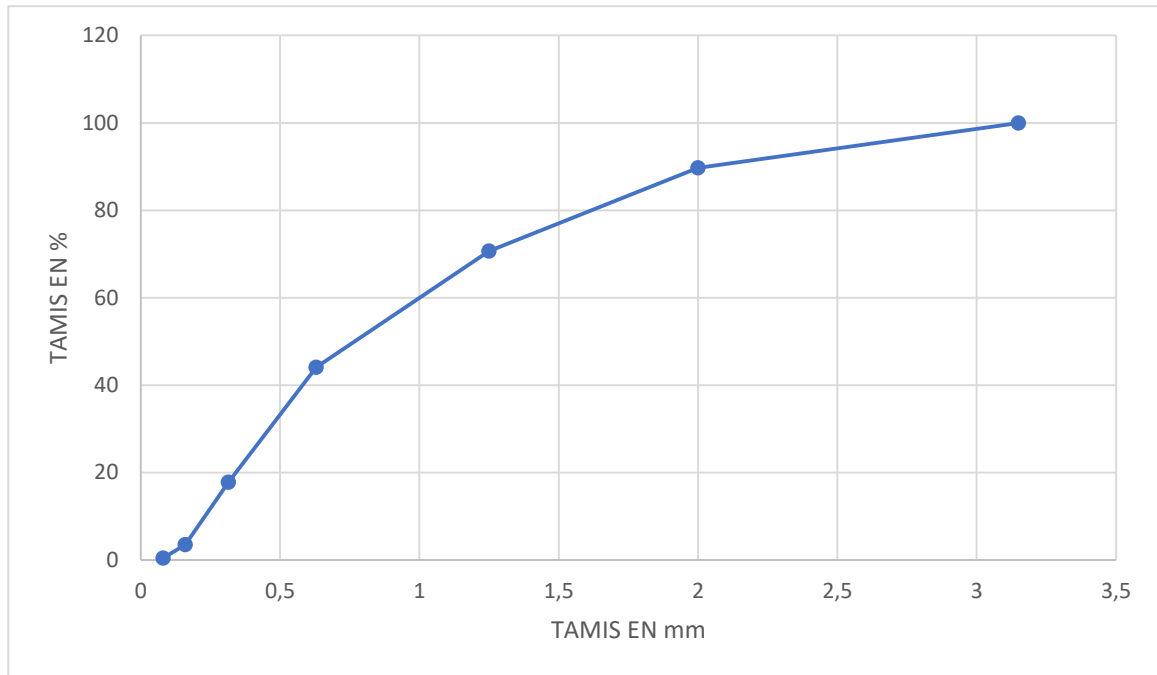


*Figure III. 9 : Appareil de l'analyse granulométrique*

Selon la norme indiquée, les résultats obtenus sont représentés dans le (Tableau III.4) suivant : que  $M = 2\text{kg}$

*Tableau III. 4 : Analyse granulométrique du sable (sable de Chlef)*

Ouvertures des Tamis $\phi$ (mm)	Refus Partiel $R=(g)$	Refus Cumule $R_c=(g)$	Refus Cumule $R_c=(\%)$	Tamisât Cumule $T_c=(\%)$
5	0	0	0	0
3,15	1 g	1 g	0,05	99,95
2.5	2059	206	10,3	89,7
1,25	3819	587	29,35	70,65
0,63	5329	1119	55,95	44,05
0,315	5269	1645	82,25	17,75
0,16	2859	1930	96,5	3,5
0,08	61	1991	99,55	0,45
fond	59	1996	99,80	0,2



*Figure III. 10 : Courbe granulométrique du sable de Chlef.*

### III.3.1.2 Module de finesse du sable :

Le caractère plus ou moins d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse  $M_f$  celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité pour les tamis d'ouverture (0.16 /0.315/ 0.63/1.25 /2.5 /5 mm) sur 100 ce paramètre est en particulier utilisé dans les calculs de compositions des bétons.  $M_f = \sum R_c / 100$   $R_c$  : Refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient le  $M_f$  des sables comme suit :

- $1.8 < M_f < 2.2$  : sable un peu trop fin : est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- $2.2 < M_f < 2.8$  : sable préférentiel : convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- $2.8 < M_f < 3.3$  : sable est un peu grossier : correspond à des sables à utiliser pour la recherche de résistance élevées, mais on aura en général une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation.

**Pour le sable de Chlef :  $M_f=2,74$  ;  $2,2 < M_f < 2,8$  → C'est un sable préférentiel**

#### ✓ La masse volumique du sable

##### ✓ Masse volumique apparente

Mode opératoire :

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardise de capacité 2 à 2,5 litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide 1 M.
- On place le récipient sous l'entonnoir a une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M2 ce poids.
- Volume de récipient  $V_e = 1000$  ml

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M2 - M1)}{V_e}$$

##### ✓ La masse volumique absolue

Mode opératoire :

- On détermine la masse volumique réelle (absolue) du sable à l'aide d'un récipient d'une capacité de 1000 ml.
- On prend un échantillon de masse 300 g.
- On place l'échantillon dans le récipient de 1000 ml, puis on y ajoute 200 ml d'eau préalablement préparée dans un deuxième récipient gradué.
- On mélange soigneusement le contenu afin d'éliminer l'air présent. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable-eau, noté (V).
- Puisque le volume d'eau ajouté ( $V_e$ ) est de 200 ml, il devient facile de déterminer le volume occupé par le sable seul. Le volume du sable est :  $V1 = V - 200$  (ml).

La masse volumique réelle du sable est calculée selon la formule :

$$\rho_s = M / V1,$$

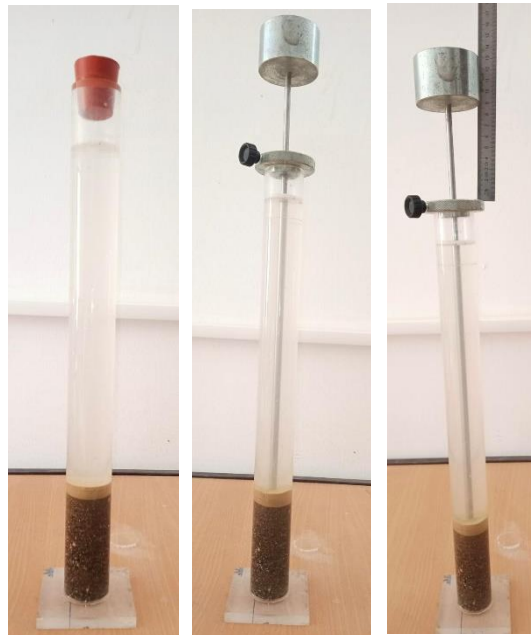
**Tableau III. 5 :** Résultats de la masse volumique apparente et de la masse volumique absolue

<b>M<sub>v</sub> app</b>	1,65
<b>M<sub>v</sub> abs</b>	2,54

### III.3.3 Equivalent de sable

#### But de l'essai

Cet essai permet d'évaluer l'état de propreté d'un sable. Il est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Selon la norme européenne **EN 933-8** globalement, il rend compte de la quantité et de la qualité des éléments fins présents dans le sable, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent comme montre la figure III.11.



**Figure III. 11 :** Principe de l'essai d'équivalent de sable

#### Mode opératoire

- Remplir l'éprouvette d'une solution lavante, de l'eau principalement, jusqu'au premier repère (10 cm).
- 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 favoriser le mouillage de l'échantillon.

### Chapitre III : Matériaux et méthode d'essai

- Laisse reposer pendant 10 min.
- Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de secousses horizontales en 30s à la main ou à l'aide de l'agitateur mécanique.
- Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec la solution lavante au-dessus de 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,
- Mesurer une première fois, la hauteur de sable propre seulement ( $h'2$ ) et la hauteur du Sable propre y compris le floculat (élément fins) ( $h1$ ).
- Mesurer ensuite, la hauteur du sable plus précisément avec le piston taré ( $h2$ )
- L'équivalent de sable visuel ( $E_{sv}$ ) se définit donc par l'équation :

$$E_{sv} = \left(\frac{h'2}{h1}\right) 100\%$$

- L'équivalent de sable par piston ( $E_{sp}$ ) se définit donc par l'équation :

$$E_{sp} = \left(\frac{h2}{h1}\right) 100\%$$

**Tableau III. 6 : Résultats de l'équivalent de sables**

$E_{sv}$	$E_{sp}$
89,11	87,12

La comparaison de nos résultats avec ceux présentés dans le tableau (III.6), permettant de classer l'état de propreté des sables, nous permet de considérer ce sable comme étant très propre. D'entraîne d'un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau.

*Tableau III. 7 : Qualité du sable en fonction des valeurs des équivalents de sable  $E_{sv}$  et  $E_{sp}$*

$E_{sv}$	$E_{sp}$	Nature et qualité du sable
$E_{sv} < 65$	$E_{sp} < 60$	<b>Sable argileux</b> : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
$65 < E_{sv} < 75$	$60 < E_{sp} < 70$	<b>Sable légèrement argileux</b> : de propreté admissible pou béton de qualité courante quant on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 < E_{sv} < 85$	$70 < E_{sp} < 80$	<b>Sable propre</b> : à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour le béton de haute qualité
$E_{sv} \geq 85$	$E_{sp} \geq 80$	<b>Sable tris propre</b> : l'absence presque totale de fines anglicises risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en cas.

### III.4 Formulations des mortiers :

Le mortier ou béton autoplaçant nécessite une viscosité élevée et une grande déformabilité. La formulation des mortiers autoplaçants est basée sur la méthode d'Okamura (2003). Un mortier autoplaçant de référence, utilisé comme témoin, a été préparé avec 100 % d'agrégats fins naturels. Les autres formulations ont remplacé le ciment par volume de 10 %, 20 % et 30 %, avec du marbre ou du granit. Le rapport eau/ciment (E/C) a été fixé à 0,38, et le dosage du superplastifiant a été maintenu à 0,7 %, en utilisant un cône de mesure pour obtenir un étalement compris entre 27 et 33 cm, et un temps d'écoulement au test en entonnoir en V entre 8 et 14 secondes pour tous les essais. Les différentes compositions des échantillons de mortier autoplaçant sont présentées dans le tableau III.8.

Le tableau suivant présente la quantité des matériaux utilisés dans le mélange :

*Tableau III. 8 : présente les quantités des matériaux utilisées dans chaque formulation.*

Nomination	Matériaux			Eau	SP
	Ciment	Granite ou marbre	SN		
0% Granite ou marbre	717,2	0	1318,8	269,02	0,7
10% Granite ou marbre	645,48	71,72	1318,8	269,02	0,7
20% Granite ou marbre	573,76	143,44	1318,8	269,02	0,7
30% Granite ou marbre	502,04	215,16	1318,8	269,02	0,7

### III.5 Séquence de malaxage du mortier

Pour la préparation du mortier, la séquence de malaxage illustrée dans la figure (III.12) suit les étapes suivantes :

- Malaxage à sec du ciment et du sable pendant une minute afin d'homogénéiser le mélange, à vitesse lente.
- Ajout de la première partie de l'eau (correspondant à 70 % de la quantité totale d'eau) pendant une minute, à vitesse lente.
- Ajout du reste de l'eau de gâchage (30 % de la quantité totale), préalablement mélangée avec le superplastifiant, pendant une minute, à vitesse lente.
- Malaxage du mélange à vitesse rapide pendant une minute.
- La même séquence de malaxage est utilisée pour toutes les formulations de mortier. Pour assurer une meilleure incorporation, et conformément à la séquence décrite dans le tableau (3.8), la poudre de marbre et la poudre de granite (sous forme fine) doivent être mélangées directement avec les granulats (ciment et sable). Leurs quantités ont été exprimées en pourcentage de la masse de ciment.



Figure III. 12 : Malaxeur électrique pour mortier

### III.6 Essai sur mortier

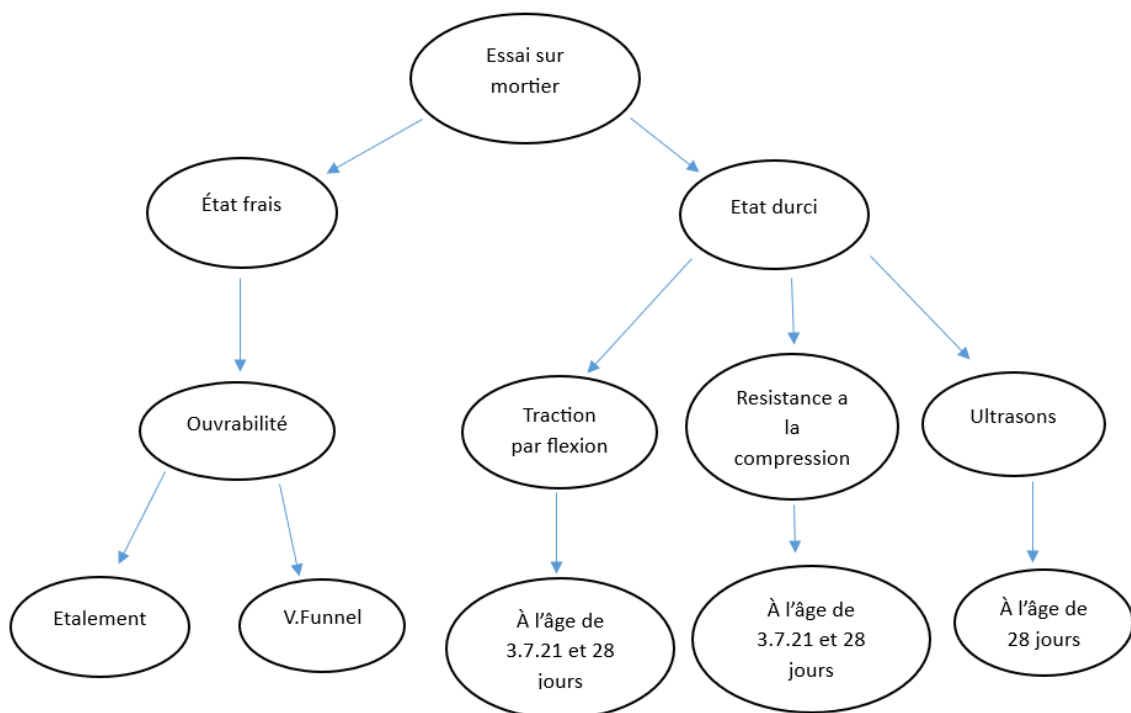


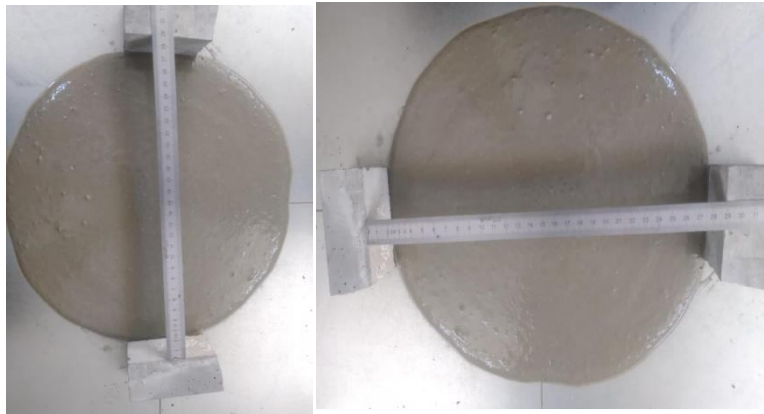
Figure III. 13 : Essai sur Mortier

### III.6.1 Essais sur le mortier à l'état frais

Dans cette étude, deux essais ont été effectués pour valider le caractère des mortiers Autoplaçant.

#### III.6.1.1 Essai d'étalement :

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique place sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulevé, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaires, la moyenne est retenue.



*Figure III. 14 : Essai d'étalement pour mortier*

#### III.6.1.2 Essai d'entonnoir en V (V-Funnel) :

L'essai de l'entonnoir en V (V-Funnel) consiste à remplir l'entonnoir de 1 Litre de mortier et mesurer le temps d'écoulement entre l'instant de l'ouverture de l'orifice de l'entonnoir et l'instant de l'apparition de la première lumière en regardant verticalement vers le bas de l'entonnoir.



*Figure III. 15 : Essai à l'entonnoir en V pour mortier*

### III.6.2 Essais sur le mortier à l'état durci

Pour cet essai, les éprouvettes sont confectionnées dans des moules prismatiques de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  et  $5 \times 10 \text{ cm}^2$  les moules sont d'abord nettoyés, puis un lubrifiant est étalé pour faciliter le démoulage, ensuite les moules sont remplis avec du mortier. Il faut que les moules soient bien arasés à l'aide d'une règle métallique.

Les moules sont conservés dans des endroits humides pendant 24h jusqu'au démoulage. Une fois démoulées, les éprouvettes sont conservées dans l'eau à une température de  $20^\circ\text{C}$  jusqu'à la date prévue de l'essai.



Figure III. 16 : Moule prismatique à mortiers

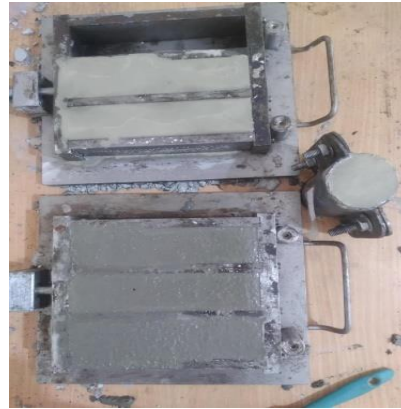


Figure III. 17 : Remplissage du moule.



Figure III. 18 : Des éprouvettes  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  et  $5 \times 10 \text{ cm}^2$

#### III.6.2.1 Résistance à la compression :

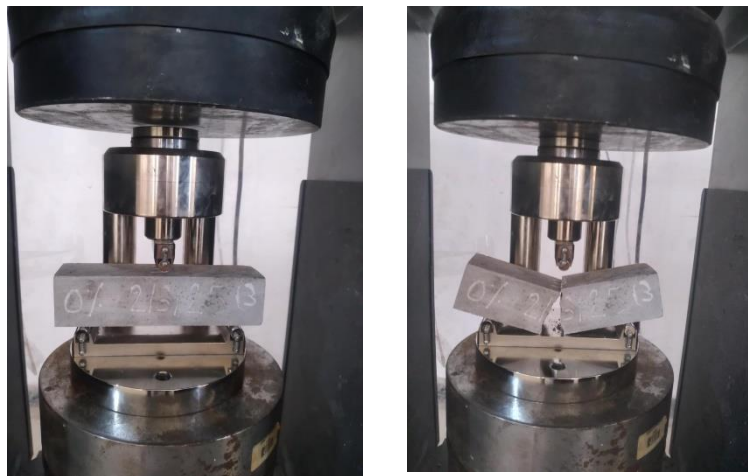
L'essai de compression est effectué sur les demi-éprouvettes provenant de l'essai de flexion, chaque demi prisme est testé en compression sur ses faces lisses de moulage sous une section  $40 \times 40 \text{ mm}^2$ , et ce grâce deux plaques de métal dur. Cet essai nous permet de déterminer la résistance à la rupture du mortier. Ces essais ont été effectués selon la norme **NF EN 196-1,2006**.



*Figure III. 19 : Essai du dispositif de compression simple.*

### III.6.2.2 Résistance à la traction par flexion :

L'essai de flexion en trois points permet de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau sous l'effet de la traction de manière indirecte. Cet essai est réalisé sur des éprouvettes de mortier placées sur deux appuis, tandis qu'un effort croissant est appliqué au point central supérieur jusqu'à la rupture. Conformément à la norme **NF EN 196-1,2006**.



*Figure III. 20 : Essai du dispositif de flexion simple.*

### III.6.2.3 Essais aux ultrasons

L'auscultation par ultrasons est une méthode non destructive utilisée, entre autres, pour évaluer l'homogénéité du mortier. Elle repose sur la mesure de la vitesse de propagation des ondes longitudinales (ondes de compression) à travers un élément en mortier, conformément aux normes **NF EN 12504-4** et **ASTM C597**.

Le principe de cette méthode consiste à mesurer le temps nécessaire à une onde pour parcourir une distance déterminée. Plusieurs facteurs influencent la relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasonores et la résistance à la compression, notamment :

L'âge du mortier,

Les conditions d'humidité,

Le rapport granulats/ciment,

La nature des granulats,

La présence de fissures.

Le contrôle par ultrasons permet ainsi de détecter les défauts internes d'une structure sans altérer son intégrité, et de porter un jugement sur la conformité des éléments réalisés.

Dans notre essai, nous avons utilisé l'appareil de contrôle ultrasonique, qui se compose, comme illustré dans la figure III.21, de :

- a. un testeur ultrasonique ;
- b. deux transducteurs (un émetteur et un récepteur) ;
- c. une barre d'étalonnage ;
- d. deux câbles de connexion ;
- e. un gel de contact ;
- f. une unité d'acquisition de données.



*Figure III. 21 : Appareil ultrason*

### III.7 Conclusion :

Dans notre travail, des matériaux locaux disponibles sur le marché algérien ont été utilisés pour la préparation du mortier autoplaçant notre objectif était de produire un mortier autoplaçant économique et respectueux de l'environnement. Pour atteindre cet objectif, une partie du ciment a été remplacée par la poudre de marbre et par la poudre de granite. Les essais réalisés sur ces deux poudres ont montré qu'il est possible de les utiliser comme additions minérales dans le mortier autoplaçant.

### **Chapitre III : Matériaux et méthode d'essai**

---

Pour formuler ce mortier, des essais préliminaires ont été effectués afin de déterminer la proportion de sable et le dosage optimal du superplastifiant. L'effet de la poudre de marbre et de la poudre de granite sur le comportement rhéologique du mortier a été étudié à travers l'essai d'étalement au mini-cône et l'essai d'écoulement au cône en V.

Par la suite, des essais ont été réalisés pour étudier l'influence de la poudre de marbre et de la poudre de granite sur les propriétés rhéologiques et physico-mécaniques du mortier autoplaçant.

# **Chapitre IV**

## **Résultats et discussions**

### IV.1. Introduction

Cette phase consiste une étude paramétrique sur le mortier autoplaçant. Dans le cadre de cette phase différents MAP sont réalisés et comparés à un MAP témoin sans déchets dans le but d'évaluer l'impact de poudre de marbre et poudre de granite sur plusieurs propriétés à l'état frais et durci du mortier. Les essais effectués lors de cette phase sont les essais sur mortier frais (étalement et vu-funnel) et les essais sur mortier durci (résistance à la compression, résistance à la traction et ultrasons).

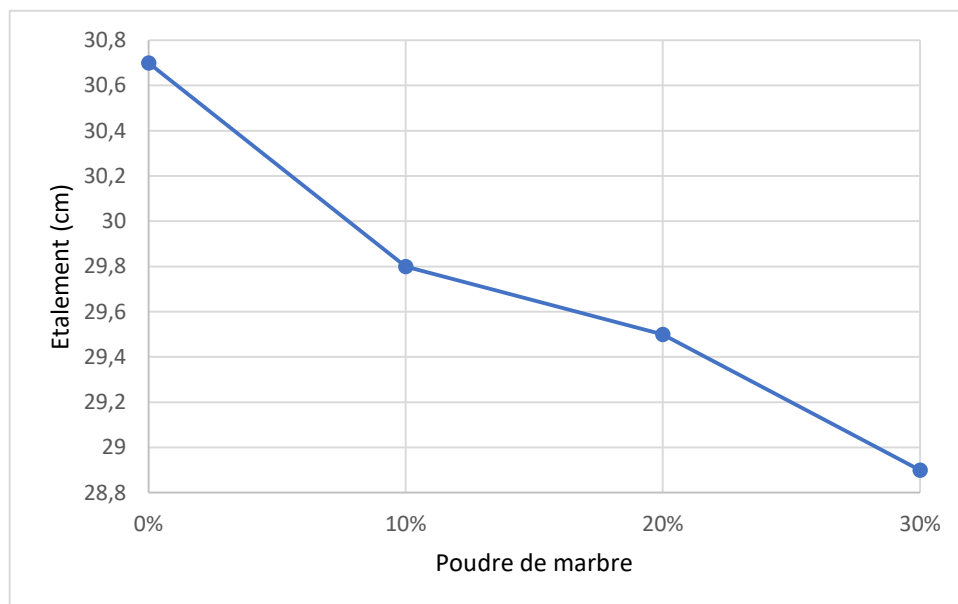
### IV.2. Influence de poudre de marbre sur le mortier autoplaçant

#### IV.2.1. A l'état frais

Pour obtenir un MAP à base de poudre de marbre tout en assurant la fluidité et la capacité de passage, les différents mélanges sont soumis à l'essai d'étalement au mini-cône et au temps d'écoulement par l'essai V-Funnel. En complément, l'essai de la masse volumique a également été réalisé afin d'évaluer la compacité et la densité des mortiers frais.

##### IV.2.1.1. Étalement

Pour ce travail un diamètre d'étalement situé entre 27 cm et 33 cm est pris en compte pour toutes les familles de MAP réalisés. Les résultats d'étalement sont présentés sur la Figure IV.1 suivante qui permet de comparer les valeurs d'étalement entre eux.



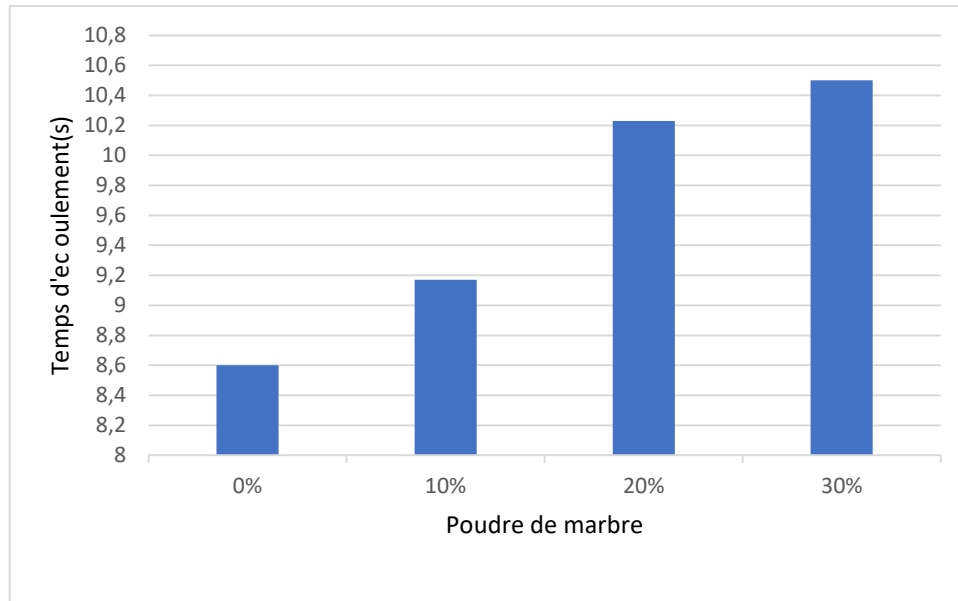
**Figure IV. 1** : Étalement des différents MAP réalisés en fonction de la teneur de la poudre de marbre.

D'après la figure IV.1 précédente, on constate que la fluidité du mortier autoplaçant diminue légèrement avec l'augmentation des pourcentages de poudre de marbre, tout en restant

dans les valeurs acceptables (entre 27 et 33 cm). Cela montre que le remplacement partiel par la poudre de marbre conserve une bonne capacité d'écoulement et reste adapté à ce type de mortier.

### IV.2.1.2. Temps d'écoulement à travers le V-Funnel

L'essai à l'Entonnoir en V (V-Funnel test) a été également réalisé pour évaluer la fluidité et la stabilité du MAP. Les résultats sont présentés sur la Figure IV.2.

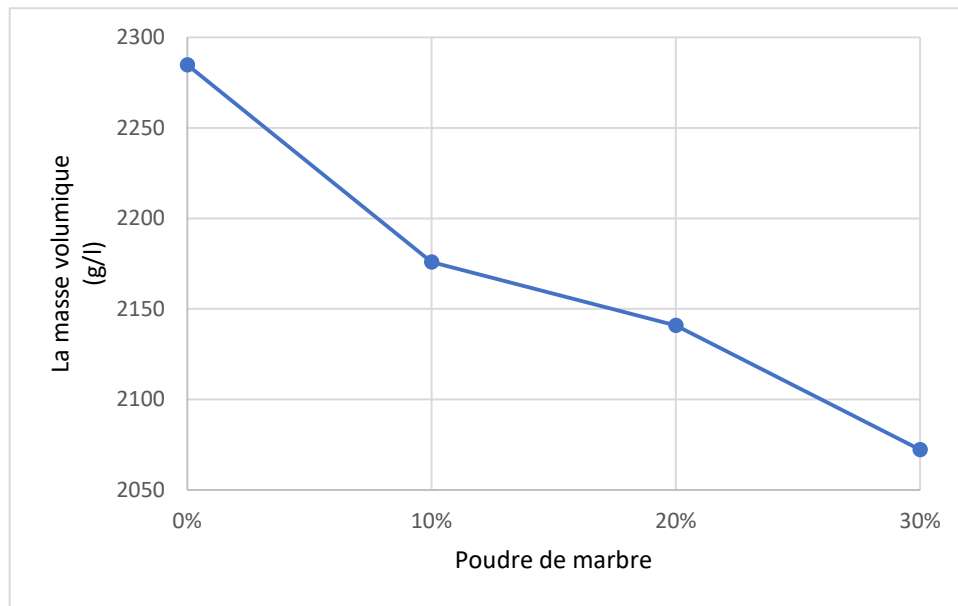


*Figure IV. 2 : Temps d'écoulement des différents MAP réalisés en fonction de la teneur de la poudre de marbre.*

A travers la figure IV.2 précédente, on observe que le temps d'écoulement du mortier autoplaçant augmente légèrement avec l'élévation du pourcentage de poudre de marbre, tout en restant dans les valeurs acceptables (8 et 14s) pour garantir une bonne performance. Cela indique que la substitution partielle par la poudre de marbre n'affecte pas significativement la capacité d'écoulement.

### IV.2.1.3. La masse volumique

La masse volumique constitue un indicateur fondamental permettant d'évaluer la nature du mortier à l'état frais, en reflétant la compacité et la densité globale du mélange. Dans ce cadre, cet essai a été réalisé sur l'ensemble des formulations de MAP préparées, comme illustré dans la figure IV.3 ci-dessous.



*Figure IV. 3 : La masse volumique des différents MAP réalisés en fonction de la teneur de la poudre de marbre.*

Selon les résultats représentés dans la figure IV.3, on observe une diminution progressive de la masse volumique du mortier autoplaçant avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par la poudre de marbre. La formulation de référence (0 %) présente la masse volumique la plus élevée, tandis que la réduction observée à 10 % reste légère et non préoccupante. En revanche, la baisse devient plus marquée à des taux plus élevés, comme 20 % et 30 %. Cette diminution peut s'expliquer par la densité plus faible de la poudre de marbre par rapport au ciment, ainsi que par une possible augmentation de la porosité dans le mélange. Une substitution excessive pourrait ainsi nuire à la compacité du mortier.

### IV.2.2. A l'état durci

Afin d'évaluer les propriétés du MAP à base de poudre de marbre à l'état durci, plusieurs essais ont été réalisés, notamment l'essai de résistance à la compression, l'essai de traction par flexion et l'essai par ultrasons. Les essais de compression et de traction ont été effectués à différents âges, allant de 3 jours à 28 jours, afin de suivre l'évolution des performances mécaniques du matériau.

#### IV.2.2.1 Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression des différents MAP réalisés en fonction de l'âge et le pourcentage de substitution en poudre de marbre sont présentés dans les Figures IV.4 et IV.5 suivantes.

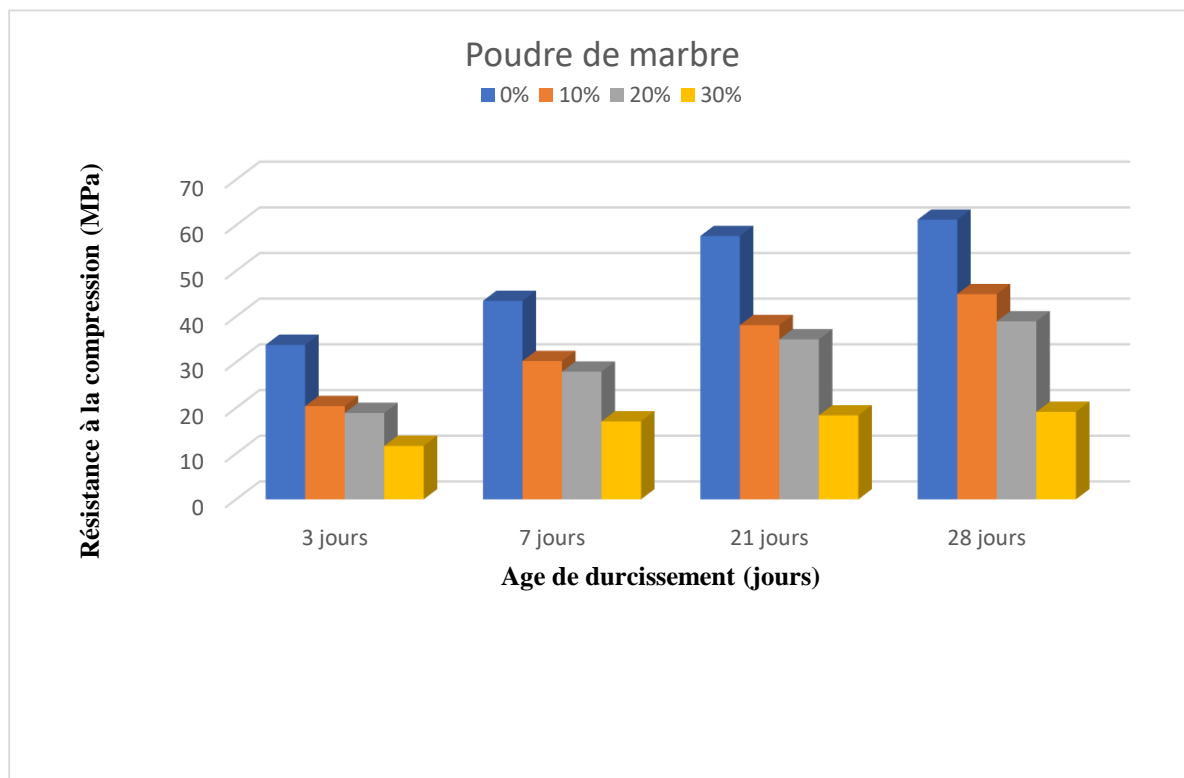


Figure IV. 4 : Résistance à la compression des différents MAP réalisés en fonction d'âge de durcissement et la teneur en poudre de marbre.

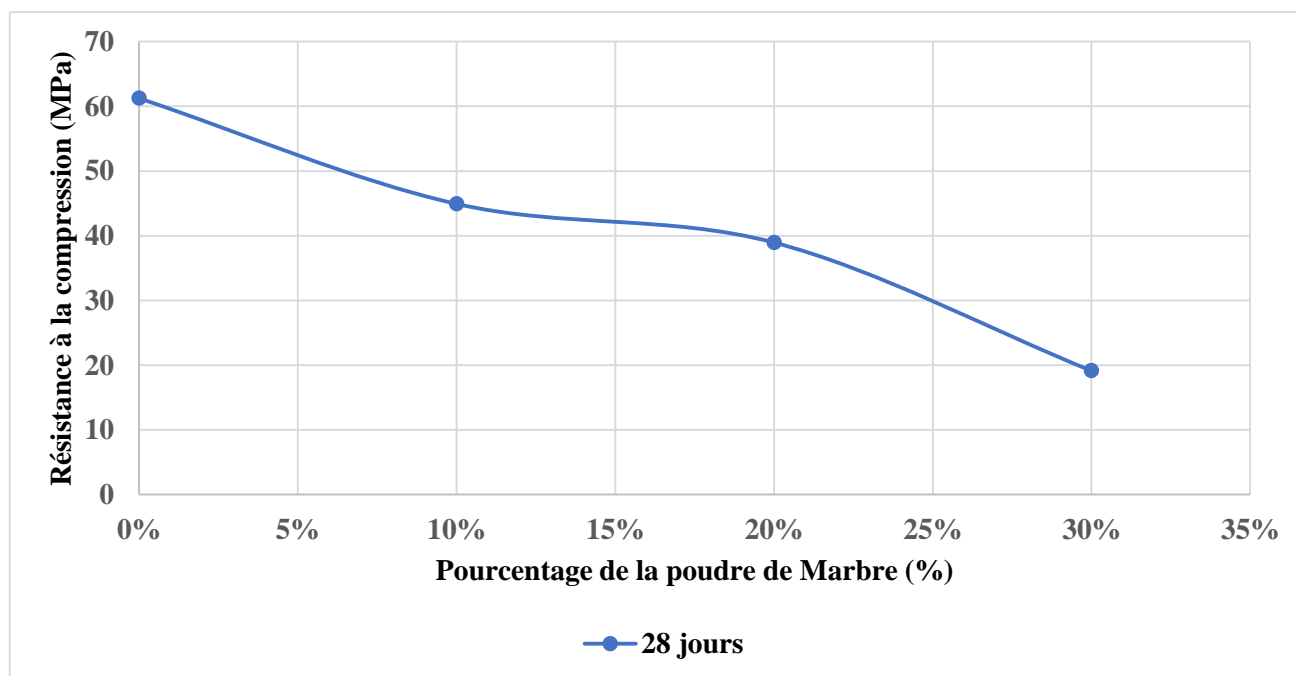


Figure IV. 5: Résistance à la compression des différents MAP réalisés en fonction de la teneur en poudre de marbre à 28j.

À travers les figures IV.4 et IV.5 précédentes, on observe qu'un remplacement de 10 % par la poudre de marbre entraîne une légère diminution de la résistance, tout en restant dans les limites acceptables. Cela indique que ce taux de substitution n'affecte pas négativement les performances du mortier autoplaçant. Ce résultat est particulièrement intéressant et prometteur, car il permet de produire un mortier autoplaçant cimentaire avec une quantité réduite de ciment, tout en maintenant de bonnes propriétés mécaniques, ce qui représente un avantage économique non négligeable.

À 3 jours, le mortier contenant 10 % de poudre de marbre présente déjà une résistance correcte, traduisant une bonne réactivité dès le jeune âge.

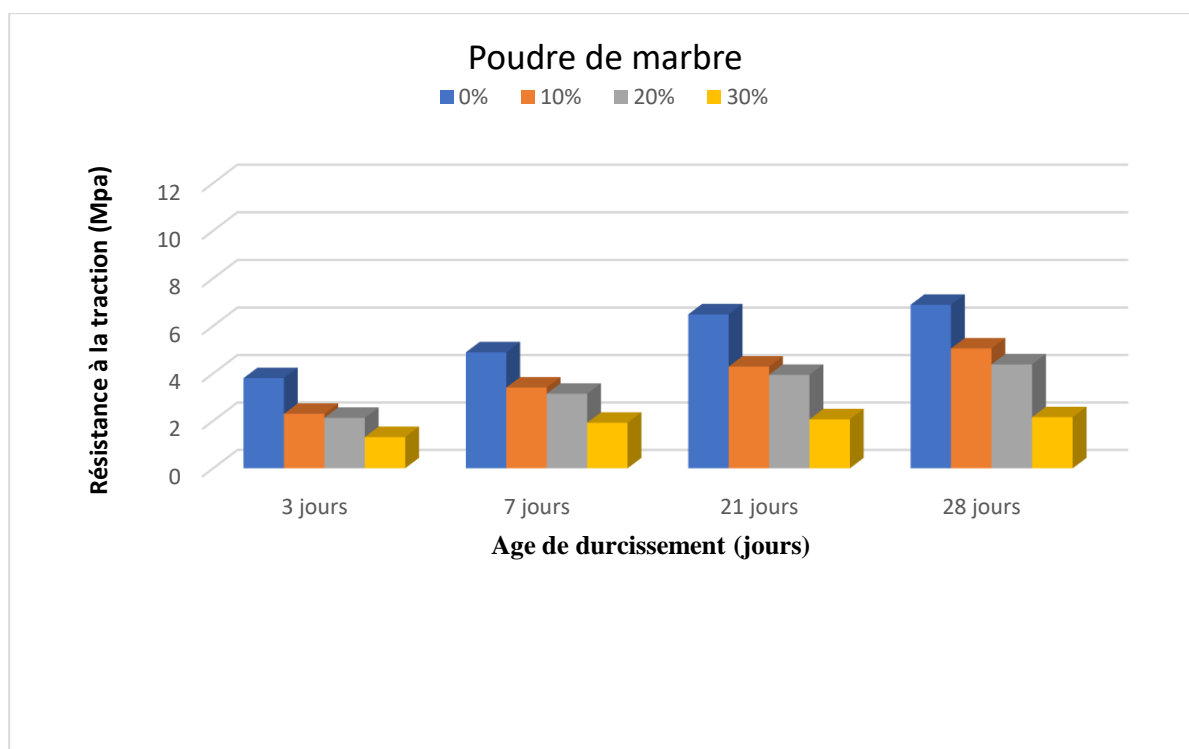
À 7 et 21 jours, cette tendance se maintient, avec une évolution progressive de la résistance, comparable à celle du mortier de référence.

À 28 jours, le mortier modifié atteint un niveau de performance satisfaisant, confirmant que cette substitution partielle n'entrave pas le développement des propriétés mécaniques à long terme.

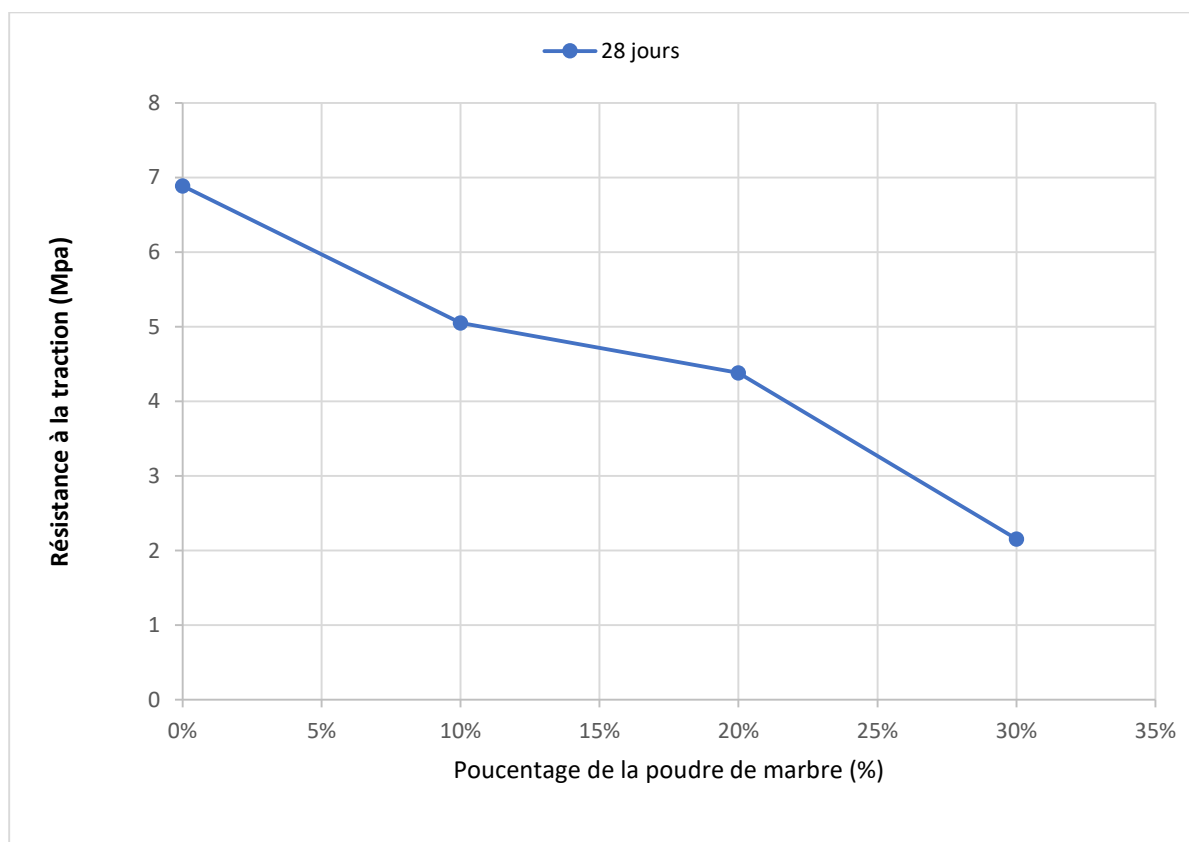
En revanche, pour des taux de remplacement de 20 % et 30 %, une baisse significative de la résistance est observée à tous les âges, soulignant un impact négatif croissant avec l'augmentation de la teneur en poudre de marbre.

### **IV.2.2.2. Résistance à la traction**

L'essai de traction permet d'évaluer la capacité du mortier autoplaçant à résister aux efforts de tension, ce qui constitue un indicateur clé de ses performances mécaniques. Dans ce cadre, les résultats obtenus en fonction de l'âge et des taux de substitution du ciment par la poudre de marbre sont présentés dans les Figures IV.6 et IV.7 suivantes.



*Figure IV. 6: Résistance à la traction des différents MAP réalisés en fonction d'âge de durcissement et la teneur en poudre de marbre.*



*Figure IV. 7 : Résistance à la traction des différents MAP réalisés en fonction de la teneur en poudre de marbre à 28j.*

A travers les figures IV.6 et IV.7, on remarque que la poudre de marbre montre un effet clair du taux d'ajout sur le comportement mécanique à différents âges de durcissement.

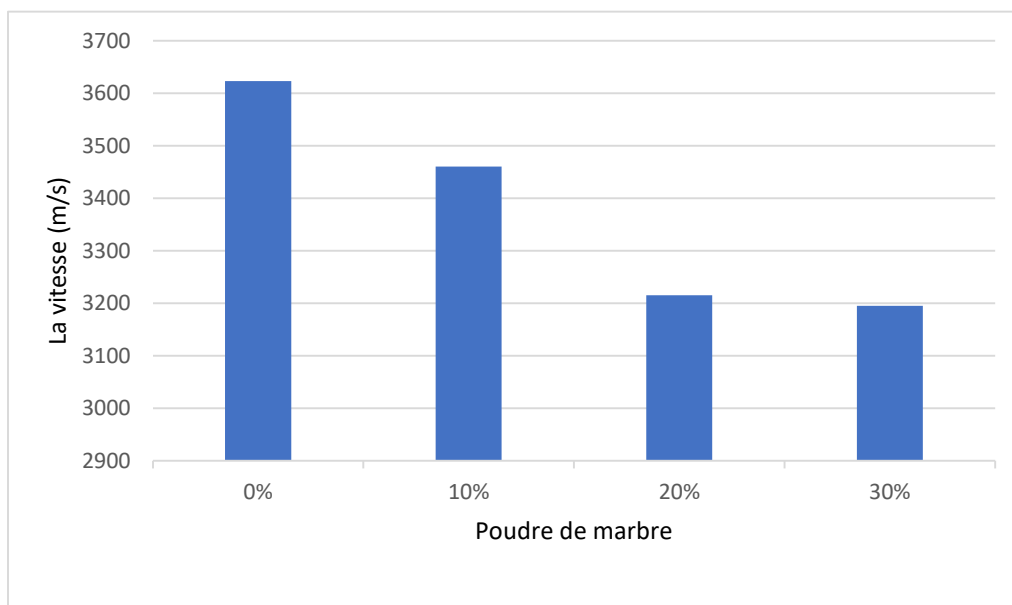
À 3 jours, le mélange de référence (0%) présente la résistance la plus élevée, tandis que celle-ci diminue de manière significative avec l'augmentation du pourcentage de poudre de marbre, atteignant son minimum à 30%. Cette tendance se poursuit aux âges de 7, 21 et 28 jours, où le mélange sans ajout reste le plus performant en termes de résistance à la traction. Les autres mélanges montrent une amélioration progressive au fil du temps, sans toutefois atteindre le niveau du mélange de référence.

À 28 jours, les écarts entre les formules demeurent marqués, avec des performances relativement acceptables pour les dosages de 10% et 20%, tandis que le mélange à 30% affiche les résultats les plus faibles.

On peut en conclure qu'un ajout de poudre de marbre supérieur à 10% affecte négativement la résistance à la traction, ce qui impose un équilibre entre les avantages environnementaux et économiques de l'utilisation de cet ajout, et les exigences de performance mécanique du mortier autoplaçant.

### IV.2.2.3. Ultrasonique

Les résultats de l'essai d'ultrasonique des différents mortiers réalisés sont résumés dans la Figure IV.8 suivante.



**Figure IV. 8 :** Vitesse des ondes ultrasonores des différents MAP réalisés en fonction de la teneur de la poudre de marbre.

D'après la figure IV.8 précédente, on constate une diminution progressive de la vitesse de propagation avec l'augmentation du pourcentage de substitution par la poudre de marbre. Le

mélange de référence sans ajout présente de bons indicateurs en termes d'homogénéité et de densité. À 10 %, les performances restent acceptables avec une structure interne cohérente. En revanche, aux taux de 20 % et 30 %, une baisse notable de l'homogénéité est constatée, ce qui peut indiquer une augmentation de la porosité ou une faiblesse dans la cohésion interne. Il en ressort que la substitution partielle par la poudre de marbre est efficace à faibles pourcentages, tandis que les taux plus élevés sont susceptibles d'altérer la qualité structurale du mortier.

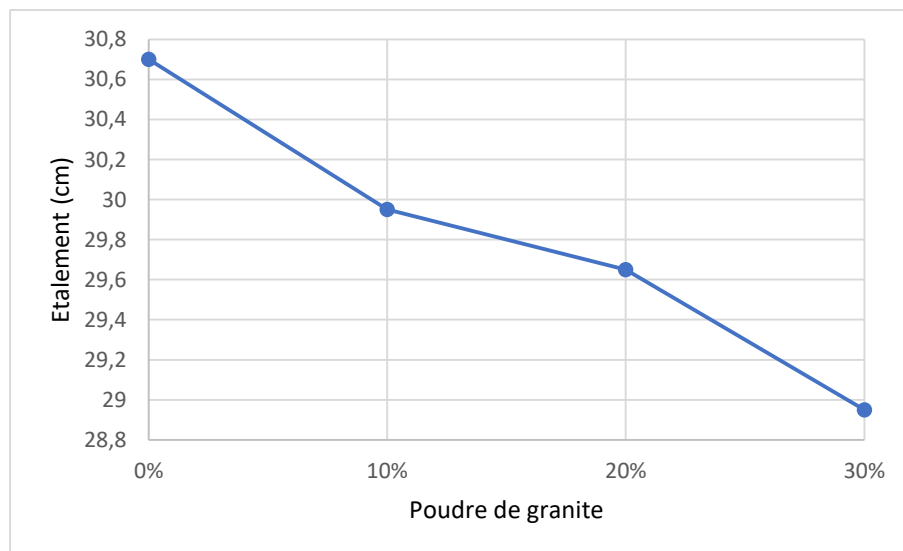
### IV.3. Influence de poudre de granite sur le mortier autoplaçant

#### IV.3.1. A l'état frais

Dans le but de formuler un MAP à base de poudre de granite, tout en garantissant une bonne fluidité et une aptitude au passage, plusieurs compositions ont été testées. La performance à l'état frais a été évaluée à l'aide de l'essai d'étalement au mini-cône ainsi que du temps d'écoulement mesuré par le test V-Funnel.

##### IV.3.1.1. Etalement

Les résultats d'étalement sont présentés sur la Figure IV.9 suivante qui permet de comparer les valeurs d'étalement entre eux.

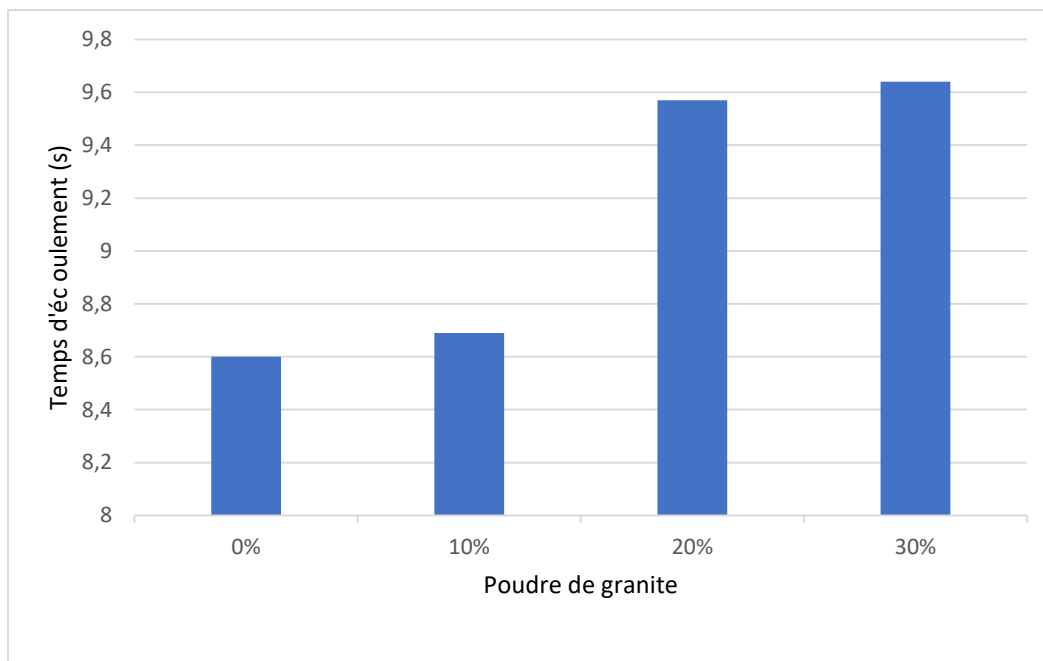


**Figure IV. 9:** Étalement des différents MAP réalisés en fonction de la teneur de la poudre de granite.

Selon les résultats présentés dans la figure IV .9, on observe une légère diminution de la fluidité du mortier autoplaçant avec l'augmentation des taux de poudre de granit. Toutefois, les valeurs mesurées restent globalement dans l'intervalle recommandé, ce qui indique que l'ajout progressif de poudre de granite n'affecte pas de manière significative l'aptitude à l'écoulement du mélange. Ainsi, le granite en tant que filler peut être intégré dans la formulation sans compromettre les exigences de mise en œuvre d'un mortier autoplaçant.

### IV.3.1.2. Temps d'écoulement à travers le V-Funnel

L'essai V-Funnel a été effectué afin d'évaluer le temps d'écoulement du mortier autoplaçant contenant de la poudre de granite. Les résultats obtenus sont présentés dans la Figure IV.10.

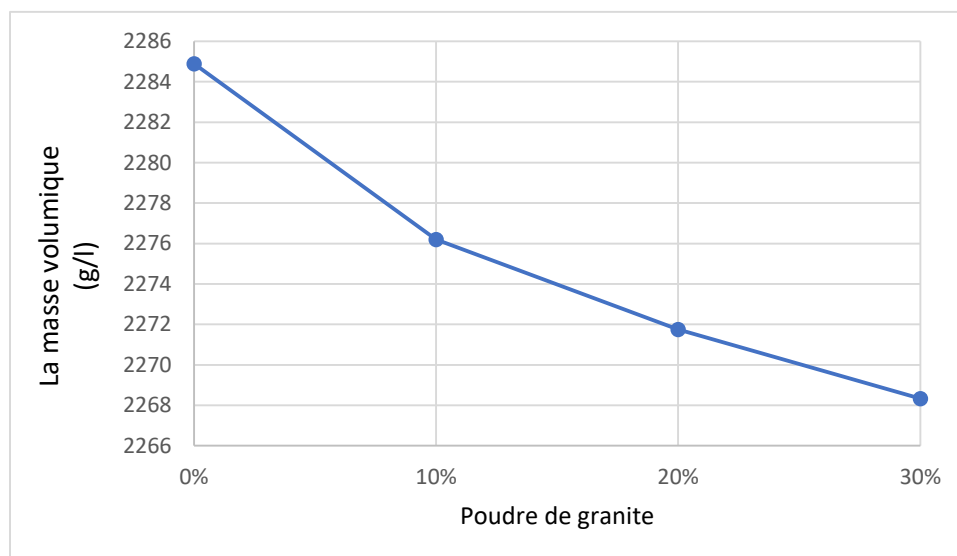


*Figure IV. 10 : Temps d'écoulement des différents MAP réalisés en fonction de la teneur de la poudre de granite.*

Comme illustre la figure IV.10, le temps d'écoulement du mortier autoplaçant montre une tendance légère à l'augmentation avec l'ajout de poudre de granite. Cependant, les valeurs enregistrées demeurent dans les limites recommandées, ce qui assure une bonne maniabilité du mortier. Cela suggère que l'utilisation partielle de la poudre de granite n'altère pas de manière significative la fluidité du mélange.

### IV.3.1.3. La masse volumique

Les valeurs des masses volumiques des différents mélanges de MAP réalisés sont montrées dans la figure IV.11 suivante :



*Figure IV. 11 : La masse volumique des différents MAP réalisés en fonction de la teneur de la poudre de granite.*

D'après les résultats représentés dans la figure IV.11, on observe une diminution progressive de la masse volumique du mortier autoplçant avec l'augmentation des pourcentages de substitution du ciment par la poudre de granite. Cependant, cette baisse reste relativement faible, notamment entre 0 % et 10 %, ce qui indique que l'incorporation de petites quantités de poudre de granite n'affecte pas significativement la densité du mélange. Néanmoins, une diminution continue est enregistrée au fur et à mesure que le taux de substitution augmente, ce qui s'explique par la densité plus faible de la poudre de granite comparée à celle du ciment remplacé. Ainsi, Une substitution excessive pourrait ainsi nuire à la compacité du mortier.

### IV.3.2. A l'état durci

Pour évaluer les propriétés du mortier autoplçant à base de poudre de granit à l'état durci, plusieurs essais ont été réalisés, notamment l'essai de résistance à la compression, l'essai de traction par flexion et l'essai par ultrasons, afin de suivre l'évolution des performances mécaniques du matériau. Comme fait précédemment avec la poudre de marbre.

#### IV.3.2.1 Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression des différents MAP réalisés en fonction de l'âge et le pourcentage de substitution en poudre de granite sont présentés dans les Figures IV.12 et IV.13 suivantes.

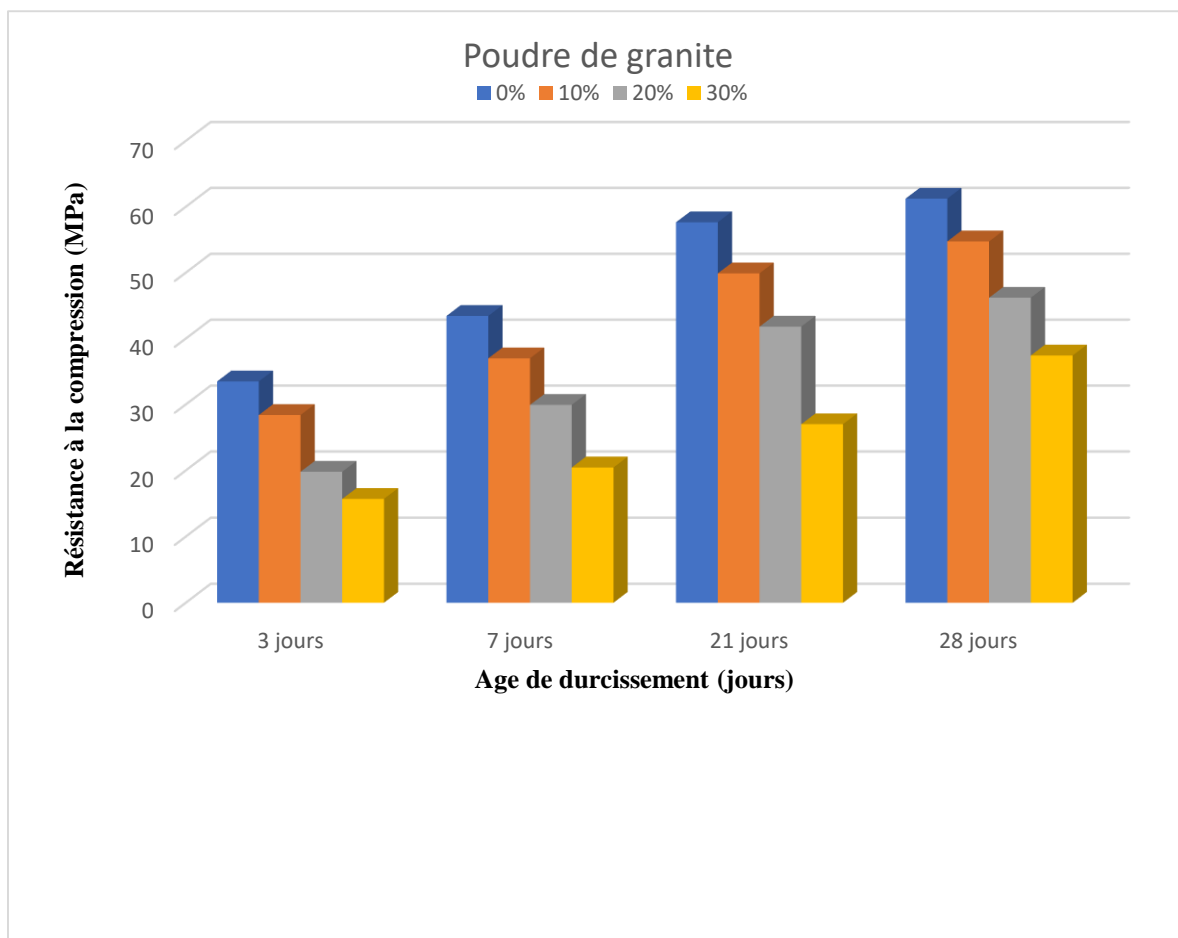


Figure IV. 12 : Résistance à la compression des différents MAP réalisés en fonction d'âge de durcissement et la teneur en poudre de granite.

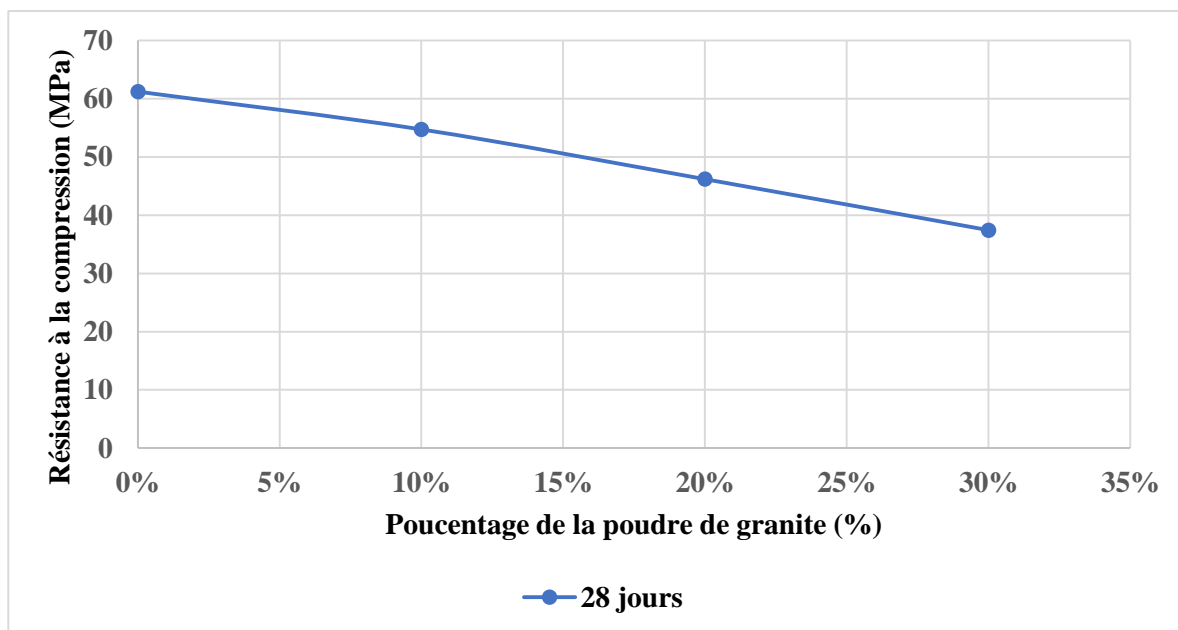


Figure IV. 13 : Résistance à la compression des différents MAP réalisés en fonction de la teneur en poudre de granite à 28j.

Des figures IV.12 et IV.13, on constate clairement une augmentation progressive de la résistance avec le temps pour toutes les formulations, ce qui est cohérent avec le processus normal d'hydratation du ciment.

À 3 jours, la formulation témoin (0 %) montre déjà une résistance nettement supérieure par rapport aux autres, tandis que celle contenant 10 % de poudre de granite présente des performances intéressantes, relativement proches de la référence.

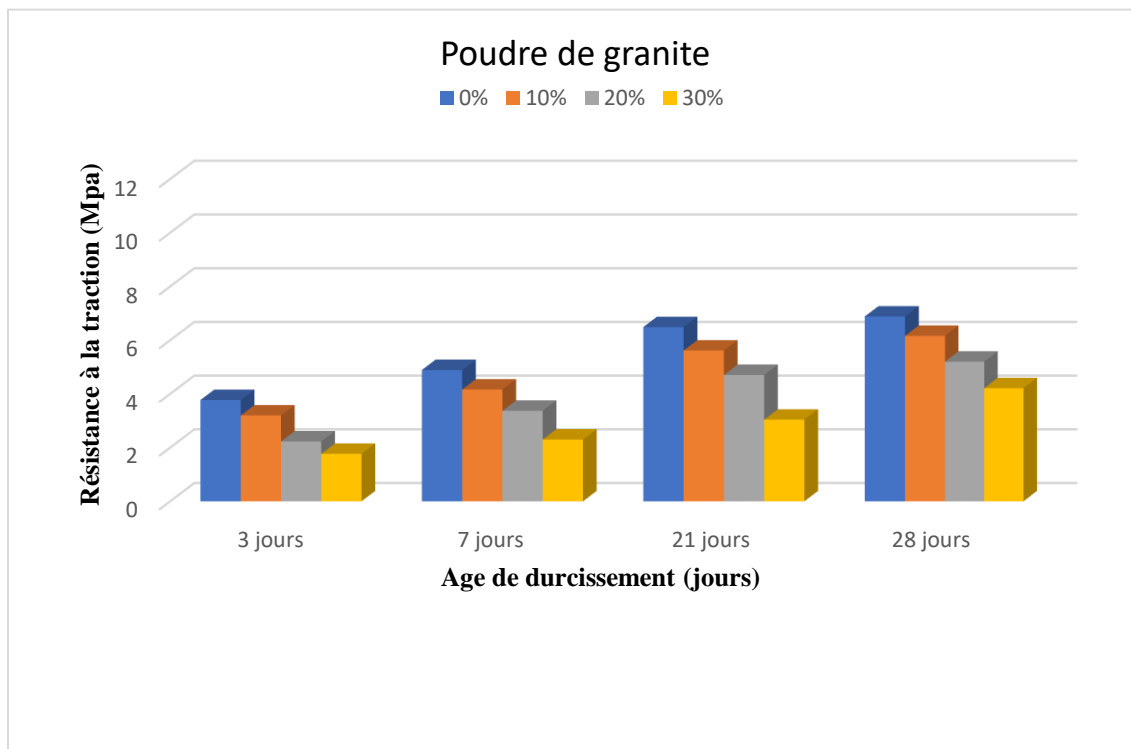
À 7 et 21 jours, cette tendance se poursuit, avec une progression continue des résistances, bien que l'écart entre la formulation de référence et celles modifiées reste visible, notamment pour des taux de substitution plus élevés.

À 28 jours, les résultats confirment la supériorité de la formulation témoin, mais montrent également que l'ajout de 10 % de poudre de granite permet de conserver des propriétés mécaniques acceptables.

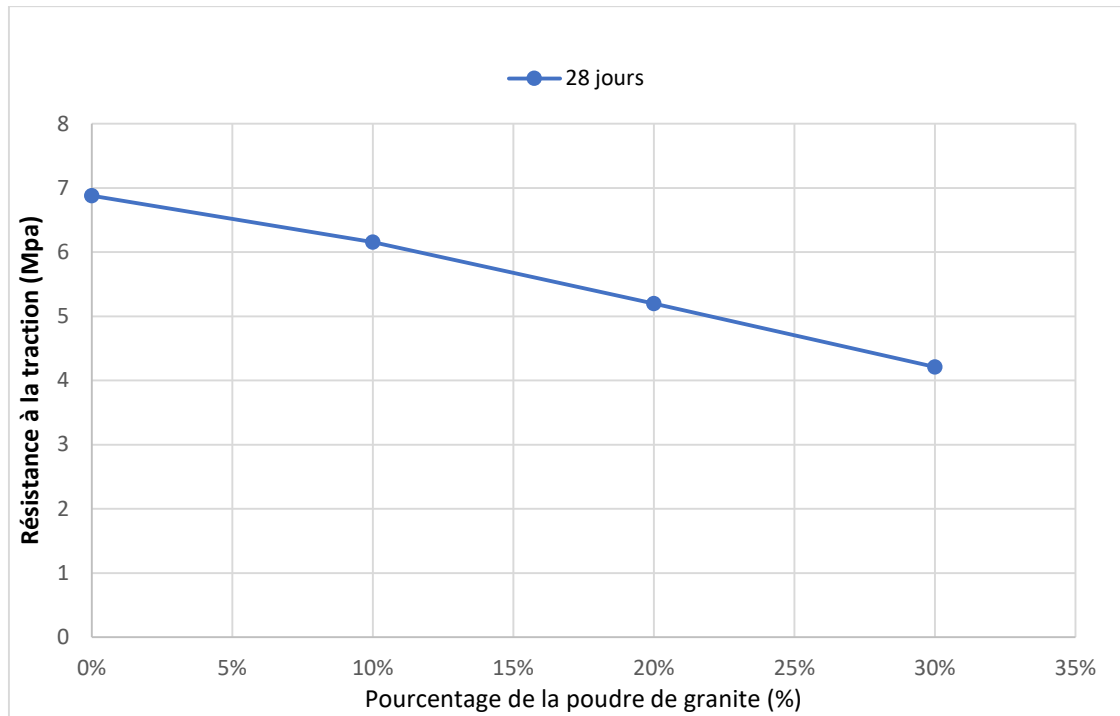
Ces résultats indiquent qu'une substitution partielle modérée n'affecte pas fortement les performances, à condition de ne pas dépasser un certain seuil critique.

### IV.3.2.2. Résistance à la traction

Les résultats de la résistance à la traction des différents MAP réalisés en fonction de l'âge et le pourcentage de substitution en poudre de granite sont présentés dans les Figures IV.14 et IV.15 suivantes.



*Figure IV. 14 : Résistance à la traction des différents MAP réalisés en fonction d'âge de durcissement et la teneur en poudre de granite.*



**Figure IV. 15 :** Résistance à la traction des différents MAP réalisés en fonction de la teneur en poudre de granite à 28j.

La variation de la résistance à la traction du mortier autoplaçant contenant de la poudre de granite met en évidence l'influence notable des pourcentages d'ajout selon l'âge de durcissement.

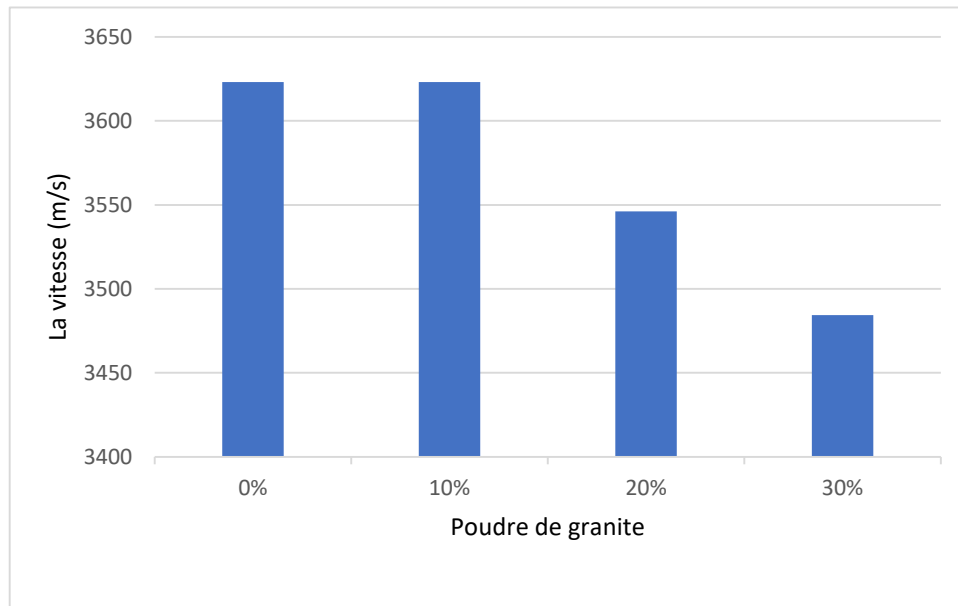
À 3 jours, le mélange de référence (0%) présente la résistance la plus élevée, tandis que la résistance diminue progressivement avec l'augmentation du pourcentage de poudre de granite, le mélange à 30% enregistrant les performances les plus faibles.

À 7 jours, une amélioration est observée dans tous les mélanges, tout en conservant le même ordre de performance. Cette tendance se poursuit à 21 et 28 jours, où le mélange sans ajout reste le plus performant, suivi des mélanges à 10%, puis 20%, tandis que le mélange à 30% demeure le moins performant.

Ces résultats permettent de conclure qu'une augmentation du pourcentage de poudre de granite affecte négativement la résistance à la traction, en particulier à des taux élevés, ce qui nécessite de bien contrôler la quantité ajoutée afin de trouver un équilibre entre les performances mécaniques et les considérations environnementales ou économiques.

### IV.3.2.3. Ultrasonique

Les résultats de l'essai d'ultrasonique des différents mortiers réalisés sont résumés dans la Figure IV.16 suivante.



*Figure IV. 16 : Vitesse des ondes ultrasonores des différents MAP réalisés en fonction de la teneur de la poudre de granite.*

D'après les résultats de l'essai par ultrasons illustrés dans la figure IV.16 il est clair que la vitesse diminue progressivement à mesure que la teneur en poudre de granite augmente. Les formulations à 0 % et 10 % présentent les vitesses les plus élevées, ce qui reflète une bonne densité et homogénéité du mortier autoplaçant. Ce résultat suggère qu'un remplacement du ciment jusqu'à 10 % par la poudre de granit est envisageable sans compromettre la compacité du matériau. En revanche, aux taux de 20 % et surtout 30 %, une baisse notable de la vitesse est observée, traduisant une augmentation probable de la porosité et une compacité réduite du mortier. Ces résultats confirment qu'un excès de substitution peut compromettre la qualité interne du matériau, affectant ainsi ses propriétés mécaniques et sa durabilité.

#### **IV.4. Conclusion**

À la lumière des résultats obtenus dans ce chapitre, on peut conclure que :

- La poudre de marbre et la poudre de granite donnent des bons résultats à l'état frais, avec une bonne ouvrabilité mesurée par l'étalement et le temps d'écoulement pour toutes les proportions testées.
- Une légère diminution de la masse volumique a été constatée à 10 % pour les deux poudres, sans impact négatif notable.
- À l'état durci, une baisse modérée des résistances mécaniques (compression et traction) a été enregistrée à partir de 10 %, mais elle reste faible et acceptable à ce taux.

## Chapitre : IV Résultats et discussions

---

- Les mesures par ultrasons indiquent une stabilité de la qualité interne du mortier pour les faibles taux d'incorporation, avec une légère dégradation au-delà de 10 %.
- Une substitution de 10 % du ciment par la poudre de granite ou de marbre peut donc être considérée comme un compromis technique satisfaisant, conciliant performances, durabilité et valorisation de déchets inertes, et peut être recommandée aux ingénieurs et praticiens du secteur de la construction.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Ce travail a été élaboré pour formuler des MAP à base de poudre de marbre et de granite et analyser leurs effets sur les propriétés physiques, mécaniques et durabilité sur les MAP. Les taux de substitution du ciment par la poudre de marbre ou de granite sont : 0 %, 10 %, 20 % et 30%. Les résultats obtenus lors de cette étude, nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

1. Il est possible donc de réaliser un MAP en substitution du ciment avec 10% de la poudre de marbre ou de granite.
2. La substitution du ciment par la poudre de marbre ou de granite offre une bonne ouvrabilité.
3. La substitution du ciment par la poudre de marbre ou de granite jusqu'à un taux de 10% donne des résultats de résistance à la compression comparable aux mortiers de référence. Une amélioration significative de la résistance à la compression a été observée à long terme.
4. La résistance à la traction reste satisfaisante à court et à long terme lors d'une substitution partielle de 10 % du ciment par de la poudre de marbre ou de granite.
5. Les mesures par ultrasons indiquent une stabilité de la qualité interne du mortier pour les faibles taux d'incorporation, avec une légère dégradation au-delà de 10 %.
6. Le MAP avec la substitution de 10 % du ciment par la poudre de marbre ou de granite peut être considéré comme matériau économique et sur la base il est fort recommandé aux ingénieurs du BTP et aux utilisateurs du ciment dans la construction.

Enfin, il est à souligné que le travail réalisé, malgré le peu de temps alloué pour la réalisation de la partie expérimentale et malgré les difficultés et le manque de moyens au laboratoire, le travail réalisé a été fait en apothéose et les résultats trouvés semblent être prometteurs avec une contribution appréciable dans le domaine de la construction en général et les matériaux de construction en particulier.

### Recommandations

C'est clair qu'avec le peu de temps alloué, le travail réalisé a donné ses fruits mais à travers la bibliographie consultée ainsi que le volume d'essais réalisés aux laboratoires il fort souligné qu'il reste beaucoup de travail à compléter dans cet axe de recherche et sur la base on recommande aux futurs travaux de :

- ✓ Réaliser un béton autoplaçant (BAP) avec les mêmes déchets utilisés et les mêmes pourcentages des substitution pris en compte pour pouvoir comparer les résultats avec ceux trouver sur le mortier autoplaçant (MAP) réalisé ;
- ✓ Réaliser d'autres types de mortier et de béton avec les mêmes déchets utiliser ;
- ✓ Utiliser d'autres types de déchets sous formes de poudre en substitution avec le ciment pour la réalisation d'autre types de mortier et de béton dans le même axe de la recherche du coté économique du matériau à réaliser ;
- ✓ Réaliser des essais supplémentaires à long terme (comme le retrait, la carbonatation, et la perméabilité) pour évaluer la durabilité des matériaux produits ;
- ✓ Concevoir un mortier dans lequel les deux poudres, marbre et granite, sont utilisées simultanément, en différentes proportions, afin d'évaluer l'effet combiné de ces deux types de déchets sur les propriétés mécaniques et physiques du matériau ;
- ✓ Comparer les performances mécaniques et économiques du marbre et du granite pour déterminer lequel est le plus efficace en termes de coût et de rendement.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- [1] A. ABDELLAOUI, Y. ABIZA, "Valorisation des déchets de marbre et de granite de l'entreprise Timgad Marbre dans les bétons," Mémoire de projet de fin d'études, École Nationale Polytechnique, Entreprise TIMGAD MARBRE,2020.
- [2] A. BELGHOUL, "Etude technico-économique de la méthode d'exploitation du marbre de Fil-Fila, " Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, Ecole Nationale Polytechnique, 2014.
- [3] A. Chériguène, A. BAALI, "Formulation d'un mortier autoplaçant à base de sable recyclé de déchets de brique, " Mémoire de Master, université Saad Dahleb De Blida 1, 2021.
- [4] B. Abdi, "La durabilité des bétons autoplaçants destinés à la réparation des infrastructures," mémoire maitrisées Sci. Appliquées, université de Sherbrook, Quebec, Canad, 2005.
- [5] B. Kh, "Faculté des Sciences de l'Ingénieur Mémoire de Magister Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires," BOUGARA-BOUMERDES, 2014.
- [6] B.E.D Import Blog sur la pierre naturelle.
- [7] BOUCHENAFI, Hafidha, Hayet TERKMANE, and Mohamed GUENDOUIZ. "Elaboration d'un éco-matériau de construction à base des isolants recyclés." (2021).
- [8] Dahmani, Influence du dosage du ciment dans le béton d'usage courants sur ces propriétés à l'état durci, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.
- [9] Dreux G. et Festa J., 1998, Nouveau guide du béton et ses constituants, 8ème édition,Eyrolles.
- [10] H. Kouarta, Y. Salah, "Etude bibliographique de la durabilité des bétons à base de déchets de marbres," Mémoire de Master 2, Université de 08 Mai 1945 de Guelma, 2020.
- [11] Houria Hebhou et Mouloud Belachia [03 Décembre 2010 / Nature & Technologie].
- [12] <http://dSPACE.univ-medea.dz/bitstream/123456789/3177/1/M117027.pdf>
- [13] <http://www.groupes.polymtl.ca/glq1100/roches/marbre/marbre.html>
- [14] <https://legal-marbre-design.fr/26-plan-de-travail-marbre-nuancier>
- [15] <https://qc-ca.infodoorsandwindows.com/wp-content/uploads/formidable/11/11.jpg>

- [16] [https://viagallica.com/auvergne/img/granite\\_007.jpg](https://viagallica.com/auvergne/img/granite_007.jpg)
- [17] <https://www.britannica.com/science/granite>
- [18] <https://www.meubliz.com/definition/marbre/>
- [19] <https://www.tamstones.com/>
- [20] K. H. Khayat, J. Assaad, and J. Daczko, "Comparison of field-oriented test methods to assess dynamic stability of self-consolidating concrete," Mater. J., vol. 101, no. 2, 2004.
- [21] K. Yahiaoui, M. Sadki, "Propriétés de mortier autoplacant à base de différents types de sables" Mémoire de Master 2, Faculté des sciences et de la technologie, Université de Djelfa, 2017.
- [22] M. A. Khalifaoui, S. Chellali, "Élaboration d'un éco-matériau à base de poudres de marbre et de brique cuite," Projet de Fin d'Etudes de Master, université Yahia Fares de Medea, 2017.
- [23] M. Gaci, M. Boudoudou, "Comportement physico-mécanique d'un nouveau éco-matériau de construction à base de déchets inertes," Mémoire de fin d'études de Master, université Yahia Fares De Medea, 2024.
- [24] Naamaoui née Haddadou Naima Elaboration et caractérisation de béton autoplacant fibré avec ajout de poudre de marbre Thèse de Doctorat.
- [25] Okamura H. and Ouchi M., "Self Compacting Concrete", Journal of Advanced Concrete Technology, April 2003.
- [26] Okamura H. and Ouchi. M., "Self compacting concrete, development, present use and future", In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete; RILEM, 1999.
- [27] Okamura H., Ozawa K., and Ouchi M., "Self compacting concrete." Structural Concrete, March 2000.
- [28] Ooreka, "Oorekamaison," site web, Comprendre le recyclage. <https://recyclage.ooreka.fr/comprendre/definition-recyclage>.
- [29] Sawekchai Tangaramvong, Peem Nuaklong , May Thazin Khine , Pitcha Jongvivatsakul The influences of granite industry waste on concrete properties.

[30] S. Kadid, Z. Boucetha, " Influence des milieux de conservation sur la durabilite des mortiers autoplaçants", Mémoire de Master 2, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Boumerdes, 2017.

[31] S. Sabrina, "Comportement des bétons à base de granulats recyclés," mémoire de magister, université de Mentouri Cantantine, 2006.

[32] S. Soumia, "Formulation d 'un mortier avec ajout de pouzzolane naturelle soumis à températures élevées," Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.

[33] Y. Riadh, L. A. BENKHALED, "Durabilité des mortiers à base de marbre et fibres recyclés," Mémoire de Master, université de Blida 1, 2021.

# **ANNEXE**

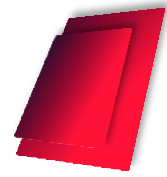
# Guide du projet

Préparé en vue de créer une start-up ou d'obtenir  
un brevet (conformément aux dispositions de la  
circulaire n° 001 du 18 mai 2023)


2025




# Carte d'information



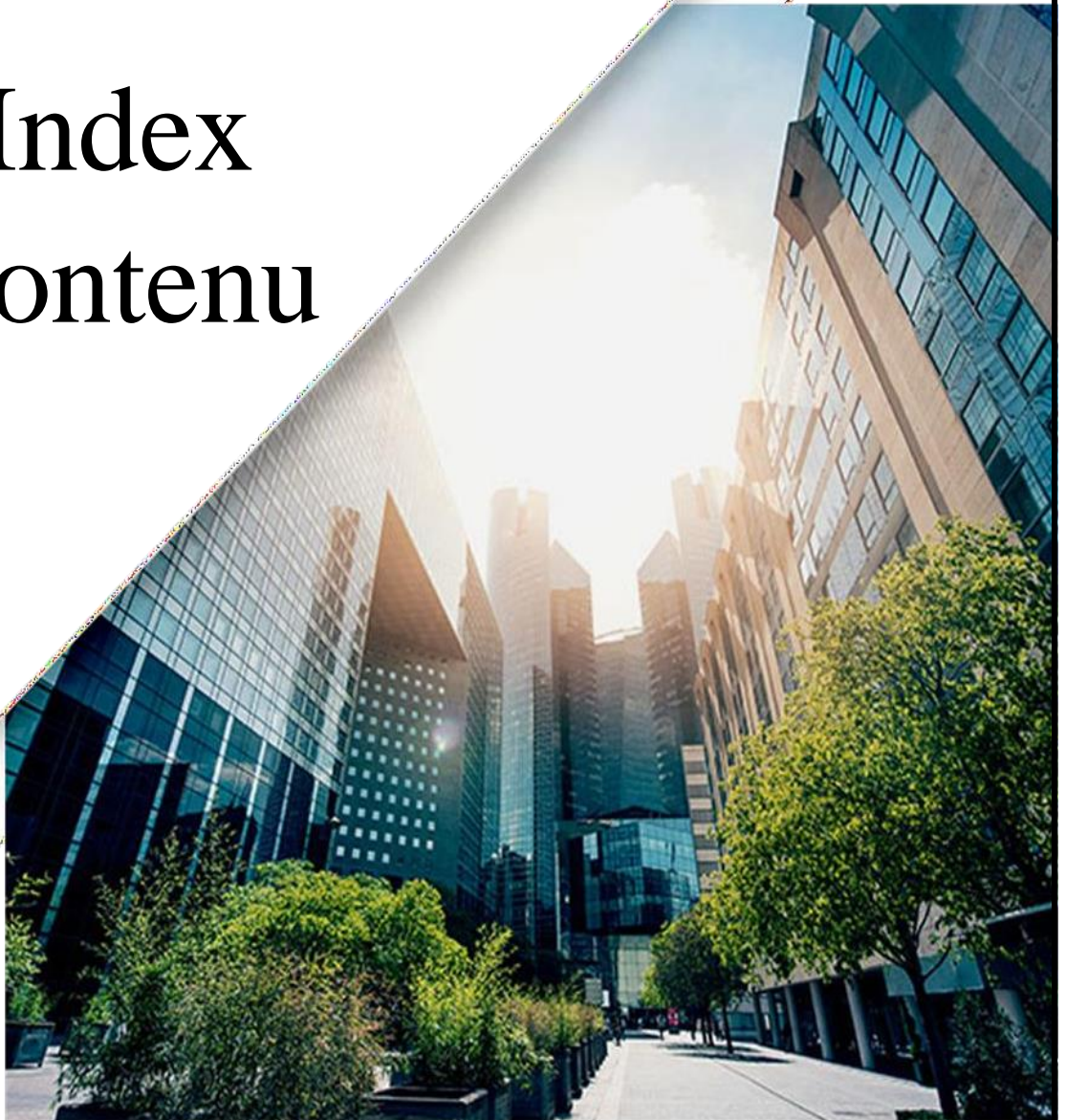
## 1- Équipe d'encadrement :

Équipe d'encadrement (à titre indicatif)		
<b>Encadrant principal :</b> LAOUFI Imane	<b>Spécialité :</b> Maitre de conférences (A) en génie civil	
<b>Co-Encadrant :</b> Safer Omar	<b>Spécialité :</b> Maitre de conférences (A) en génie civil	

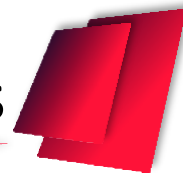
## 2- Équipe de projet :

Équipe de projet (à titre indicatif)	Faculté	Spécialité	
Etudiants : Besselma Manel Djabelarbi Kheira	Science et Technologie	Génie civil (structure)	

# Index Contenu



# Table des matières



<u>Premier axe : Présentation du projet .....</u>	<u>1</u>
1. L'idée de projet (la solution proposée) .....	2
2. Les Valeurs suggérées .....	3
3. L'équipe de travail .....	3
4. Objectifs du projet.....	3
5. Le planning de réalisation du projet.....	4
<u>Deuxième axe : Aspects innovants .....</u>	<u>5</u>
1. La nature des innovations.....	6
2. Les domaines d'innovation .....	6
<u>Troisième axe : Analyse stratégique du marché .....</u>	<u>7</u>
1. Le segment du marché.....	8
2. La mesure de l'intensité de la concurrence.....	8
3. La stratégie marketing .....	8
<u>Quatrième axe : Plan de production et organisation.....</u>	<u>9</u>
1. Le processus de production.....	10
2. L'approvisionnement.....	10
3. La main d'œuvre.....	11
4. Les principaux partenaires.....	11
<u>Cinquième axe : Plan financier.....</u>	<u>12</u>
1. Les coûts et les charges.....	13
Charges des investissements.....	13
Charges des personnels .....	13
Les charges des agrégats .....	14
2. Chiffre d'affaire.....	15
3. Bilan actif.....	14
4. Bilan passif.....	21
5. Compte des résultats Optimiste.....	23
6. Compte des résultats Pessimiste.....	24
7. Modèle d'affaires.....	25
<u>Sixième axe : Prototype expérimental.....</u>	<u>26</u>

# Introduction



L'Algérie a décidé d'intégrer une nouvelle dynamique pour s'adapter des évolutions de l'environnement mondial à travers un ensemble d'axes stratégiques. Parmi ces axes, l'appui des startups dans l'objectif de promouvoir la culture entrepreneuriale et l'esprit d'innovation. Lorsque l'étudiant termine sa carrière universitaire, il prépare ce que l'on appelle le mémoire de fin d'études, après quoi il obtient un certificat. Cependant, le ministère des Tutelles doit inclure une nouvelle loi, en vue de créer une start-up ou d'obtenir un brevet (conformément aux dispositions de la circulaire n° 001 du 18 mai 2023), par laquelle l'étudiant à la fin de son cycle universitaire (Licence ou Master 2) qui a une idée peut obtenir deux certificats, le certificat de fin d'études, qui est soit un licence , soit un master, ainsi qu'un certificat d'une institution en démarrage - un brevet, qui permet à l'étudiant d'ouvrir son propre projet, grâce à ce certificat, et sur cette base, en raison de l'existence de l'idée, l'idée de notre projet startup a été acceptée sous le titre de *«Confection du mortier autoplaçant écologique à base des déchets de fines de marbre et de granit»*.

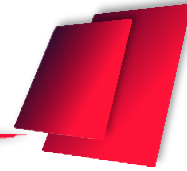
# Le premier axe

## Présentation du projet



# Premier axe

Présentation du projet



## 1. L'idée de projet (solution proposée) :

Le domaine d'activité de notre projet appartient au domaine industriel ainsi que dans le domaine de la construction, à travers l'utilisation des déchets de marbre et de granit pour la fabrication d'un nouveau mortier ou un nouveau béton.

- ✓ L'idée du projet est née d'une étude qui a conclu que l'Algérie produit une quantité importante de déchets de marbre et de granite, qui n'a pas pu être estimée à cause de leur déchargement clandestin.
- ✓ Pourquoi ne valorisons pas ces matériaux ?
- ✓ Il est à noter que ces déchets peuvent être utilisés dans plusieurs choses : nouveau béton, nouveau mortier, la production de pavés.
- ✓ Cela se fait en mettant en place une unité de production qui s'appuie sur des machines modernes sur le terrain et en s'appuyant sur les matières premières (matériaux de construction, dont les déchets de marbre ou de granite).
- ✓ La zone de Relizane Sidi Khattab a été choisie comme siège en raison de sa proximité avec la zone industrielle, bien qu'elle soit un point de passage pour toutes les wilayas avec la présence de différents réseaux divers, et une zone importante en Algérie pour trouver d'autres usines.

## **2. Les valeurs proposées :**

- ✓ Facilité d'obtention du produit.
- ✓ Protéger l'environnement de déchets de marbre et de granit, d'autant plus qu'il est difficile de s'en débarrasser, car ils sont nocifs pour l'environnement, et de même s'ils sont enterrés, ils sont non dégradables.
- ✓ Ouverture de postes de travail.
- ✓ Valoriser les déchets de marbre et de granit en les réutilisant dans d'autres projets, tels que les revêtements de sol, les éléments décoratifs, ou comme matières premières dans d'autres industries.

## **3. L'équipe de travail :**

L'équipe se résume sur l'organigramme suivant :

Etudiant 01 : Besselma Manel (Manager Entreprise startup).

Etudiant 02 : Djabelarbi kheira (co-gerant).

A recruter : {








- *Recrutement d'un ingénieur des matériaux (valorisation des matériaux).*
- *Recrutement d'un ingénieur travaux publics (suivi des travaux appliqués).*
- *Recrutement d'un ingénieur d'hygiène et de la sécurité appliquée.*
- *Recrutement d'un comptable pour gérer les tâches financières.*
- *Agents de sécurité.*
- *Chauffeurs des engins disponibles*

## **4. Objectifs du projet :**

- ✓ Réduire l'épuisement des matières premières.
- ✓ Ouvrir des horizons vers l'utilisation des déchets de marbre et granit dans le domaine de la construction.
- ✓ Débarrasser la région du poids du problème étudié.
- ✓ Parvenir au développement durable.

## 5. Calendrier de réalisation du projet :

Mois

			1	2	3	4	5	6	7	8
1		Études préalables : choix de l'implantation de l'unité de production, préparation des documents nécessaires	✓	✓						
2		Commande des équipements		✓	✓	✓				
3		Construction d'un siège de production (usine)			✓	✓	✓			
4		Installation des équipements				✓	✓			
5		Achat de matières premières						✓		
6		Recyclage des matières premières						✓	✓	
7		Réalisation du prototype								✓

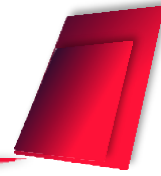
# Deuxieme axe :

## Aspects innovants



## Deuxième axe

### Aspects innovants



#### 1. Nature des innovations :

Le premier projet réalisé en Algérie basé sur la valorisation des déchets de marbre et de granit, ce dernier va apporter des résultats positifs quel que soient les aspects financière ou techniques.

#### 2-Domains d'innovation :

- ✓ Utilisation des déchets de marbre et de granit pour la fabrication des poudres et des granulats de différentes fractions (sables + graviers).
- ✓ Valoriser les déchets et les utiliser pour fabriquer un autre produit.
- ✓ Vente de poudres, de sable et de gravier avec différents fraction granulaires.



# Troisième axe :

## Analyse stratégique du marché



# Troisième axe

Analyse stratégique du marché



## **1. Le segment du marché :**

**Marché potentiel :** Toutes des entreprises liées à la construction et liées à l'utilisation des déchets de marbre et de granit.

**Marché cible :** On cherche à fournir ce produit aux entreprises de réalisation qui utilisent les granulats (sable ou gravier) et les poudres dans le secteur du bâtiment ainsi qu'au secteur des travaux publics et même les magasins qui vendent les matériaux de construction sur les marchés de la Wilaya de Relizane et des Wilayas voisines.

## **2. Mesure de l'intensité de la concurrence :**

Sur le marché algérien aucune société ne figure dans la valorisation et la vente des matériaux alternatifs (poudre, sable et gravier) des déchets de marbre ou de granit, que ce soit pour une utilisation dans l'industrie des matériaux de construction ou dans d'autres applications.

Les seules tentatives de recyclage des déchets de marbre et de granit n'ont pas passé les seuils des laboratoires de recherche.

Parmi les faiblesses figurent les décharges clandestines de ces déchets, ce qui rend leur collecte et leur valorisation en tant que matière première difficile.

## **3. La stratégie marketing :**

Lors de la commercialisation de nos produits, nous nous appuyons sur une stratégie marketing avec nos propres prix réduits grâce à la récupération des déchets de marbre et de granite et leur recyclage par nos propres moyens.

# Quatrième axe

## Plan de production et d'organisation



# Quatrième axe :

## Plan de production et d'organisation



### **1. Le Processus de production :**

1. Sélection, stockage et traitement.
2. Préparation des matériaux avant concassage.
3. Tri manuel.
4. Concassage grossier.
5. Broyage.
6. Tamisage.
7. Stockage.
8. Analyses éventuelles avant utilisation.

### **2. L'Approvisionnement :**

Demande d'obtenir d'un terrain de 10 000 m<sup>2</sup> d'auprès du comité d'assistance à la localisation et à la Promotion des Investissements Et de la Régularisation du Foncier (CALPIREF).

Consulter les fournisseurs des machines dont on a besoins et préparation des factures pro-formats pour déposer le dossier d'emprunt d'un financement bancaire approprié, et même obtenir d'un prêt auprès de la Fondation ANAD, qui est une banque que l'État a ouverte aux étudiants diplômés des pépinières d'entreprises s'il y a lieu.

Quant aux matières premières, comme les déchets de marbre et de granit, nous les récupérerons auprès des ateliers de découpe et de polissage, des usines, ainsi que des chantiers utilisant ces matériaux.

Obtention d'un prêt auprès de la Fondation Anad, qui est une banque que l'État a ouverte aux étudiants diplômés des pépinières d'entreprises.

## **2. La main d'œuvre :**

Plus précisément, le projet a besoin d'un responsable possédant une qualification élevée appropriée et une expérience préalable dans la gestion de projets de production.

En plus de deux chefs de production possédant des qualifications élevées ou intermédiaires, à condition qu'ils aient une expérience de travail dans des usines de production, de préférence dans le même projet ou au moins dans le secteur du recyclage. Il est également nécessaire d'embaucher 7 travailleurs de type régulier pour ce travail. Mettre en œuvre les étapes de production mentionnées précédemment.

## **3. Les Principaux partenaires**

- ✓ Les entreprises les plus importantes avec lesquelles nous traitons sont des fournisseurs de matières premières.
- ✓ Entreprise de production d'électricité et d'eau.
- ✓ Entreprises de vente de machines de production.
- ✓ Entrepreneurs en construction et entreprises de construction.

# Cinquième axe

## Plan financier



Cinquième axe :

**Plan financier**



## 1. Les Coûts et charges :

### 1.1 CHARGES DES INVESTISSEMENTS :

DESIGNATION	QUANTITE	COUT EN HORS TAXES	
TERRAIN DE 10000 M2	1,00	30000000,00	30000000,00
Bâtiment	1,00	20000000,00	20000000,00
MACHINE DE RECYCLAGE DE DECHET DE MARBRE ET GRANIT CAPACITE 120T/H	1,00	15000000,00	15000000,00
CAMIONS TRANSPORT ET PRELEVEMENT DES DECHETS DE MARBRE ET GRANIT 15T DAEW00	5,00	10000000,00	50000000,00
		TOTAL EN HT=	115000000,00

### 1.2 CHARGES DES PERSONNELS :

	CHARGE ANNUEL DES PERSONNELS			
DESIGNATION DES ELEMENTS	SALAIRE	NOMBRE	SALAIRE MENSUEL	SALAIRE ANNUEL
INGENIEUR DU DOMAIN	80 000,00	2,00	160 000,00	1 920 000,00
OUVRIER	35 000,00	7,00	245 000,00	2 940 000,00
CHAUFFEURS DES ENGIN	60 000,00	1,00	60 000,00	720 000,00
			TOTAL =	5 580 000,00

### 1.3 LES CHARGES DES AGREGATS :

DESIGNATION DES AGREGATS	DESIGNATION DES CHARGES	PRIX	MARGE BENIFICERE	CHARGE+BENIFICE
AGREGAT 3/8	ELECTRICITE	94,00	1,20	112,80
	EAU	53,00	1,20	63,60
	TRANSPORT	120,00	1,20	144,00
	INGENIEUR CHARGE DE LA MISSION	100,00	1,20	120,00
	OUVRIERS	50,00	1,20	60,00
	<b>TOTAL DES CHARGES</b>	417,00	PRIX DE VENTE AGREGAT	<b>500,40</b>
AGREGAT 8/15	ELECTRICITE	100,00	1,20	120,00
	EAU	130,00	1,20	156,00
	TRANSPORT	120,00	1,20	144,00
	INGENIEUR CHARGE DE LA MISSION	100,00	1,20	120,00
	OUVRIERS	80,00	1,20	96,00
	<b>TOTAL DES CHARGES</b>	530,00	PRIX DE VENTE AGREGAT	<b>636,00</b>
AGREGAT 15/25	ELECTRICITE	94,00	1,20	112,80
	EAU	53,00	1,20	63,60
	TRANSPORT	120,00	1,20	144,00
	INGENIEUR CHARGE DE LA MISSION	100,00	1,20	120,00
	OUVRIERS	50,00	1,20	60,00
	<b>TOTAL DES CHARGES</b>	417,00	PRIX DE VENTE AGREGAT	<b>500,40</b>

## 2. Chiffre d'affaire

Designation	N	PREVISION					
		N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
PRODUIT A DESTINE CLIENT							
AGREGAT 3/8	QUANTITE EN M3	15 000,00	25 300,00	27 450,00	32 700,00	36 070,00	38 720,00
	PRIX DE VENTE DE 1M3	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
	VENTE ANNUEL AGREGAT	7 500 000,00	12 650 000,00	13 725 000,00	16 350 000,00	18 035 000,00	19 360 000,00
AGREGAT 8/15	QUANTITE EN M3	18 000,00	27 000,00	33 870,00	36 300,00	39 420,00	41 290,00
	PRIX DE VENTE DE 1M3	640,00	640,00	640,00	640,00	640,00	640,00
	VENTE ANNUEL AGREGAT	11 520 000,00	17 280 000,00	21 676 800,00	23 232 000,00	25 228 800,00	26 425 600,00
AGREGAT 15/25	QUANTITE EN M3	12 000,00	25 000,00	29 980,00	32 550,00	34 003,00	39 210,00
	PRIX DE VENTE DE 1M3	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
	VENTE ANNUEL AGREGAT	6 000 000,00	12 500 000,00	14 990 000,00	16 275 000,00	17 001 500,00	19 605 000,00
CHIFFRE D'AFFAIRE		25 020 000,00	42 430 000,00	50 391 800,00	55 857 000,00	60 265 300,00	65 390 600,00

## 3. Bilan Actif

**IMPRIME DESTINE A L'ADMINISTRATION**

N.L.F 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Désignation de l'entreprise : .....

Activité : ...VENTE DES MATERIAU RECYCLE .....

Adresse : .....

Exercice clos le

31/12/N

**BILAN (ACTIF)**

ACTIF	N/CREATION			N-1
	Montants Bruts	Amortissements , provisions et pertes de valeurs	Net	Net
<b>ACTIFS NON COURANTS</b>				
Ecart d'acquisition - goodwill positif ou négatif				
<b>Immobilisations incorporelles</b>				
<b>Immobilisations corporelles</b>				
Terrains	10 000 000	0	10 000 000	0
Bâtiments	20 000 000	1 000 000	19 000 000	0
Autres immobilisations corporelles	70 000 000	7 000 000	63 000 000	0
Immobilisations en concession				
<b>Immobilisations en cours</b>				
<b>Immobilisations financières</b>				
Titres mis en équivalence				
Autres participations et créances rattachées				
Autres titres immobilisés				
Prêts et autres actifs financiers non courants				
Impôts différés actif				
<b>TOTAL ACTIF NON COURANT</b>	<b>100 000 000</b>	<b>8 000 000</b>	<b>92 000 000</b>	<b>0</b>
<b>ACTIFS COURANTS</b>				
<b>Stock et encours</b>				
<b>Créances et emplois assimilés</b>				
Clients				
Autres débiteurs				
Impôts et assimilés				
Autres créances et emplois assimilés				
<b>Disponibilités et assimilés</b>				
Placements et autres actifs financiers courants				
Trésorerie	13 132 000		13 132 000	0
<b>TOTAL ACTIF COURANT</b>	<b>13 132 000</b>		<b>13 132 000</b>	
<b>TOTAL GENERAL ACTIF</b>	<b>113 132 000</b>	<b>8 000 000</b>	<b>105 132 000</b>	<b>0</b>

**IMPRIME DESTINE A L'ADMINISTRATION**

N.L.F 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Désignation de l'entreprise : .....

Activité : ... VENTE DES MATERIAU RECYCLE .....

Adresse : .....

Exercice clos le

31/12/N+1

**BILAN (ACTIF)**

Série G, n°2 (2010)

ACTIF	N+1			N
	Montants Bruts	Amortissements , provisions et pertes de valeurs	Net	Net
<b>ACTIFS NON COURANTS</b>				
Ecart d'acquisition - goodwill positif ou négatif				
Immobilisations incorporelles	0	0	0	0
<b>Immobilisations corporelles</b>				
Terrains	10 000 000	0	10 000 000	30 000 000
Bâtiments	20 000 000	2 000 000	18 000 000	19 000 000
Autres immobilisations corporelles	70 000 000	14 000 000	56 000 000	107 550 000
Immobilisations en concession				
<b>Immobilisations en cours</b>				
<b>Immobilisations financières</b>				
Titres mis en équivalence				
Autres participations et créances rattachées				
Autres titres immobilisés				
Prêts et autres actifs financiers non courants				
Impôts différés actif				
<b>TOTAL ACTIF NON COURANT</b>	<b>100 000 000</b>	<b>16 000 000</b>	<b>84 000 000</b>	<b>156 550 000</b>
<b>ACTIFS COURANTS</b>				
<b>Stock et encours</b>				
<b>Créances et emplois assimilés</b>				
Clients				
Autres débiteurs				
Impôts et assimilés				
Autres créances et emplois assimilés				
<b>Disponibilités et assimilés</b>				
Placements et autres actifs financiers courants				
Trésorerie	36 027 400		36 027 400	13 132 000
<b>TOTAL ACTIF COURANT</b>	<b>36 027 400</b>		<b>36 027 400</b>	<b>13 132 000</b>
<b>TOTAL GENERAL ACTIF</b>	<b>136 027 400</b>	<b>16 000 000</b>	<b>120 027 400</b>	<b>169 682 000</b>

**IMPRIME DESTINE A L'ADMINISTRATION**

N.L.F 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Désignation de l'entreprise : .....

.....

Activité :... VENTE DES MATERIAU RECYCLE .....

Adresse : .....

**Exercice clos le 31/12/N+2**

**BILAN (ACTIF)**

Série G, n°2 (2010)

ACTIF	N+2			N+1
	Montants Bruts	Amortissements , provisions et pertes de valeurs	Net	Net
<b>ACTIFS NON COURANTS</b>				
Ecart d'acquisition - goodwill positif ou négatif				
<b>Immobilisations incorporelles</b>				
<b>Immobilisations corporelles</b>				
Terrains	10 000 000	0	10 000 000	30 000 000
Bâtiments	20 000 000	3 000 000	17 000 000	18 000 000
Autres immobilisations corporelles	70 000 000	21 000 000	49 000 000	95 600 000
Immobilisations en concession				
<b>Immobilisations en cours</b>				
<b>Immobilisations financières</b>				
Titres mis en équivalence				
Autres participations et créances rattachées				
Autres titres immobilisés				
Prêts et autres actifs financiers non courants				
Impôts différés actif				
<b>TOTAL ACTIF NON COURANT</b>	<b>100 000 000</b>	<b>24 000 000</b>	<b>76 000 000</b>	<b>143 600 000</b>
<b>ACTIFS COURANTS</b>				
<b>Stock et encours</b>				
<b>Créances et emplois assimilés</b>				
Clients				
Autres débiteurs				
Impôts et assimilés				
Autres créances et emplois assimilés				
<b>Disponibilités et assimilés</b>				
Placements et autres actifs financiers courants				
Trésorerie	62 315 740		62 315 740	36 027 400
<b>TOTAL ACTIF COURANT</b>	<b>62 315 740</b>		<b>62 315 740</b>	<b>36 027 400</b>
<b>TOTAL GENERAL ACTIF</b>	<b>162 315 740</b>	<b>24 000 000</b>	<b>138 315 740</b>	<b>179 627 400</b>

**IMPRIME DESTINE A L'ADMINISTRATION**

N.L.F 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Désignation de l'entreprise .....

Activité ... VENTE DES MATERIAU RECYCLE .....

Adresse .....

Exercice clos le

31/12/N+3

**BILAN (ACTIF)**

Série G, n°2 (2010)

ACTIF	N+3			N+2
	Montants Bruts	Amortissements , provisions et pertes de valeurs	Net	Net
<b>ACTIFS NON COURANTS</b>				
Ecart d'acquisition - goodwill positif ou négatif				
Immobilisations incorporelles	0	0	0	0
<b>Immobilisations corporelles</b>				
Terrains	10 000 000	0	10 000 000	30 000 000
Bâtiments	20 000 000	4 000 000	16 000 000	17 000 000
Autres immobilisations corporelles	70 000 000	28 000 000	42 000 000	83 650 000
Immobilisations en concession				
<b>Immobilisations en cours</b>				
<b>Immobilisations financières</b>				
Titres mis en équivalence				
Autres participations et créances rattachées				
Autres titres immobilisés				
Prêts et autres actifs financiers non courants				
Impôts différés actif				
<b>TOTAL ACTIF NON COURANT</b>	<b>100 000 000</b>	<b>32 000 000</b>	<b>68 000 000</b>	<b>130 650 000</b>
<b>ACTIFS COURANTS</b>				
<b>Stock et encours</b>				
<b>Créances et emplois assimilés</b>				
Clients				
Autres débiteurs				
Impôts et assimilés				
Autres créances et emplois assimilés				
<b>Disponibilités et assimilés</b>				
Placements et autres actifs financiers courants				
Trésorerie	92 011 240		92 011 240	62 315 740
<b>TOTAL ACTIF COURANT</b>	<b>92 011 240</b>		<b>92 011 240</b>	<b>62 315 740</b>
<b>TOTAL GENERAL ACTIF</b>	<b>192 011 240</b>	<b>32 000 000</b>	<b>160 011 240</b>	<b>192 965 740</b>

**IMPRIME DESTINE A L'ADMINISTRATION**

N.L.F 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Désignation de l'entreprise .....

.....

Activité ... VENTE DES MATERIAU RECYCLE .....

Adresse .....

Exercice clos le

31/12/N+4

**BILAN (ACTIF)**

Série G, n°2 (2010)

ACTIF	N+4			N+3
	Montants Bruts	Amortissements , provisions et pertes de valeurs	Net	Net
<b>ACTIFS NON COURANTS</b>				
Ecart d'acquisition - goodwill positif ou négatif				
<b>Immobilisations incorporelles</b>				
<b>Immobilisations corporelles</b>				
Terrains	10 000 000	0	10 000 000	30 000 000
Bâtiments	20 000 000	5 000 000	15 000 000	16 000 000
Autres immobilisations corporelles	70 000 000	35 000 000	35 000 000	71 700 000
Immobilisations en concession				
<b>Immobilisations en cours</b>				
<b>Immobilisations financières</b>				
Titres mis en équivalence				
Autres participations et créances rattachées				
Autres titres immobilisés				
Prêts et autres actifs financiers non courants				
Impôts différés actif				
<b>TOTAL ACTIF NON COURANT</b>	<b>100 000 000</b>	<b>40 000 000</b>	<b>60 000 000</b>	<b>117 700 000</b>
<b>ACTIFS COURANTS</b>				
Stock et encours	0			
<b>Créances et emplois assimilés</b>				
Clients				
Autres débiteurs				
Impôts et assimilés				
Autres créances et emplois assimilés				
<b>Disponibilités et assimilés</b>				
Placements et autres actifs financiers courants				
Trésorerie	124 653 214		124 653 214	92 011 240
<b>TOTAL ACTIF COURANT</b>	<b>124 653 214</b>		<b>124 653 214</b>	<b>92 011 240</b>
<b>TOTAL GENERAL ACTIF</b>	<b>224 653 214</b>	<b>40 000 000</b>	<b>184 653 214</b>	<b>209 711 240</b>

**IMPRIME DESTINE A L'ADMINISTRATION**

N.LF 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Désignation de l'entreprise : .....

Activité : ... VENTE DES MATERIAU RECYCLE .....

Adresse : .....

Exercice clos le

31/12/N+5

**BILAN (ACTIF)**

Série G, n°2 (2010)

ACTIF	N+5			N+4
	Montants Bruts	Amortissements	Net	Net
<b>ACTIFS NON COURANTS</b>				
Ecart d'acquisition - goodwill positif ou négatif				
<b>Immobilisations incorporelles</b>				
<b>Immobilisations corporelles</b>				
Terrains	10 000 000	0	10 000 000	30 000 000
Bâtiments	20 000 000	6 000 000	14 000 000	15 000 000
Autres immobilisations corporelles	70 000 000	42 000 000	28 000 000	59 750 000
Immobilisations en concession				
<b>Immobilisations en cours</b>				
<b>Immobilisations financières</b>				
Titres mis en équivalence				
Autres participations et créances rattachées				
Autres titres immobilisés				
Prêts et autres actifs financiers non courants				
Impôts différés actif				
<b>TOTAL ACTIF NON COURANT</b>	<b>100 000 000</b>	<b>48 000 000</b>	<b>52 000 000</b>	<b>104 750 000</b>
<b>ACTIFS COURANTS</b>				
<b>Stock et encours</b>				
<b>Créances et emplois assimilés</b>				
Clients				
Autres débiteurs				
Impôts et assimilés				
Autres créances et emplois assimilés				
<b>Disponibilités et assimilés</b>				
Placements et autres actifs financiers courants				
Trésorerie	159 932 614		159 932 614	124 653 214
<b>TOTAL ACTIF COURANT</b>	<b>159 932 614</b>		<b>159 932 614</b>	<b>124 653 214</b>
<b>TOTAL GENERAL ACTIF</b>	<b>259 932 614</b>	<b>48 000 000</b>	<b>211 932 614</b>	<b>229 403 214</b>

**4. Bilan passif**



## 6. COMPTE DES RESULTATS PESSIMISTE

COMPTE DE RESULTAT/NATURE							
LIBELLE	NOTE	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Ventes et produits annexes		25 020 000,00	42 430 000,00	50 391 800,00	55 857 000,00	60 265 300,00	65 390 600,00
Variation stocks produits finis et en cours							
Production immobilisée							
Subventions d'exploitation							
<b>I-PRODUCTION DE L'EXERCICE</b>		25 020 000,00	42 430 000,00	50 391 800,00	55 857 000,00	60 265 300,00	65 390 600,00
Achats consommés		-	-	-	-	-	-
Services extérieurs et autres consommations		-	-	-	-	-	-
<b>II-CONSOMMATION DE L'EXERCICE</b>		-	-	-	-	-	-
<b>III-VALEUR AJOUTEE D'EXPLOITATION (I-II)</b>		<b>25 020 000,00</b>	<b>42 430 000,00</b>	<b>50 391 800,00</b>	<b>55 857 000,00</b>	<b>60 265 300,00</b>	<b>65 390 600,00</b>
Charges de personnel		-	16 000 000,00	-	38 000 000,00	-	50 000 000,00
Impôts, taxes et versements assimilés		<b>17 020 000,00</b>	<b>26 430 000,00</b>	<b>18 391 800,00</b>	<b>17 857 000,00</b>	<b>16 265 300,00</b>	<b>15 390 600,00</b>
<b>IV-EXCEDENT BRUT D'EXPLOITATION</b>							
Autres produits opérationnels							
Autres charges opérationnelles							
Dotations aux amortissements, provisions et pertes de valeurs		-	12 950 000,00	-	12 950 000,00	-	12 950 000,00
Reprise sur pertes de valeur et provisions							
<b>V- RESULTAT OPERATIONNEL</b>		<b>4 070 000,00</b>	<b>13 480 000,00</b>	<b>5 441 800,00</b>	<b>4 907 000,00</b>	<b>3 315 300,00</b>	<b>2 440 600,00</b>
Produits financiers							
Charges financières							
<b>VI-RESULTAT FINANCIER</b>							
<b>VI-RESULTAT ORDINAIRE AVANT IMPOTS (V+VI)</b>		<b>4 070 000,00</b>	<b>13 480 000,00</b>	<b>5 441 800,00</b>	<b>4 907 000,00</b>	<b>3 315 300,00</b>	<b>2 440 600,00</b>
Impôts exigibles sur résultats ordinaires							
Impôts différés (Variations) sur résultats ordinaires							
<b>TOTAL DES PRODUITS DES ACTIVITES ORDINAIRES</b>		<b>25 020 000,00</b>	<b>42 430 000,00</b>	<b>50 391 800,00</b>	<b>55 857 000,00</b>	<b>60 265 300,00</b>	<b>65 390 600,00</b>
<b>TOTAL DES CHARGES DES ACTIVITES ORDINAIRES</b>		<b>-</b>	<b>28 950 000,00</b>	<b>-</b>	<b>50 950 000,00</b>	<b>-</b>	<b>62 950 000,00</b>
<b>&amp;</b>		<b>4 070 000,00</b>	<b>13 480 000,00</b>	<b>5 441 800,00</b>	<b>4 907 000,00</b>	<b>3 315 300,00</b>	<b>2 440 600,00</b>
Éléments extraordinaires (produits) (à préciser)							
Éléments extraordinaires (charges) (à préciser)							
<b>IX-RESULTAT EXTRAORDINAIRE</b>							
<b>X-RESULTAT NET DE L'EXERCICE</b>		<b>4 070 000,00</b>	<b>13 480 000,00</b>	<b>5 441 800,00</b>	<b>4 907 000,00</b>	<b>3 315 300,00</b>	<b>2 440 600,00</b>
encaissement CA/TTC-décaissement en TTC		21 773 800,00	34 491 700,00	27 966 242,00	28 469 830,00	27 715 707,00	27 814 814,00
reglement TVA (tva s/ventes - tva s/achats)		4 753 800,00	8 061 700,00	9 574 442,00	10 612 830,00	11 450 407,00	12 424 214,00
		18 020 000,00	44 450 000,00	62 841 800,00	80 698 800,00	96 964 100,00	112 354 700,00

**COMPTE DE RESULTAT/NATURE**

LIBELLE	NOTE	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Ventes et produits annexes		17 712 000,00	28 475 400,00	31 868 340,00	35 275 500,00	38 221 974,00	40 859 400,00
Variation stocks produits finis et en cours							
Production immobilisée							
Subventions d'exploitation							
<b>I-PRODUCTION DE L'EXERCICE</b>		17 712 000,00	28 475 400,00	31 868 340,00	35 275 500,00	38 221 974,00	40 859 400,00
Achats consommés		-	-	-	-	-	-
Services extérieurs et autres consommations		-	-	-	-	-	-
<b>II-CONSOMMATION DE L'EXERCICE</b>		-	-	-	-	-	-
<b>III-VALEUR AJOUTEE D'EXPLOITATION (I-II)</b>		17 712 000,00	28 475 400,00	31 868 340,00	35 275 500,00	38 221 974,00	40 859 400,00
Charges de personnel		- 5 580 000,00	- 5 580 000,00	- 5 580 000,00	- 5 580 000,00	- 5 580 000,00	- 5 580 000,00
Impôts, taxes et versements assimilés							
<b>IV-EXCEDENT BRUT D'EXPLOITATION</b>		12 132 000,00	22 895 400,00	26 288 340,00	29 695 500,00	32 641 974,00	35 279 400,00
Autres produits opérationnels							
Autres charges opérationnelles							
Dotations aux amortissements, provisions et pertes de valeurs		- 8 000 000,00	- 16 000 000,00	- 32 000 000,00	- 38 000 000,00	- 44 000 000,00	- 50 000 000,00
Reprise sur pertes de valeur et provisions							
<b>V-RESULTAT OPERATIONNEL</b>		4 132 000,00	6 895 400,00	- 5 711 660,00	- 8 304 500,00	- 11 358 026,00	- 14 720 600,00
Produits financiers							
Charges financières							
<b>VI-RESULTAT FINANCIER</b>							
<b>VII-RESULTAT ORDINAIRE AVANT IMPOTS ( V+VI)</b>		4 132 000,00	6 895 400,00	- 5 711 660,00	- 8 304 500,00	- 11 358 026,00	- 14 720 600,00
Impôts exigibles sur résultats ordinaires							
Impôts différés ( Variations ) sur résultats ordinaires							
<b>TOTAL DES PRODUITS DES ACTIVITES ORDINAIRES</b>		17 712 000,00	28 475 400,00	31 868 340,00	35 275 500,00	38 221 974,00	40 859 400,00
<b>TOTAL DES CHARGES DES ACTIVITES ORDINAIRES</b>		- 13 580 000,00	- 21 580 000,00	- 37 580 000,00	- 43 580 000,00	- 49 580 000,00	- 55 580 000,00
<b>&amp;</b>		4 132 000,00	6 895 400,00	- 5 711 660,00	- 8 304 500,00	- 11 358 026,00	- 14 720 600,00
Éléments extraordinaires (produits) (à préciser)							
Éléments extraordinaires (charges) (à préciser)							
<b>IX-RESULTAT EXTRAORDINAIRE</b>							
<b>X-RESULTAT NET DE L'EXERCICE</b>		4 132 000,00	6 895 400,00	- 5 711 660,00	- 8 304 500,00	- 11 358 026,00	- 14 720 600,00
encaissement CA/ TTC-décaissement en TTC		15 497 280,00	28 305 726,00	32 343 324,60	36 397 845,00	39 904 149,06	43 042 686,00
reglement TVA ( tva s/ventes - tva s/achats)		3 365 280,00	5 410 326,00	6 054 984,60	6 702 345,00	7 262 175,06	7 763 286,00
		13 132 000,00	36 027 400,00	62 315 740,00	92 011 240,00	124 653 214,00	159 932 614,00

**7. Modèle d'affaire**

Partenariats clés (key Partners)	Activités principales (Key activities)	Valeurs suggérées (Values propositions)	Relation client (Costumes Relationship)	Segments de clientèle ( Costumes segments )
1. Entreprises de maintenance de machines 2. Société de gaz, d'éclairage et d'eau 3. Compagnie d'assurance des travailleurs casnos 4. Ateliers de Vulcanisation	1. Sélection, stockage et traitement. 2. Préparation des matériaux avant concassage. 3. Tri manuel. 4. Concassage grossier. 5. Broyage. 6. Tamisage. 7. Stockage. 8. Analyses éventuelles avant utilisation.	1. Valeur innovante : elle consiste à intégrer l'innovation et la durabilité en réutilisant les matériaux et en les transformant en un produit de haute valeur qui sert l'environnement et offre des solutions durables et attractives aux clients de l'entreprise à travers : 2. Développement durable et sécurité environnementale 3. Réduire les coûts	1. Offres spéciales. 2. Organiser des réunions pour présenter le produit. 3. Entretien personnels pour renforcer la confiance	1. Entrepreneurs 2. Institutions spécialisées dans le domaine de la Construction et des travaux. 3. Points de vente de matériaux de construction
	Clé des ressources (key ressources) 1. Lieu de travail 2 machines spécialisées dans le tri Broyage et tamisage 3 Déchets de construction 4. Travail 5. Prêt 6. Matières premières		Chaînes (channels)  1 Numéro de téléphone fixe 2 Site Internet marketing 3 Participation à des salons spécialisés Dans le domaine du bâtiment Et des expositions internationales	
Structures de coûts (costa structure)		Sources de revenus (revenue Stream)		
1 Capital qui couvre les besoins de l'établissement 2. Parcelles de terrain de 10000 m <sup>2</sup> 3 Décharge de déchets de démolition 4. Une usine de production de granulats recyclé pour la vente et l'utilisation 5. Une administration contenant des bureaux et un showroom de produits 6. Un restaurant ou club pour travailleurs, un parking, un capital adapté		1 Bénéfices résultant de la vente 2 Bénéficiaire des conventions et contrats avec les services du Ministère chargés de la préparation de l'environnement Environnement municipal.		



# Sixième Axe :

**Prototype  
expérimental**



