

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie civil et d'Hydraulique  
Référence : ...../2022



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية و الري  
المرجع ...../2022

## Mémoire de Master

Filière : Génie civil.....

Spécialité :Matériaux en Génie civil.....

### Thème

**Effet de l'ajout de la poudre de marbre et de brique  
sur les propriétés physico-mécaniques de béton**

.....

Nom et Prénom de l'étudiant :

Guerri Meriem .....

Encadreur :

Ben Khadda Dr: Ben Ammar

Promotion: Juin 2022

## **REMERCIEMENT**

*Je remercie tout d'abord Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de finir ce travail.*

*Je tiens à remercier en premier lieu Mr BEN AMMAR BEN KHADDA d'avoir accepté d'être mon encadreur durant ce travail, et pour la confiance qu'elle m'a donnée et ses précieux conseils.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements aux membres de jury pour l'honneur qu'il me faisait d'être participer et bien vouloir juger le travail :*

*Je voudrais remercier mes parents et tous ma famille pour leur encouragement et eur soutien pour finaliser mon mémoire.*

## **REMERCIEMENT**

*Je remercie tout d'abord Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de finir ce travail.*

*Je tiens à remercier en premier lieu Mr BEN AMMAR BEN KHADDA d'avoir accepté d'être mon encadreur durant ce travail, et pour la confiance qu'elle m'a donnée et ses précieux conseils.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements aux membres de jury pour l'honneur qu'il me faisait d'être participer et bien vouloir juger le travail :*

*Je voudrais remercier mes parents et tous ma famille pour leur encouragement et eur soutien pour finaliser mon mémoire.*

## **Dédicace**

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Toute la famille GUERRI , et surtout à me s parents pour tout ce qu'ils ont fait et pour  
le soutien qu'ils m'ont apporté durant toutes mes études.*

*Mes chers frères : Ridah , Abd Elmoumène , Ahmad khalil et yahia*

*Ma chère soeur : Nada*

*À tous les étudiants de la promotion 2021/2022 Spécialité : Matériaux en Génie Civil*

*tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer ce travail.*

# Résumé

---

## Résumé

Le béton est le matériau le plus économique et, par conséquent, le plus utilisé dans le domaine de la reconstruction. Il répond aux normes de résistance mécanique et de durabilité. Plusieurs solutions ont été utilisées pour atteindre des résistances meilleures et des durées de vie assez importantes,

La valorisation et le recyclage des déchets issus de l'industrialisation des matériaux (déchets générés par les carrières de concassage, les déchets de marbre et les déchets de brique sous forme de poudre dans le béton) est d'actualité mondiale.

Le but de cette étude est d'étudier l'effet du remplacement du ciment par 5%, 10% et 15% de la poudre de marbre et la poudre de brique sur les propriétés physico-mécaniques du béton ordinaire.

La résistance à la compression et à la traction par flexion a été déterminée après 28 jours.

Les résultats indiquent une amélioration des propriétés du béton à l'aide de poudre de marbre.

Les résultats ont montré que la résistance à la compression du béton augmente avec la teneur de 10% de la poudre de marbre.

En fin, nous concluons des résultats expérimentaux que l'utilisation de déchet de brique réduit la résistance à la compression du béton.

### Mots clés:

Béton ordinaire, déchets, poudre de marbre, poudre de brique, résistance à la compression, résistance à la traction par flexion.

### ملخص

الخرسانة هي المادة الأكثر اقتصادا و بالتالي الأكثر استخداما في مجال إعادة الإعمار حيث تم استخدام العديد من الحلول لتحقيق مقاومة أفضل و عمر افتراضي طويل من خلال تثمين نفايات الهدم لأن استعادتها و إعادة استخدامها يمكن أن يساهم في خفض سعر التكلفة و ضمان جودة الأداء.

الهدف من هذه الدراسة هو دراسة تأثير استبدال الاسمنت بواسطة مسحوق الرخام و مسحوق الأجر الأحمر على الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للخرسانة العادية.

تم استبدال الإسمنت 5%، 10% و 15% من مسحوق الرخام و الأجر الأحمر كإضافات في الخرسانة و تم قياس مقاومة الضغط للعينات المكعبة و مقاومة الشد و الانحناء في عمر 28 يوم.

أدت إضافة نسبة 10 % من مسحوق الرخام في الخرسانة إلى زيادة في مقاومة الضغط .

أدت إضافة نسبة 5 % من مسحوق الأجر في الخرسانة إلى زيادة في مقاومة الضغط و تنخفض في باقي النسب.

وفي الأخير نستخلص من خلال النتائج التجريبية أن استعمال نفايات الأجر تساهم في إنقاص مقاومة الضغط للخرسانة.

### الكلمات المفتاحية:

الخرسانة العادية- النفايات- مسحوق الرخام – مسحوق الأجر – مقاومة الضغط – مقاومة الشد و الانحناء.

# Liste des Figures

# LISTE DE FIGURES

---

## CHAPITRE : I

<b>Figure I.1</b>	les constituants de béton
<b>Figure I.2</b>	coulage du béton
<b>Figure I.3</b>	Image d'un ciment
<b>Figure I.4</b>	Etapes de fabrication du ciment
<b>Figure I.5</b>	Différents types de granulats
<b>Figure I.6</b>	Mécanisme des floculations avec et sans super plastifiants
<b>Figure I.7</b>	les constituants de BAP
<b>Figure I.8</b>	Microstructure d'un BHP
<b>Figure I.9</b>	beton fibré

## CHAPITRE : II

<b>Figure II.1</b>	Les différents types de déchets
<b>Figure II.2</b>	bloc de marbre
<b>Figure II.3</b>	Quelques transformations des minéraux - métamorphisme Origine du mot marbre
<b>Figure II.4</b>	Marbre blanc
<b>Figure II.5</b>	Marbre gris clair
<b>Figure II.6</b>	Marbre gris foncé
<b>Figure II.7</b>	Marbre réséda
<b>Figure II.8</b>	la poudre de marbre
<b>Figure II.9</b>	Roche de marbre
<b>Figure II.10</b>	Image de brique rouge
<b>Figure II.11</b>	Image de dechet de brique
<b>Figure II.12</b>	Broyage de déchets de brique
<b>Figure II.13</b>	Tamisage de la poudre de brique (tamis 0,08mm).
<b>Figure II.14</b>	valorisation de déchets de brique rouge comme un poudre



# LISTE DE FIGURES

## CHAPITRE : III

<b>Figure III.1</b>	le ciment utilisé CEM II/A 42,5
<b>Figure III.2</b>	Tamisruse électrique
<b>Figure III.3</b>	Tamis utilisés
<b>Figure III.4</b>	courbe d' analyse granulometrique de sable de oude ( albaadj)
<b>Figure III.5</b>	détermination de la masse volumique absolue d'un matériau
<b>Figure III.6</b>	L'essai l'équivalent de sable
<b>Figure III.7</b>	courbe analyse granulometrique de gravier 8/15
<b>Figure III.8</b>	courbe analyse granulometrique de gravier 15/25

## Chapitre IV

<b>FigureIV.1 :</b>	Essai de Slump-Test
<b>FigureIV.2</b>	Evolution de la résistance par sécleromètr des éprouvettes contient de marbre et brique à 28j dans l'eau et à l'air
<b>FigureIV.3</b>	Evolution de la résistance par sécleromètr des éprouvettes contient de marbre à 28j dans l'eau
<b>FigureIV.4</b>	Evolution de la résistance par sécleromètr des éprouvettes contient de marbre à 28j à l'air
<b>FigureIV.5</b>	Evolution de la résistance par sécleromètr des éprouvettes contient de marbre à 28j dans l'eau et à l'air
<b>FigureIV.6</b>	Evolution de la résistance par sécleromètr des éprouvettes contient de (PDB) à 28j dans l'eau
<b>FigureIV.7</b>	Evolution de la résistance par sécleromètr des éprouvettes contient de (PDB) à 28j à l'air

## LISTE DE FIGURES

---

<b>FigureIV.8</b>	resultats de ultraçon sur les eprouvettes de defferents pourcentage de la poubre de marbre (eprouvette immerssion dans l'eau )
<b>FigureIV.9</b>	courbe de eprouvettes en air ultraçon (marbre)
<b>FigureIV.10</b>	resultats de ultraçon sur les eprouvettes de dechet de briques imerssion dans l'eau
<b>FigureIV.11</b>	: resultats de l'ultraçon sur les éprouvettes de dechet de briques à l'air
<b>FigureIV.12</b>	la resistance à la compression des eprouvettes imerssion dans l'eau pendant 28 jour par defferent pourcentage de la poudre de marbre
<b>FigureIV.13</b>	la resistance à la compression des eprouvettes à l'air par defferents pourcentage de la poudre de marbre
<b>FigureIV.14</b>	Evaluation de la résistance à la compression des éprouvettes de défèrent pourcentage de la poudre de marbre
<b>FigureIV.15</b>	la resistance à la compression des eprouvettes imersion dans l'eau pendant 28 jour par defferent pourcentage de la poudre de brique
<b>FigureIV.16</b>	Evolution de la resistance à la compression des éprouvettes à l'air par poudre de brique
<b>FigureIV.17</b>	Evaluation de la résistance à la compression des éprouvettes de défèrent pourcentage de la poudre de brique
<b>FigureIV.18</b>	Evolution de la résistance en traction par flexion à 28 j des éprouvettes par poudre de marbre
<b>FigureIV.19</b>	Evolution de la résistance en traction par flexion à 28 j des éprouvettes par poudre de brique

# Liste des Tableaux

# LISTE DE TABLEAUX

---

## CHAPITRE : I

<b>Tableau I.1</b>	La teneur des constituants du béton en poids et en volume
<b>Tableau I.2</b>	Principales catégories de ciment
<b>Tableau I.3</b>	Classes de résistance à la compression des ciments.
<b>Tableau I.4</b>	la classification des granulats
<b>Tableau I.5</b>	Classification des sables suivant les valeurs de module de finesse
<b>Tableau I.6</b>	Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams

## CHAPITRE : II

<b>Tableau II .1</b>	Composition chimique de la poudre de marbre
<b>Tableau II.2</b>	Composition minéralogique de déchets de briques.

## CHAPITRE : III

<b>Tableau III.1</b>	la masse volumique de ciment
<b>Tableau III.2</b>	chimique du ciment CPJ CEM02/A composition 42.5
<b>Tableau III.3</b>	composition menéralogique du ciment CPJ CEM II /A 42.5
<b>Tableau III.4</b>	caractiristiques physics de ciment CPJ CEM II /A 42.5
<b>Tableau III.5</b>	Tamis utilisés pour le tamisage de sable.
<b>Tableau III.6</b>	Analyse Granulométrique Du Sable d'ouad ( baadj)
<b>Tableau III.7</b>	la masse volumique de sable utilisée
<b>Tableau III.8</b>	résultats d'Equivalent de sable visuelle
<b>Tableau III.9</b>	Résultats déquivalent de sable par piston
<b>Tableau III.10</b>	Comparaison des résultats
<b>Tableau III.11</b>	la porosité et la compacité de sable de ouad (albaadj)
<b>Tableau III.12</b>	la masse volumique de gravier 8/15 et 15/25
<b>Tableau III.13</b>	Analyse granulométrique des gravier (pièrre cancasés) 8/15
<b>Tableau III.14</b>	Analyse granulométrique des pierre cancases 15/25

# LISTE DE TABLEAUX

---

<b>Tableau III.15</b>	la porosité et la compacité des gravier 8/15 et 15/25
<b>Tableau III.16</b>	Composition chimique de la poudre de déchet de brique
<b>Tableau III.17</b>	le poids de defferents constutians de beton avec l'ajout de poudre de marbre

## Chapitre IV

<b>Tableau IV.1</b>	: l'affaissement d'un béton ordinaire avec la substitution de la poudre de marbre
<b>Tableau IV.2</b>	l'affaissement d'un béton ordinaire avec la substitution de la poudre de brique
<b>Tableau IV.3</b>	résistance par scléromètre (poudre de marbre) à 28 j, durcissement à l'eau
<b>Tableau IV.4</b>	résistance par scléromètre des éprouvettes avec la poudre de marbre après 28 jour (des éprouvettes à l'air)
<b>Tableau IV.5</b>	résistance par scléromètre des éprouvettes avec la poudre de brique après 28 jour (dans l'eau )
<b>Tableau IV.6</b>	résistance par scléromètre des éprouvettes avec la poudre de brique après 28 jour (des éprouvettes à l'air)
<b>Tableau IV.7</b>	resultats de ulraçon sur les eprouvettes (immerssion dans l'eau )par defferent pourcentage de la poudre de marbre
<b>Tableau IV.8</b>	eprouvettes en air ulraçon (marbre)
<b>Tableau IV.9</b>	resultats de l'ultraçon sur les éeprouvettes de dechet de briques imerssion dans l'eau
<b>Tableau IV.10</b>	resultats de l'ultraçon sur les éprouvettes de dechet de briques en air

## LISTE DE TABLEAUX

---

<b>Tableau IV.11</b>	resistance à la compression des eprouvettes après 28 j de limeression dans l'eau
<b>Tableau IV.12</b>	la resistance des eprouvettes à l' air par defferent pourcentage de la poudre de marbre
<b>Tableau IV.13</b>	la resistance à la compression des eprouvettes imersion dans l'eau pendant 28 jour par defferent pourcentage de la poudre de brique
<b>Tableau IV.14</b>	: la resistance à la comression des éprouvettes à l'air
<b>Tableau IV.15</b>	la resistanace de traction par flexion des eprouvettes par poudre de marbre
<b>Tableau IV.16</b>	la resistance à la traction par flexion des éprouvettes par poudre de brique

# *Liste des Symboles*

# LISTE DE SYMBOLES

## Liste de symboles

<b>BO</b> : béton ordinaire .	<b>Rc</b> : Activité ou classe du ciment.
<b>BT</b> : Béton témoin.	<b>A, A'</b> : coefficient les admis selon propriétés et La qualité des matériaux.
<b>PM</b> : poudre de marbre.	<b>C/E</b> : rapport du poids de ciment au poids de l'eau
<b>ES</b> : Equivalent de sable.	<b><math>\rho_c</math></b> :la masse spécifique de ciment
<b>ESP</b> : Equivalent de sable avec piston.	<b><math>\rho_E</math></b> : la spécifique d'eau
<b>ESV</b> : Equivalent de sable visuelle	<b><math>\rho_s</math></b> : la masse spécifique de sable
<b>MF</b> : Module de finesse.	<b><math>\rho_G</math></b> : la masse spécifique de gravier
<b><math>\gamma_{app}</math></b> : La masse volumique apparente	<b>S</b> : le sable
<b><math>P_{abs}</math></b> ; : La masse volumique absolue	<b>C</b> : le ciment
<b>P(%)</b> : La porosité	<b>G</b> : le gravier
<b>C (%)</b> : la compacité .	<b><math>\gamma_g</math></b> : la masse volumique apparent de gravier
<b>Pc</b> : pierre concassée	<b><math>P_g</math></b> : Porosité des pierres concassées.
<b>V</b> : Volume.	<b><math>\gamma_S</math></b> : la masse volumique apparent de sable
<b>M</b> : Masse.	<b>Aff</b> : l'affaissement du béton
<b>D</b> : Diamètre	



# **SOMMAIRE**

# SOMMAIRE

---

## Sommaire

Remerciement .....	
Dédicace .....	
Résumé .....	
Introduction Generale.....	01

### CHAPITRE I :

#### Revue bibliographique sur le beton et ses constituants

I.1 Introduction.....	03
I.2 Historique du Beton.....	03
I.3 Généralité sur le béton.....	04
I.4 Définition de béton.....	05
I.5 Composition du béton.....	05
I.5.1. Ciment.....	06
I.5.1.1.principaux catégories de ciment.....	07
<b>I.5.1.1.1 Classification selon les compositions.....</b>	<b>07</b>
<b>I.5.1.1.2 Classification selon la résistance:.....</b>	<b>07</b>
I.5.1.2. les constituants principaux du ciment et les additions.....	08
I.5.1.2.1 Le clinker .....	08
I.5.1.2.2 Le gypse.....	09
I.5.1.2.3. les ajouts minéraux.....	10
I.5.2. les granulats.....	11
I.5.2.1. classification des granulats .....	11
I.5.2.2. utilisation des granulats .....	12
I.5.3. Le sable.....	12

# SOMMAIRE

---

I.5.3.1. types de sable.....	12
I.5.3.2. classification des sables.....	12
I.5.4. L'eau de gachage.....	13
I.5.4.1. Types de l'eau.....	14.
I.5.5.les adjuvants.....	14
I.5.5.1.types d'adjuvants.....	14
I.6. différents types des bétons.....	15
I.6.1 Béton ordinaire .....	15
I.6.2 Béton auto plaçant.....	15
I.6.3 Béton de haute performance.....	16
I.6.4 Béton de fibre.....	16
I.6.5 Béton a durcissement rapide.....	17
I.6.6 Béton léger.....	17
I.6.7 Béton lourd.....	17
I.7. propriétés des béton.....	17
I.7.1.béton à l'état frais.....	17
I.7.1.1 la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.....	18
I.7.1.2 La masse volumique du béton frais.....	18
I.7.2. béton à létat durci.....	18
I.7.2.1 Résistance à la compression.....	19
I.7.2.2 Résistance à la traction par flexion.....	19
I.8. les avantages et les incovinients des beton.....	20
I.8.1. les avantages .....	20

# SOMMAIRE

---

I.8.2. les inconvénients.....	20
I.9 Conclusion.....	21

## CHAPITRE : II

### GENERALITE SUR LES DECHETS

II -1 Introduction.....	22.
II .2 Historique de déchets.....	22
II -3 Définition de déchets.....	22
II .4 Différents types des déchets.....	22
II .4.1 Déchets ultimes.....	23
II.4.2 Déchets inertes .....	23
II.4.3 Déchets assimilés.....	23
II.4.4 Déchets verts.....	23
II.4.5 Déchets organiques.....	23
II.4.6 Les déchets d'activités de soins.....	24
II.4.7 Déchets industriels.....	24
II.5. Classification Des Déchets.....	24
II.6 Gestion des déchets.....	25
II.6.1. Définition.....	25
II.6.2. Mode de gestion des déchets.....	25.
II.6.2.1. Tri des déchets.....	25
II.6.2.2. Pré-collecte.....	25
II.6.2.3. Collecte des déchets.....	26
II.7 Les déchets de construction et de demolition.....	26

# SOMMAIRE

---

II.8. le dechet de marbre.....	26
II.8.1 Definition de marbre.....	26
II.8.2 Pétro-minéralogie des marbres du gisement de Filfila.....	27
II.8.2.1. Marbre blanc.....	27
II.8.2.2 Marbre gris clair.....	28
II.8.2.3 Marbre gris foncé.....	28
II.8.2.4 Marbre réséda.....	29
II.8.3 La poudre de marbre.....	29
II.8.4 Effet de la poudre de marbre.....	30
II.8.4.1 Effet de la poudre de marbre sur les propriétés physiques des bétons....	31
II.8.4.1. 1 Effet sur la porosité.....	31
II.8.4.2 Réactivité indirecte de la poudre de marbre.....	31
II.8.4.3 Réactivité directe de la poudre de marbre.....	32
II.9 Le déchet de brique.....	32
II .10 Technique de la production de la brique.....	33
II.11 Types de brique.....	34
II.11.1 Les caractéristiques physico-chimiques de la brique.....	34
II.12 déchet de brique.....	35
II.12.1 Broyage de déchets de brique.....	35
II.12.2 Tamisage de la poudre de brique.....	36
II.13 Valorisation des déchets de la brique:.....	36
II.13.1 Réutilisation.....	37
II.13.2 Recyclage.....	37

# SOMMAIRE

---

II.14 Intérêt du recyclage dans le génie civil.....	38
II.15 Avantages et inconvénients d'utilisation des briques.....	38
II.15.1 Avantages:.....	38
II.15.2 Inconvénients.....	39
II.15.2.1 Changement de temperature.....	39
II.15.2.2 Conditions météorologiques.....	39
II.15.2.3 Temps et cout.....	39
II.16 Le déchet de brique rouge dans le béton.....	39
<b>II.17 Conclusion.....</b>	<b>41</b>

## Chapitre III:

### caractirisation des materiaux et materieles utilisés

III.1 Introduction.....	42
III . 2 Consttution de melange.....	42
III .3 Matériaux utilisés.....	42
III .4 Caracterisation des matériaux utilisés:.....	42
<b>III .4.1. Le ciment.....</b>	<b>42</b>
III .4.1.1 Masse volumique apparent.....	43
III .4.1.2 La Masse Volumique Absolue:.....	44
III .4.1.3 Caractéristiques chimiques :.....	45
III .4.1.4 Composition menéralogique:.....	46
<b>III .4.2 Le sable:.....</b>	<b>46</b>
III .4.2.1 Analyse granulometrique de sable utilisé:.....	47
III .4.2.1.1 Principe de l'essai.....	47

# SOMMAIRE

---

III .4.2.1.2. Mode operatoire.....	48
III .4.2.2 La masse volumique apparante de sable.....	50
III .4.2.3 La masse volumique absoluede sable.....	50
III .4.2.4 Le module de finesse.....	51
III .4.2.5 Equivalant du sable.....	52
III .4.2.5.1 Equivalent de sable visuel (ESV).....	53
III .4.2.5.2 Equivalent de sable au piston (ESP).....	53
III .4.2.6 La Porosités.....	55
III .4.2.7 La compacité.....	56
<b>III .4.3 Le gravier (pierre cancasée):.....</b>	<b>56</b>
III .4.3.1 Origine de gravier.....	56
III .4.3.2 Classes granulaires.....	56
III .4.3.3 Masse volumique apparente.....	57
III .4.3.4 Masse volumique absolue.....	57
III .4.3.5 Analyse granulometrique.....	58
III .4.3.6 la Porosite.....	61
III .4.3.7 La compacité.....	61
<b>III .4.4 l'eau de gâchage.....</b>	<b>62</b>
<b>III .4.5 La poudre de marbre.....</b>	<b>62</b>
III .4.5.1 Caractéristique physiques de la poudre de marbre.....	62
<b>III .4.6 La poudre de brique.....</b>	<b>62</b>
<b>III .5 Formulation des mélanges.....</b>	<b>63</b>
III .5.1 Presentation de la méthode.....	63

# SOMMAIRE

---

III .6 : les calcules.....	64
III.7 Les résultats.....	68
III .8 Conclusion.....	69

## Chapitre: IV

### Résultats et Interpretation

IV.1 Introduction:.....	70
IV.2 Programme des essais:.....	70
IV .2.1 Essais mécaniques non destructifs.....	70
IV .2.1.1 Ouvrabilité.....	70
IV .2.1.1.1 l'affaissement de notre défferents betons .....	71
IV .2.1.2. Essai sclérométrique.....	72
IV .2.1.3 Essai d'auscultation sonique .....	76
IV .2.2 Essais mécaniques destructifs.....	81
IV .2.2.1 Essai de la résistance à la compression.....	81
IV .2.2.2 Essai de traction par flexion.....	86
IV.3 Conclusion .....	88
Conclusion générale.....	91
Réfference bibliographiques .....	92



# **Introduction général**

# Introduction Général

---

## Introduction général

Le béton est un assemblage de matériaux de nature généralement minérale. Il met en présence des matières inertes, appelées granulats ou agrégats (graviers, sables, etc.), et un liant (ciment, argile), mêlés à l'eau, on obtient une pâte, à l'homogénéité variable, qui peut selon le matériau, être moulée en atelier (pierre artificielle), ou coulée sur chantier. Le béton fait alors « prise », c'est-à-dire qu'il se solidifie.

De ce fait il peut être le réceptacle de différents sous-produits (déchets) qui peuvent être « engloutis » en son sein contribuant ainsi à l'action environnementale devenue un enjeu majeur mobilisant la communauté internationale dans son ensemble.

Les déchets qui autrefois ne suscitaient guère d'intérêt ni d'inquiétude, ont commencé à constituer un problème économique et écologique. Les quantités énormes des déchets qui sont générées sans cesse immobilisent de plus en plus de grandes surfaces pour le stockage et réduisent ainsi les disponibilités des terrains sans compter la pollution de l'environnement avec toutes ses conséquences.

La protection de l'environnement est une préoccupation majeure qui se traduit, dans le domaine du génie civil, par la recherche de nouveaux procédés de construction ou de nouveaux produits à faibles impacts environnementaux. Si, par ailleurs, ces éco-produits amélioraient les propriétés d'usage des bétons actuels ou diminuaient la sinistralité, leur développement devrait requérir plus d'intérêt.

Le but principal de cette étude est de démontrer techniquement la possibilité d'utiliser les fines des déchets de marbre et les fines de déchets de brique sous forme d'addition dans la formulation de béton ordinaire (Bo). Il convient d'étudier les caractéristiques physiques et mécaniques de béton ordinaire composés de ces déchets à l'état frais et durci, et de comparer les résultats avec un béton ordinaire de référence à base de fillers calcaires comme addition.

Ce travail est une contribution d'utiliser ce genre de déchet (brique rouge et le marbre blanc) à différentes proportions dans la confection d'un béton ordinaire

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

# Introduction Général

---

## **Le premier chapitre:**

Le premier est consacré à une étude sur le béton ordinaire , sa définition, ses différents types, ses constituants, ses propriétés, ainsi que ses avantages.

## **Le deuxième chapitre:**

Le deuxième est consacré à une étude sur les déchets, leur définition, leur gestion, différents types, classification, le déchet de marbre, le déchet de brique, les propriétés des bétons à base de déchet de brique ,leur avantages et inconvénients

## **Le troisième chapitre:**

la présentation des matériaux utilisés et leurs caractéristiques physiques pour la confection des différents mélanges des bétons étudiés.

## **Le quatrième chapitre:**

présente les différents résultats expérimentaux des essais effectués sur le béton frais et durci, suivis par des interprétations.

Une conclusion de ce travail en mettant l'accent sur les différents aspects de la problématique posée

# **CHAPITRE: I**

## **Revue bibliographique sur le béton et ses constituants**

## I.1. Introduction:

Le béton est un mélange en proportion convenables de granulats, de liant et de l'eau. Il est utilisé seul (béton ordinaire), ou associé à des armatures d'acier (béton armé). Le béton est fabriqué et mis en oeuvre avec une consistance plus ou moins plastique qui dépend de la quantité d'eau de gâchage. après emploi et au bout d'un temps plus ou moins long , qui dépend de la nature du liant , il fait prise et durci pour acquérir finalement une résistance plus ou moins élève qui dépend de la résistance propre du liant , du temps du durcissement , des proportions du mélange ,divers matériaux , du mode de mise en oeuvre , etc..... outre la résistance, qui est qualité essentielle, on demande au béton beaucoup d'autres qualités, certaines correspondant à des caractéristiques définitives, d'autres à des caractéristiques provisoires (qui se rencontrent lors de la mise en oeuvre, de la prise et du durcissement du béton) .En plus de la résistance, qui est une qualité essentielle et important , dans le béton est nécessaire. On demande au béton de nombreuses autres fonctionnalités ont des normes élevées, dont certaines correspondent à des caractéristiques spécifiques, Autres avec des propriétés temporaires (rencontrées lors de la mise en oeuvre Béton, pose durcissement du béton).

## I.2 Historique :

Le béton avait pris ses pas après le mortier. Il est à noter que le mortier serait très ancien, citant les colonnes d'Egypte, en pierre artificielle qui date de 3600 ans avant notre ère.

Les plus anciens mortiers reconnus sont ceux des maçonneries de remplissage, des pyramides et ceux des citernes et de tombeaux étrusques. Ce sont les Romains qui développèrent l'art des mortiers de chaux grasses, en y associant la pouzzolane (cendre du Vésuve à Pouzzoles) pour la prise hydraulique et qui en fixèrent la technique.

Dans cette période, du règne de la chaux grasse, à durcissement trop lent pour permettre la tenue du béton en élévation, il ne fut employé que pour les aires (routes, dallages, planchers...) et les fondations.

Vicat obtient systématiquement les chaux hydrauliques en 1818 en partant de calcaires argileux. Le ciment ne fut utilisé qu'à partir du milieu du XIXème siècle pour les bétons en élévation. En 1847 Coignet exécuta, le premier immeuble en béton coffré, puis des pièces moulées, et en 1852 un plancher avec poutrelles en fer et en béton coulé (terrasse à Saint-Denis). Le béton armé de fers ronds apparut en 1848, avec le bateau Lambot, Le béton armé

s'est, étendu ensuite à toutes les constructions portantes chargées. Entre 1930 et 1950, on construit les premières réalisations en béton précontraint. Ce nouvel essor est apporté par Eugène FREYSSINET.

Les premières études systématiques sur les bétons eurent lieu en France et sont dues aux Ingénieurs des Ponts et Chaussées.

Les travaux de R.Féret sont considérables. En 55ans, il donne près de 200 publications sur les liants, les mortiers, les bétons, mais son étude de 1892. Complétée par celle de 1896 et qui n'apas de correspondance nulle part, était déjà déterminante pour la découverte des lois du béton. En 1925 Bolomey propose une loi continue qui reprend celle de Fuller sur la granulométrie et composition. Le Clerc du Sablon en 1927 a fait une étude de résistance liée à la compacité du béton.

En 1937, A.Caquot met en évidence l'effet de paroi des moules. En 1940, R.Valette a fait une étude de la résistance des bétons en fonction du rapport gravier / sable.

En 1942, Faury donna une étude générale du béton et proposa une nouvelle granulation type, variante assouplie des granulations continues antérieures.

Actuellement, les recherches et les études sur les bétons ne cessent d'évoluer, dans le but d'améliorer leurs performances et aussi pour les rendre plus économique [1]

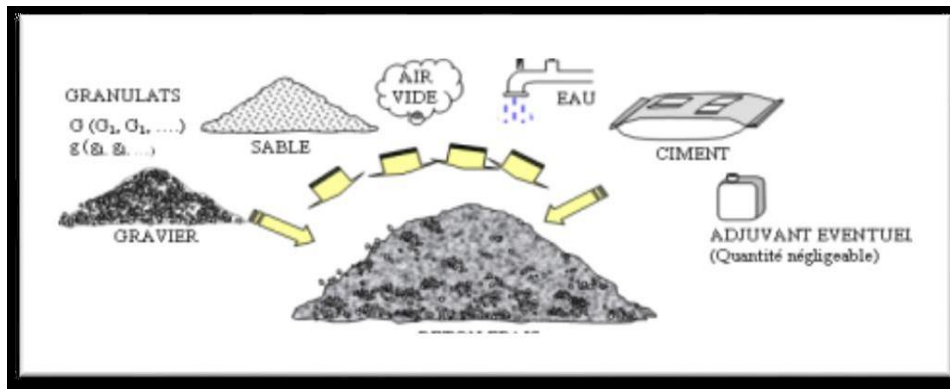
### **I .3.Généralités :**

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collées entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux et le liant est un ciment, généralement, un ciment portland. Les composants sont très différents : leur masse volumique vont, dans les bétons courants de 1 (eau) à 3 (ciment)  $t/m^3$ . Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton de résine, de béton d'hydrocarboné, de béton d'argile, etc.

Dans le béton où une très grande compacité est recherchée (béton HP par exemple), la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1 mm (fillers, fumée de silice). De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100  $kg/m^3$ . Ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton courant, présentés dans le tableau ci-dessous. [2].

**Tableau I.1:** La teneur des constituants du béton en poids et en volume

Constituants	Eau	Air	Ciment	Granulats
Volume (%)	14 – 22	1 - 6	7 – 14	60 - 78
Poids (%)	5 – 9	-	9 – 18	63 - 85



**Figure I.1 :** les constituants de béton.

## I.4 Définition du béton:

Le béton est un composite qui résulte d'un mélange intime de ciment, de granulats, d'eau et parfois, d'ajouts minéraux et de faible quantité d'adjuvant. Ces constituants sont dosés de manière à obtenir, après le durcissement, un produit solide dont les capacités de résistance dépassent celles des meilleures roches naturelles.[03].



**Figure I.2:** coulage du béton

## I.5 Composition du béton:

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se

lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

### I.5.1 Le ciment:



**Figure I.3:** Le ciment

#### **Définition :**

Le ciment se présente sous forme d'une poudre fine de couleur grise ou blanche. La dimension des grains de ciment est caractérisée par la valeur de la finesse Blaine qui mesure la surface totale des grains contenus dans un gramme ; la finesse Blaine des ciments est de l'ordre de 3 500 à 4 500  $\text{g}/\text{cm}^2$ , La dimension caractéristique des grains de ciment est d'environ 30 à 50 $\mu\text{m}$ . Le clinker, issu de ce procédé est employé pour la préparation de la majorité des ciments. Les clinkers peuvent avoir des compositions variables mais les oxydes principaux sont toujours les mêmes : la chaux ( $\text{CaO}$ ), la silice ( $\text{SiO}_2$ ), l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et la ferrite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Le clinker est un matériau de base auquel on peut trouver un nombre d'ajouts pour la préparation des ciments, qui sont disponibles sur le marché, On peut ainsi ajouter des cendres volantes, des laitiers de hauts fourneaux, ou encore des fumées de silice, en modifiant ainsi la composition du ciment et par voie de conséquence ses propriétés. Les compositions sont normalisées en fonction des compositions et des mélanges. [4].



## I.5.1.1.principaux catégories de ciment

### I.5.1.1.1 Classification selon les compositions

D'après la norme ENV 197-1 définit 5 types de ciment dont la composition doit être conforme au tableau I.2. [5]

**Tableau I.2** : Principales catégories de ciment. [5]

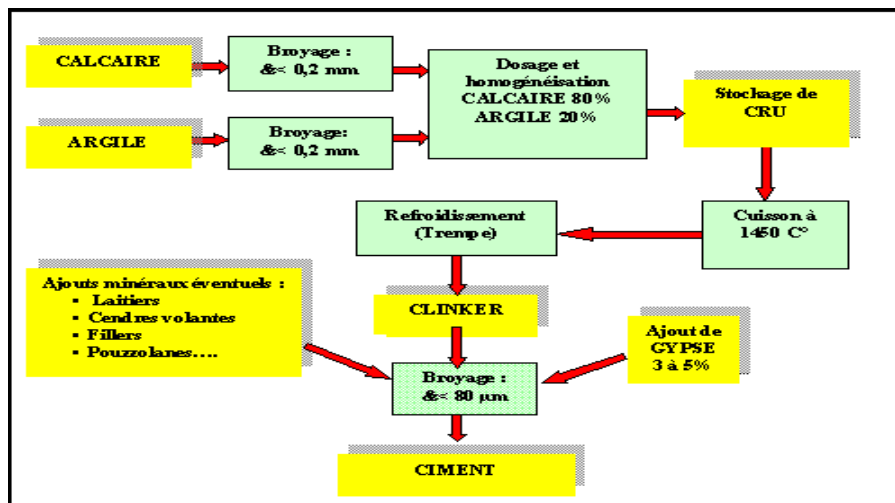
Désignations	Notation	Clinker	Autres constituants	Constituants secondaires
Ciment Portland	CPA -CEM I	95-100	----	0-5
Ciment Portland composé	CPJ-CEM II/A	80-94	6-20	--- ---
	CPJ-CEM II/B	65-79	21-35	--- ---
Ciment de haut fourneau	CHF-CEM III/A	35-64	36-65	0-5
	CHF CEM III/B	20-34	66-80	0-5
	CLK-CEM III/C	5-19	81-95	0-5
Ciment Pouzzolanique	CPZ-CEM IV/A	65-90	10-35	0-5
	CPZ-CEM IV/B	45-64	36-55	0-5
Ciment composé	CLC-CEM V/A	40-64	18-30	0-5
	CLC-CEM V/B	20-39	31-50	0-5

### I.5.1.1.2 Classification selon la résistance:

C'est la norme **NF EN 196-1** qui permet de déterminer la résistance mécanique d'un ciment, mesurée en fait par des essais de compressions sur des éprouvettes de mortier. Cette résistance augmente avec le temps depuis le début de la prise : elle est mesurée à 2,7 et 28 jours. Les résistances à 2 et 7 jours sont les résistances à court terme  $R_{c2}$  ,  $R_{c7}$  et la résistance à 28 jours est la résistance courante  $R_{c28}$ . Le tableau I.3 permet de retrouver les résistances à attendre (en mégapascals) selon les désignations employées. [6]

**Tableau I.3 :** Classification du ciments selon la résistance

Classe	Rc2 (Mpa)	Rc7 (Mpa)	Rc28 (MPa)	RC28 max (MPa)
32.5N	-	16(minimum14)	32.5 (minimum30)	52.5
32.5R	10(minimum8)	-		
42.5N	10(minimum8)	-	42.5 (minimum40)	62.5
42.5R	20(minimum18)	-		
52.5N	20(minimum18)	-	52.5 (minimum50)	-



**Figure I.4 :** Etapes de fabrication du ciment

## I.5.1.2. Les Constituants principaux du ciment et les additions :

### I.5.1.2.1 Le clinker :

Le clinker est le principal constituant des ciments courants. C'est un produit obtenu par

## CHAPITRE: I Revue bibliographique sur le béton et ses constituants

cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkirisation) vers 1450 °C d'un mélange convenablement dose et homogénéisé de calcaire (80 % environ) et d'argile (20 % environ). [7]

### Composition chimique :

Le clinker est principalement composé d'oxydes métalliques, les quatre principaux : l'oxyde de calcium (CaO), de silicium (SiO<sub>2</sub>), d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), représentant environ 95 % en masse. La composition chimique moyenne du clinker est présentée dans le tableau I-4.

**Tableau I.4 :** Composition chimique du clinker. [8]

Composants du clinker	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Notation cimentière	C	A	F	S	M	S	K	N
Teneurs %	62-67	2-9	1-5	19-25	0-3	1-3	0,6	0,6

### Composition minéralogique :

Le ciment portland contient 4 principaux constituants sont :

**Tableau I.5 :** Compositions minéralogiques moyenne du clinker. [9]

Composants minéralogiques	Alite C <sub>3</sub> S	Bélite C <sub>2</sub> S	Célite C <sub>3</sub> A	Célite C <sub>4</sub> AF
Teneur en (%)	40 à 70%	10 à 30%	2 à 15%	0 à 15%

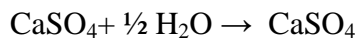
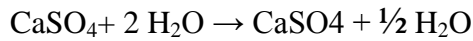
#### I.5.1.2.2 Le gypse(CaSO<sub>4</sub>) :

Le gypse est une roche blanche, d'aspect mat, finement cristallin, tendre (rayable à l'ongle) et de densité 2.3. Quelques traces jaunes de soufre peuvent apparaître. Il est constitué en majeure partie de sulfate de calcium hydraté (CaSO<sub>4</sub>, 2(H<sub>2</sub>O)). Le gypse est très pur (souvent 98%) et ne nécessite pas de purification lors de son exploitation.

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plus tôt une demi-

heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement.[10]

Le gypse va se déshydrater en plâtre, éventuellement en anhydrite et modifier le comportement rhéologique du ciment.



### I.5.1.2.3 Les ajouts minéraux :

D'après leur composition, les ajouts minéraux contiennent principalement de la silice amorphe qui réagit activement avec l'hydroxyde de calcium qui se forme lors de l'hydratation des minéraux faisant partie du clinker. Le rapport entre le clinker et l'adjuvant hydraulique (ajout minéral) est établi en fonction de l'activité de l'adjuvant et de la composition minéralogique du clinker.

#### **Le calcaire :**

Les calcaires sont des roches sédimentaires, troisièmes par ordre d'abondance après les schistes et les grès, facilement solubles dans l'eau, composées majoritairement de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  mais aussi de carbonate de magnésium  $\text{MgCO}_3$ .

- Le filler calcaire en général conduit à une augmentation de la vitesse d'hydratation du ciment et par conséquent :

À une diminution du début de prise.

À une augmentation des résistances initiales.

- La finesse du filler contrôle ce mécanisme.

- Le filler calcaire va réagir avec les produits d'hydratation du ciment, en se formant des carboaluminates de calcium au lieu de monosulfoaluminate, ce qui permet d'avoir d'ettringite à long terme.

#### **01) Laitier de haut fourneau :**

C'est un coproduit de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux. Il se présente en forme angulaire et vitreuse. Broyé finement, il est utilisé jusqu'à 50% du poids du ciment. [11]

#### **02) Les cendres volantes :**

Ce sont les fines poussières récupérées lors de la combustion du charbon des centrales thermiques. Elles se présentent sous formes de particules sphériques pleines de creuses ayant

le diamètre d'un grain de ciment. Leurs dosage varient entre 30 et 50% par rapport à la masse du ciment.

### I.5.2 les granulats :

Les granulats est un fragment de roche destiné à la fabrication d'ouvrage de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Leur nature et leur forme dépendent de leur provenance et des techniques de production. Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimensions (comprise entre 0 et 125mm). Se situe dans l'une des 6 familles suivantes:

– fillers – sablons – sables – graves – gravillons – ballast



Figure I.5: Différents types de granulats

#### I.5.2.1 Classification des granulats :

Le granulat est désigné par le couple d/D avec :

d: dimension inférieure du granulat

D: dimension supérieure du granulat

Tableau I.6 : classification du granulats

Familles	Dimensions	Caractéristique
Filler	0/D	$D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0.063 mm
Sablons	0/D	$D \leq 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0.063 mm
Sables	0/D	$1 < D \leq 6.3$ mm
Gravies	0/D	$D > 6.3$ mm
Gravillons	d/D	$D \geq 1$ et $D \leq 125$ mm
Blasts	d/D	$d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm

### I.5.2.2 Utilistion des granulats:

Les granulats sont utilisés pour la réalisation des : filtres sanitaires, filtres, drains, bétons, remblais routiers, ...

Les deux principales utilisations des granulats sont les bétons et la viabilité, à savoir des couches de roulement des routes et autoroutes, des aéroports et des voies de chemin de fer.

Le béton est aujourd'hui le produit industrielle plus utilisé dans le monde. Il peut être mis en oeuvre : soit sous forme liquide, le béton prêt à l'emploi (BPE), directement sur les chantiers, dans des coffrages où il fait sa prise, soit sous forme de produits préfabriqués en béton, tels que des parpaings, des tuyaux, des poutrelles, des planchers, des cloisons, des escaliers... [12]

### I.5.3 le sable:

#### Définition :

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre  $05\mu\text{m}$  et  $80\mu\text{m}$  ; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient d'une classification à une autre, c'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3 mm et dont le passant à  $80\mu\text{m}$  n'excède pas 30% dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm.les fines [13].

#### I.5.3.1 Les types de sables:

Sable de rivière, Sable de mer, Sable de carrier, Sable artificiel, Sable de dune, Sable recycle

#### I.5.3.2 Classification des sables:[14]

##### 1) Sable grossier :

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

##### 2 ) Sable moyen :

Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des elements supérieurs a $80\mu\text{m}$  sont compris entre 0,2 et 2mm.

### 03) Sable fin :

Plus de 75% des éléments supérieurs à 80  $\mu\text{m}$ , sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.[14]

**Tableau I.7** : Classification des sables suivant les valeurs de module de finesse

Sable	module de finesse MF	Refus cumul sur les tamis 0.633 en %
Gros	3.4 à 2.4	50 à 75
moyen	2.5 à 1.9	35 à 50
fin	2.0 à 1.5	20 à 35

### I.5.4 L'eau de gâchage:

Elle est conforme aux prescriptions de la norme [NBN EN 206-1]. Le « gâchage » est l'opération irréversible d'ajout de l'eau au ciment. Cette opération se poursuit par le malaxage. L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton. Les eaux naturelles conviennent comme eaux de gâchage, à moins qu'elles ne contiennent des substances qui gênent le durcissement comme certaines eaux usées ou des eaux marécageuses. En cas de doute, une analyse chimique s'impose. La résistance d'un béton dépend du rapport E/C (masse d'eau/masse de ciment) du mélange. Le rapport E/C d'un béton courant varie entre 0.4 (qualité supérieure) et 0.6 (béton de fondation).

En général toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui influenceraient défavorablement sur le durcissement (matières organiques telles que le huiles, les graisses, et les sucres ...) ou la corrosion des armatures (acides humiques, eaux de mer...). L'eau potable du réseau de distribution convient très bien mais l'eau puisée en eau courante ou dans la nappe phréatique peut en général convenir. On évitera toujours l'approvisionnement en eaux stagnantes odoriférantes [15].

### I.5.4.1 Les trois types d'eau :

1) **L'eau chimiquement liée** : Elle n'est plus considérée comme faisant partie de la phase liquide car cette eau est combinée aux hydrates, dont elle fait partie, sous forme d'eau de cristallisation.

2) **L'eau adsorbée**: est constituée par les couches de molécules d'eau sur la surface solide des pores. Soumises aux champs des forces électriques superficielles des particules de CSH et à l'action des forces de VAN DER WAALS. La structure électronique de la molécule d'eau ne varie que très peu dans ce cas .

3) **L'eau libre**: cette eau échappe aux forces superficielles des particules solides. En excès par rapport à l'eau nécessaire à l'hydratation, elle occupe les micropores.

### I.5.5 Les adjuvants:

Un adjuvant est un produit d'addition destiné à renforcer d'une manière définitive certaines qualités ou améliorer certaines caractéristiques d'un béton hydraulique.[16]

Aussi, Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau, qui incorporés aux bétons à des doses qui doivent être inférieures ou égale à 5% du poids du ciment permettant d'améliorer certains de ses propriétés. [17]

Ils fournissent au formulateur de béton une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en oeuvre des bétons, adapter leur fabrication par temps froid ou chaud, réduire les coûts de mise en oeuvre, améliorer les propriétés des mortiers / bétons durcis, voire même lui conférer des propriétés nouvelles. Il existe plusieurs types d'adjuvant qui sont régis par la norme NF EN 934-2, mais ceux qui conditionnent l'ouvrabilité du béton sont les **super plastifiants**.

- Ces produits ont une influence sur la mise en oeuvre du mortier ou sur les réactions chimiques générées par la liaison du mortier.

-On peut classer ces adjuvants en trois principaux groupes agissant sur des propriétés différentes :

le degré d'hydratation avec les retardateurs de prise.

- la maniabilité et la porosité avec les rétenteurs d'eau et les super plastifiants.

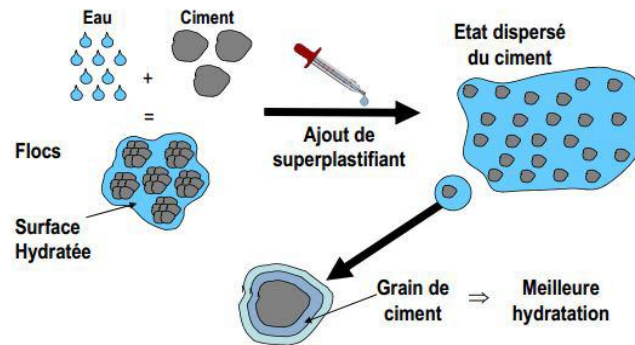
- la résistance vis-à-vis du gel-dégel avec les entraîneurs d'air.

Parmi les divers adjuvants du béton on peut citer :

\* Les plastifiants et super plastifiants ou hauts réducteurs.



- \* Les entraîneurs d'air.
- \* Retardateur de prise.
- \* Agent de cure interne.
- \* Antigél.
- \* Inhibiteur de corrosion.
- \* Accélérateur de prise et de durcissement.
- \* Agent réducteur de bullage.
- \* Agent hydrophobe.
- \* Hydrofuge de masse.
- \* Accélérateur de durcissement.



**Figure I.6:** Mécanisme des floculations avec et sans super plastifiants.

### I.6 Différents types de bétons :

#### I.6.1 Béton ordinaire :

Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base ciment, granulat, eau, avec un rapport (E/C) qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée.

Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre  $20 \text{ MPA} \leq f_{c28} \leq 50 \text{ MPA}$  [18].

#### I.6.2 Béton auto plaçant (BAP) :

Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon [19].

Le béton auto plaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place Par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration.

Il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes, il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique [20].

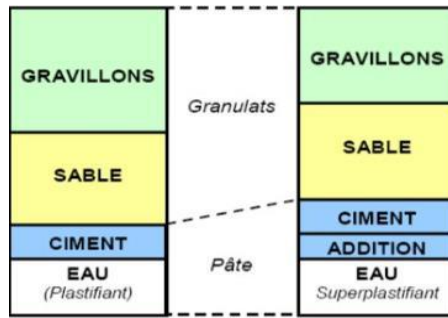


Figure I .7: les constituants de BAP

### I.6.3 Béton de haute performance (BHP) :

Bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPA), et un rapport pondéral (E/C) inférieur à 0 ,40. Leur propriété essentielle est leur grande Résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires.

Ceci est obtenu grâce à leur faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de Gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants [21].

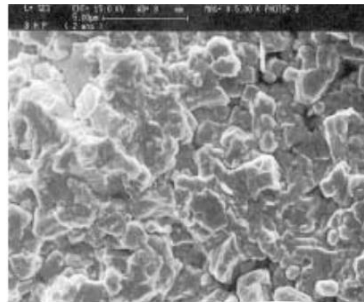


Figure I.8 : Microstructure d'un BHP

### I.6.4 Béton de fibre :

Béton dans lequel sont incorporées des fibres, ce qui permet suivant l'ouvrage de supprimer le Treillis soudé traditionnel [22].



Figure I.9 : beton fibré

### **I.6.5 Béton a durcissement rapide :**

Bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent La réalisation des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service, Rapide, ainsi que le décoffrage prématuré ou la mise en précontrainte le plus rapidement en Préfabrication [23].

### **I.6.6 Béton léger :**

Les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage 2100 kg/m<sup>3</sup>. Parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique [24]

### **I.6.7 Béton lourd :**

C'est un béton dont la masse volumique est supérieure à 2600 kg/m<sup>3</sup>, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau [25].

## **I.7 Propriétés des bétons [26]**

Le béton doit être considéré sous deux aspects **frais et durci**

### **I.7.1 Le béton frais:**

#### **Définition:**

Mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en oeuvre dans son coffrage.

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité, qui le rend apte à remplir n'importe quel volume, à condition que sa composition ait été étudiée en conséquence et que les moyens de mise en oeuvre soient appropriés. L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton à remplir les coffrages et à enrober convenablement les armatures. De nombreux facteurs influent sur l'ouvrabilité: type et dosage en ciment, forme des granulats, granulométrie, emploi d'adjuvants et, bien entendu, dosage en eau.

### I.7.1.1 la valeur d'affaissement au cône d'Abrams :

La norme NF EN 206-1 définit cinq classes de consistance

**Tableau I.8 :** Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams

	Consistance du béton	Affaissement (en mm) au cône d'Abrams
S1	Ferme	10-40
S2	Plastique	50-90
S3	Très plastique	100-150
S4	Fluide	160-210
S5	Très fluide	220

### I.7.1.2 La masse volumique du béton frais :

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de

$$D = (M2 - M1)/V$$

déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

**D** : est la masse volumique du béton

**M1** : est la masse du récipient (kg).

**M2** : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

**V** : est le volume du récipient en mètre cube (m<sup>3</sup>).

### I.7.2 Le béton durci:

#### Définition :

Solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années.

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

### **I.7.2.1 Résistance à la compression**

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et l'établissement des spécifications de conformité. Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours,  $f_{c28}$ . La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de Compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$F_c = F/AC$$

### **I.7.2.2 Résistance à la traction par flexion :**

Des éprouvettes prismatiques de dimensions  $7 \times 7 \times 28$  cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée.

Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NFP18-407(NA428), munie d'un banc de flexion à 4 points. Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :

$$M = P \times A / 2$$

### I.8 Principaux avantages et inconvénients du béton :

#### I.8.1 Avantages du béton :

- Il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien ;
- Il épouse toutes les formes qui lui sont données. Des modifications et adaptations du projet sur le chantier sont faciles à effectuer ;
- Il devient solide comme la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires. Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles ;
- Associé à des armatures en acier, il acquiert des propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé, béton précontraint) ;
- Il convient aux constructions similaires. Les assemblages sont faciles à réaliser dans le cas du béton coulé sur place. Dans la plupart des cas, les dimensions des ouvrages et éléments d'ouvrage en béton sont suffisants pour ne pas poser de problème délicat de stabilité ;
- Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées ;
- Il exige peu d'énergie pour sa fabrication. [27]

#### I.8.2 Inconvénients du béton:

Les principaux inconvénients du béton ont pu être éliminés grâce à son association à des armatures en acier ou à l'utilisation de la précontrainte. De toute façon, il reste les inconvénients suivants :

- Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure et à moins de 1,0 dans le cas de bétons légers d'isolation) ;
- Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux) ;
- Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage. [28]

### **I.9 Conclusion:**

Nous avons fait une revue générale sur le béton, de ses constituants et ses propriétés à l'état frais et durci. Dans la pratique, l'ouvrabilité et la résistance mécanique, sont des propriétés qui doivent être mises au point en premier lors de la formulation des bétons.

## **CHAPITRE : II**

# **GENERALITES SUR LES DECHETS**



**II -1 Introduction**

Un chantier produit beaucoup de déchets qui causent des risques de pollution du sol et de l'eau, et le transport de ce déchet occasionne une importante pollution de l'air. Ces pollutions ont un effet direct sur la nature et sur la santé humaine. Avant de les faire évacuer il faut les trier et les stocker de façon à ce qu'il ne causent pas de nuisance pour l'environnement.

Pour une bonne gestion des déchets de chantier, on doit établir un projet d'installation de chantier faisant apparaître les zones de stockage, et les circuits d'évacuation des déchets. Dans le cadre du tri des déchets, le chantier fera l'objet d'une organisation particulière au niveau de : la signalétique indiquant la nature des déchets à déposer avec une propriété de l'ensemble du chantier, en particulier aux abords des aires de dépôt des déchets en informant le personnel

Ce chapitre est consacré à parler sur les déchets de la brique rouge et le marbre et leur définition comme deux matériaux de construction pouvant être réutilisés comme additifs dans le béton ordinaire pour en améliorer les propriétés physico mécaniques

**II .2 Historique**

Le mot « déchet » n'est pas apparu avec la loi-cadre de 1975, l'expression provenant du terme *déchoir* apparaît au XIII<sup>e</sup> siècle sous la forme *déchié* ou *déchiet*. À l'époque, ce mot est défini assez précisément par « ce qui tombe d'une matière travaillée par la main humaine », ce que nous nommons aujourd'hui les « chutes ». En 1580, cette définition est précisée par Montaigne comme une diminution en volume, en quantité, en valeur, subie par une chose pendant sa fabrication, son emploi. Le terme « ordures ménagères » apparaît quant à lui dans les années 1860-1870 alors qu'Eugène Poubelle instaure à Paris l'obligation de déposer ces dernières dans des « boîtes à ordures » collectées par les services municipaux. Nous les appelons aujourd'hui « poubelles » en référence au nom de son instigateur

**II -3 Définition**

La définition du déchet est établie par la loi française de 1975 . Le déchet y est défini comme « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon [29] .

**II .4 Différents types des déchets : [30]****II .4.1 Déchets ultimes :**

Tout dechet menager et assimile brut issu du ramassage parallele a la collecte selective, le refus de tri, le dechet industriel banal issu des menages et des dechetteries ainsi que les boues de stations d'epuration.

**II.4.2 Déchets inertes :**

Dechet qui ne subi aucune modification physique, chimique ou biologique importante ne se decompose pas, ne brule pas, et ne produit aucune reaction physique ou chimique, ne sont pas biodegradable et ne deteriore pas d'autres matieres avec les quelles il entre en contact, d'une maniere susceptible d'entrainer une pollution de l'environnement ou de nuire a la sante humaine. Ce sont notamment les dechets suivants :

Les betons, les tuiles et les ceramiques, les briques, les dechets de verre, les terres, les enrobes bitumeux. [31]

**II.4.3 Déchets assimilés :**

Les dechets menagers et assimiles recouvrent les ordures menageres (OM) qui proviennent des menages et tous les dechets geres comme tels par les collectivites locales (dechets des artisans ou commercants).

**II.4.4 Déchets verts :**

Dechets vegetaux des parcs et jardins (gazon, branchages...).

**II.4.5 Déchets organiques :**

Les termes suivants recouvrent la meme notion : biodechets ou dechets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures menageres). Il s'agit de :

- Dechets vegetaux des parcs et jardins (dechets verts)
- Dechets organiques de la cuisine (restes de repas, epluchures, papiers essuie-tout, papier.
- Journal, fleurs coupees, marc de cafe, filtres a cafe, sachets de the, coquilles d'oeufs, etc....

- Boues

#### **II.4.6 Les déchets d'activités de soins :**

Les déchets d'activités de soins sont des déchets qui proviennent des soins médicaux ou vétérinaires, ou du secteur de la recherche médicale. On évalue le gisement annuel en France à environ sept cent mille tonnes. Du fait de leur grande diversité, il est difficile de les classer de manière claire. En effet, les déchets d'activités de soins ont des provenances variées, qui vont des déchets de cuisine aux déchets humains et des caractéristiques toutes aussi variées.

Par ailleurs, il n'est pas toujours évident de marquer un seuil entre un déchet hospitalier ne présentant aucun risque et un déchet contaminé

#### **II.4.7 Déchets industriels :**

Les déchets d'activités économiques (DAE), anciennement appelés déchets industriels, sont des déchets produits par les activités économiques (industrie, secteur manufacturier, bâtiment et travaux publics (BTP), secteur tertiaire, agriculture, etc.).

Dans le cadre de la responsabilité élargie du producteur, le producteur est responsable de la gestion de ses déchets jusqu'à leur élimination ou leur valorisation finale. [32].

### **II.5. Classification Des Déchets**

La classification des déchets n'est pas une chose facile et universelle. Ils peuvent être classés de différentes manières selon les objectifs recherchés et selon l'intérêt des informations qui peuvent en être tirées. Leur classification s'avère souvent très pratique et parfois indispensable pour faciliter l'abord d'une question complexe relative à la gestion des déchets et notamment quand il s'agit d'optimiser le choix de leur mode de gestion que se soit à la source ou sur le circuit de leur production. Et la classification selon:

- Leur nature
- Selon leur mode de traitement.
- Selon le comportement et les effets sur l'environnement.
- Selon l'origine.

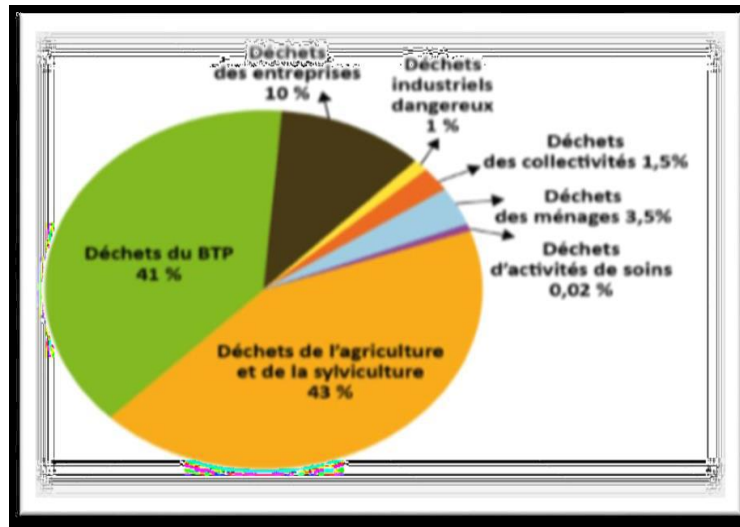


Figure II.1: Les différents types de déchets [Bensafi, Belkacem ,2018] [33]

## II.6 Gestion des déchets:

### II.6.1. Définition:

La gestion des déchets est toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations (Loi 01-19). La réduction à la source, la réutilisation, le recyclage, la valorisation et l'élimination doivent être privilégiés dans cet ordre dans le domaine de la gestion des déchets.

### II.6.2. Mode de gestion des déchets:

#### II.6.2.1. Tri des déchets:

Toutes les opérations de séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement (Loi 01-19)

#### II.6.2.2. Pré-collecte :

Qui consiste en toutes les opérations effectuées pour l'évacuation des déchets ménagers depuis la source de leur production jusqu'au lieu de leur prise en charge par le service de collecte publique (PASCAL, 2004).

**II.6.2.3. Collecte des déchets:**

Selon ADDOU, (2009) la collecte c'est l'ensemble des opérations qui consistent à enlever les déchets chez le producteur ou aux points de regroupement et à les acheminer vers, un quai de transfert, un centre de tri, de traitement ou un centre d'enfouissement technique C.E.T

**II.7 Les déchets de construction et de démolition :**

Les déchets de construction et de démolition représenteraient approximativement 30% de l'ensemble des déchets (en tonnes par an), générés par la Région. La partie majoritaire de cet important gisement de déchets est produite durant les travaux ; une petite partie du gisement est constituée de matériaux neufs non-utilisés. La nature des déchets produits varie fortement en fonction du type de travaux ou de bâtiment. Il s'agit majoritairement de déchets inertes. 75 à 80% des déchets de construction et de démolition seraient recyclés, essentiellement sous forme de remblais [34]

**II.8 les déchets de marbre:**

L'industrie de construction pose de nombreux problèmes à La mise en décharge des déchets des matériaux (impact sur l'environnement, la place occupée par les sites de stockage,.....).

Donc, Il est nécessaire de trouver un moyen pour la valorisation et la réutilisation de ces déchets pour la protection de l'environnement, notre étude s'inscrit dans une politique de valorisation des matériaux industriels locaux en Algérie, pouvant être utilisés dans la conception ou formulation du béton ordinaire , qui est né d'un besoin d'économie et de qualité accrue pour la construction de béton armé.

**II.8.1 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 original donnent alors au marbre.



Figure II .2 : bloc de marbre

diverses colorations et veinages polychromes du plus grand effet esthétique

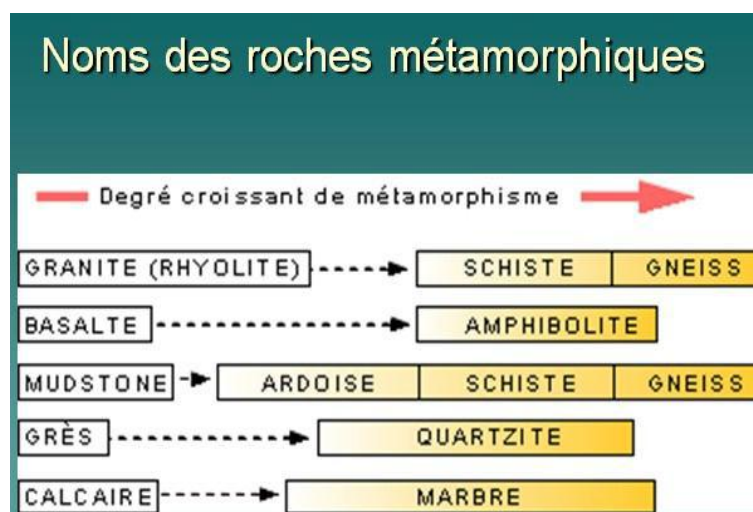


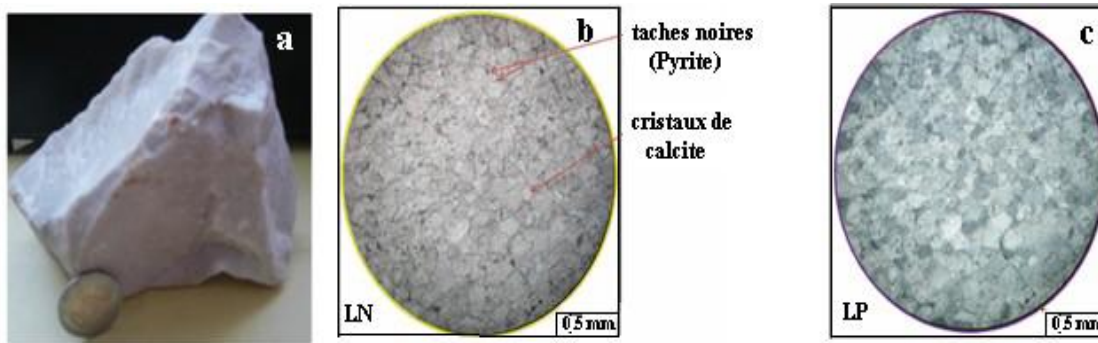
Figure II.3: Quelques transformations des minéraux – métamorphisme Origine du mot marbre:

### II.8.2 Pétro-minéralogie des marbres du gisement de Filfila (SKIKDA) :

Dans ce gisement, plusieurs variétés de marbre existent ; les principales sont le marbre blanc, gris et réséda.

#### II.8.2.1. Marbre blanc

Macroscopiquement, le marbre blanc présente un aspect homogène, une texture massive et une structure granoblastique (FigII.4a). Au microscope ce marbre correspond à un calcaire microcristallin , constitué essentiellement de la calcite de forme isométrique irrégulière et de dimension de 0,2 à 0,4 mm (FigII.4b et 4c) [35].



a) macroscopique

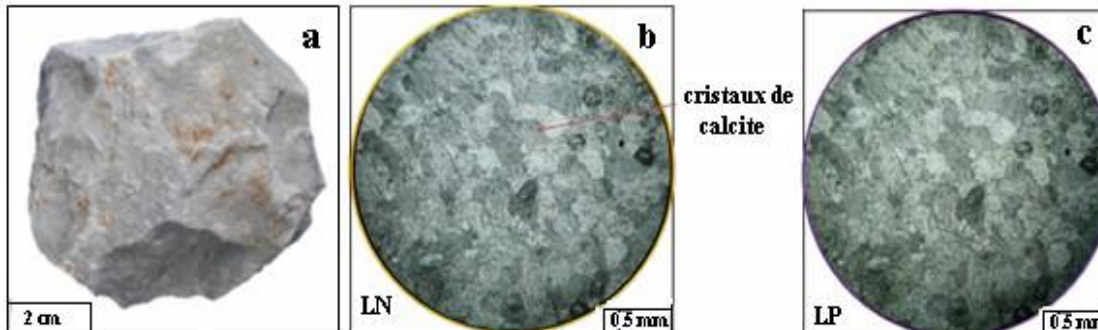
-b) lumière naturelle

- c) lumière polarisée

Figure II. 4 : Marbre blanc

### II.8.2.2 Marbre gris clair

Macroscopiquement le marbre gris clair présente un aspect non homogène, une texture massive et une structure microcristalline (Fig II. 5a). Au microscope, l'échantillon de marbre se compose de calcite recristallisée, de taille moyenne jusqu'à 0,8 mm (Fig II. 5b et 5c). La couleur plus ou moins foncée de la calcite est due à la présence de fer [35].



a) macroscopique

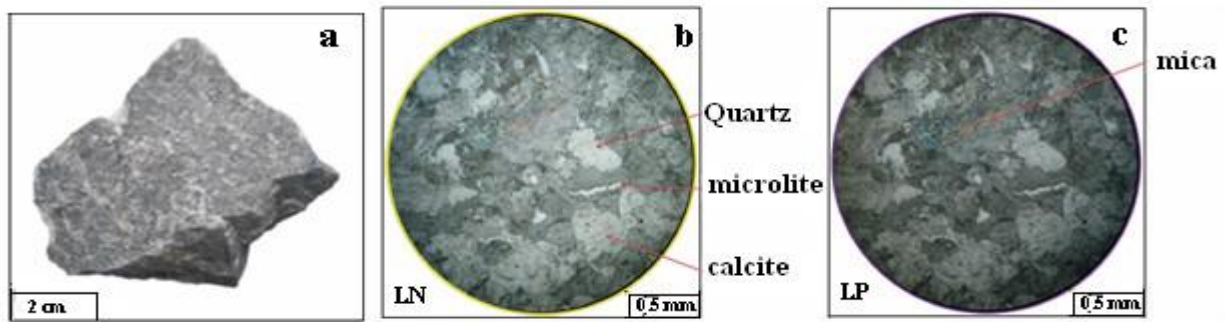
-b) lumière naturelle

-c) lumière polarisée

Figure II .5: Marbre gris clair

### II.8.2.3 Marbre gris foncé

Macroscopiquement, le marbre gris foncé présente un aspect non homogène, une texture massive avec la présence de lentille de quartz et une structure microcristalline (Fig II. 6a). Au microscope l'échantillon de marbre correspond à un calcaire microcristallin composé essentiellement de cristaux de calcite de forme irrégulière allongée et de dimension variant de 0,5 à 1,20 mm (Fig II. 6b et 6c) [35].



- a) macroscopique

-b) lumière naturelle

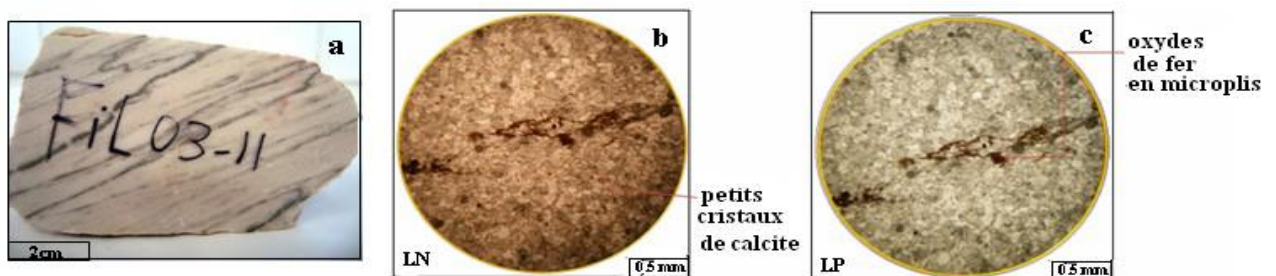
-c) lumière polarisée

**Figure II. 6:** Marbre gris foncé

#### II.8.2.4 Marbre réséda

Macroscopiquement le marbre réséda présente un aspect non homogène, une texture massive et une structure microcristalline (Fig II. 7a). Au microscope l'échantillon de ce type de marbre présente des micro-plissements qui correspondent à d'anciens horizons plus argileux ou plus riches en oxides métalliques

(Fig II. 7b et 7c) [35].



a) macroscopique

b) lumière naturel

c) lumière polarize

**Figure II .7.** Marbre réséda

#### II.8.3 La poudre de marbre:

La poudre de marbre est du calcaire ou carbonate de calcium très dur. Sa couleur est d'un blanc pur avec des brillances. Elle est utilisée comme charge dans les peintures et enduits traditionnels, suivant sa granulométrie, dans les enduits fins et les stucs ainsi que le tadélaht. Granulométrie très très fine 0-25 µm.





Figure II.8 : la poudre de marbre

Tab II.1: Composition chimique de la poudre de marbre [A.H. Mohammed et all, 2016][36]

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



Figure II.9: Roche de marbre

#### II.8.4 Effet de la poudre de marbre:

Cette effet agissant sur la qualité des ciments 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.8.4.1 Effet de la poudre de marbre sur les propriétés physiques des bétons :**

Effet de la poudre de marbre sur les propriétés physiques, La poudre de marbre incorporée dans un béton modifie le squelette granulaire du mélange, qui peut compenser un déficit en particules fines. Le squelette se trouve alors optimisé par remplissage d'une partie de volume des vides, la maniabilité du mélange s'améliorant. Si la quantité d'eau est réduite pour conserver la même maniabilité, alors la résistance augmente, cet accroissement de la résistance est appelé effet de filler de la poudre de marbre. [37]

##### **II.8.4.1. 1 Effet sur la porosité:**

Les fillers de la poudre de marbre auraient tendance à modifier la densité des C-S-H. En général la densité des C-S-H d'échantillons de pâtes contenant du  $\text{CaCO}_3$  (corrigée en prenant en compte la présence de portlandite, de  $\text{CaCO}_3$  et de  $\text{C}_3\text{S}$  anhydre) est légèrement plus importante. Cependant cette relation dépend également du degré d'hydratation des matériaux. La densité d'une pâte de  $\text{C}_3\text{S}$  incorporant du carbonate de calcium est par contre plus faible dans le cas de l'utilisation de  $\text{CaCO}_3$  [Adams et Race, 1990]. À un certain degré d'hydratation, une pâte de  $\text{C}_3\text{S}$  ne contenant pas de  $\text{CaCO}_3$  a une porosité totale plus faible. Cependant durant les sept premiers jours d'hydratation, une pâte contenant par exemple 15% de  $\text{CaCO}_3$  peut posséder une porosité plus faible, due des degrés différents d'hydratation comparativement à une pâte du même âge sans  $\text{CaCO}_3$ . [38]

##### **II.8.4.2 Réactivité indirecte de la poudre de marbre:**

L'addition de  $\text{CaCO}_3$  augmente le taux d'hydratation du silicate tricalcique. Cet effet serait d'autant plus important que la finesse des particules ajoutées diminuerait et que la quantité de carbonate de calcium ajoutée serait accrue. Le carbonate de calcium accélérerait l'hydratation du silicate tricalcique comme le dichlorure de calcium mais sans toutefois diminuer la période d'induction. L'effet accélérateur est particulièrement marqué pour une teneur optimale en  $\text{CaCO}_3$ . Après cet optimum, il pourrait bloquer la dissolution et la cristallisation de produits d'hydratation. Cela pourrait provenir du fait que des particules de  $\text{CaCO}_3$  seraient

incorporées dans la phase des C-S-H. Plus la quantité de  $\text{CaCO}_3$  incorporée serait grande, plus cette partie prise par les C-S-H serait importante, du moins jusqu'à une valeur de 25% [39]

#### **II.8.4.3 Réactivité directe de la poudre de marbre:**

Longuet, et al ont introduit la notion de filler inerte ou actif. Ils ont proposé d'étudier la réactivité avec le C3A comme évaluation de la réactivité hydraulique de la poudre de marbre donné. En effet, il a été démontré que le  $\text{CaCO}_3$  peut réagir avec le clinker. Des analyses de diffraction aux rayons X a permis de détecter la présence de carbo-aluminates de calcium hydratés dans des pâtes de ciment. Ces produits pourraient se former en présence ou non de gypse dans le mélange. La formation de carbo-aluminates de calcium hydraté est vue comme analogue à celle de l'ettringite. Il y a composition entre  $\text{SO}_4$  et  $\text{CO}_3$  pour réagir avec les aluminates de calcium. La participation directe du carbonate de calcium (introduit par le biais de l'addition de fillers calcaires) à la réaction avec hydraté de formule  $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ . La forme  $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaCO}_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$  aurait été identifiée dans un mélange cimentaire avec  $\text{CaCO}_3$ . [40]

#### **II.9 Le déchet de brique:**

Les considérations économiques et environnementales affectent de plus en plus l'approvisionnement des déchets. Il y a des grands défis à la réalisation et au sens opposé des grandes objections à l'ouverture de nouveaux bancs de carrières. En même temps, on se heurte, des difficultés pour déposer à la décharge et de sous-produits inertes de l'industrie et, à l'existence des décharges sauvages qui affectent l'environnement. Ces types de résidus peuvent être transformés en vue de leur utilisation dans la fabrication du béton.

L'usage de déchet de brique pour la fabrication du béton est jugé, le niveau bas de recyclage de ce dernier peut être à cause de manque des recherches dans leur application et utilisation en construction des routes. Il faut ajouter que la brique à cause de son mauvais comportement en compression et avoir un haut degré d'absorption d'eau ne peut pas être utilisée facilement dans le béton. Ce genre des déchets est une menace sérieuse pour l'environnement et hygiène des eaux souterraines de surcroît il a un aspect qui frappe désagréablement à l'oeil. Le traitement nécessaire des déchets n'est pas simple, parfois s'est plus onéreux, et demande des connaissances spécialisées, puisque aucun de ces matériaux n'est normalisé. [41]

La brique est un parallélépipède rectangle, de terre argileuse crue et séchée au soleil ou cuite au four, utilisé comme matériau de construction. L'argile est souvent mêlée de sable.



**Figure II.10:** la brique rouge

### **II .10 Technique de la production de la brique:**

La production de la brique, est un travail complexe qui permet une production en grande quantité à des coûts raisonnables, demande une parfaite organisation Il y a cinq étapes se succèdent dans la fabrication de la brique :

- 1) *L'extraction de la terre*, jusqu'à la fin du XIXe siècle our furent inventées les premières excavatrices motorisées, se faisait à la pelle.
- 02) *La préparation de la pâte* : mélange d'une ou plusieurs terres argileuses, ou de limon, avec de l'eau et des éléments dits "dégraissants", comme le sable.
- 03) *Le façonnage de l'antiquité*, on voit apparaître le moule, cadre de bois avec ou sans fond, aux dimensions de la brique à produire.
- 04) *Le séchage* est, en effet, indispensable de faire sécher doucement la brique de terre crue, avant de la cuire. Ce séchage se fait actuellement en séchoir artificiel, mais autrefois, la brique était mise à sécher sous de vastes hangars à l'air libre.
- 05) *La cuisson* est l'opération la plus délicate, la brique est mise à cuire dans un four.

**II.11 Types de brique :**

Il existe différents types de briques pleines avec des aspects de surface variée. On distingue différents types de briques :

- la brique de terre crue, qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin...).
- la brique de terre compressée.
- la brique cuite pleine, matériau traditionnel très ancien, avec une variante appelée brique pleine perforée (les perforations sont perpendiculaires au plan de pose).
- la brique légère et isolante (qui flotte sur l'eau) utilisée une terre silico-magnésienne sans consistance .
- la brique cuite creuse, plus légère et plus isolante, est devenue la plus utilisée.
- la brique de chanvre, ayant de très bonnes propriétés d'isolation thermique.
- la brique non gélive .
- la brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc.[42]

**II.11.1 Les caractéristiques physico-chimiques de la brique:**

Selon (Manuel de sensibilisation, 2006), les types d'argiles sont dans les briques cuites. Ils sont : les illitiques (couleur marron gris à rouge) les kaoliniques et les bravaistiques (couleur orange à rose). Les éléments métalliques sont aussi trouvés dans la pâte argileuse. Ces éléments dits « réfractaires » le degré de fusion est très supérieur à celui de la température (800° à 1000°) des fours à brique : la silice ( $\text{SiO}_2$ ) et de l'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Les déterminants de la couleur basique de la brique (les colorants) ce sont :

1- L'oxyde de fer.

2- L'oxyde de titane.

3- L'oxyde de manganèse.

Les fondants aussi ce sont à deux types :

1- Les oxydes alcalins (oxyde de sodium et potassium)

2- Les oxydes alcalino-terreux (chaux et magnésie) Selon (Aissa Salem, 2016), la composition minéralogique de déchet de brique rouge a été déterminée par fluorescence X. le tableau II.2 présente les résultats obtenus qui mettent en évidence des pourcentages élevés en silice et en alumine.

**Tableau II.2** : Composition minéralogique de déchets de briques. (Aissa Salem, 2016) [43].

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

**II.12 déchet de brique:**

- Les déchets de briques sont des sous trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes ou cassées) qu’elles génèrent et qui représentent 10 à 15 % de leurs productions Par ailleurs des études ont montré un caractère pouzzolanique de ces déchets, raison pour laquelle nous avons décidé de substitué une partie du clinker par ce sous déchets ont fait l’objet d’un broyage, pour les transformer en poudre fine..[44]



**Figure II .11:** dechet de brique

**II.12.1 Broyage de déchets de brique:**

Dans notre étude, nous avons utilisé les déchets de briques, ses dernières sont des chutes,issus de la destruction des briques creuses lors de la fabrication ou/et du stockage des briques dans l'usine de fabrication. (Fig. II .12). représente le boryage de déchets de brique.



**Figure II .12:** Broyage de déchets de brique

### II.12.2 Tamisage de la poudre de brique

Tamiser la poudre de brique en utilisant un tamis de 0,08 mm



**Figure II .13:** Tamisage de la poudre de brique (tamis 0,08mm).

### II.13 Valorisation des déchets de la brique:

Il existe peu d'informations disponibles sur le devenir des déchets de briques qui constituent la plus grande partie des déchets de démolition et de décombres. D'une part, techniquement, les déchets de briques sont pratiquement recyclés comme composant d'un matériau type

maçonnerie. D'autre part, l'absence quasi-totale des textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des déchets de briques.

La valorisation de la matière est un mode d'exploitation des déchets qui vise à leur mise en valeur afin de les réintroduire dans le circuit économique.

Elle couvre le réemploi, la réutilisation, la régénération et le recyclage de la matière .[45].



**Figure II .14:** valorisation de déchets de brique rouge comme un poudre .[Marc Mélon ,2017][46]

### **II.13.1 Réutilisation:**

Lors de travaux de démolition, les briques récupérées peuvent être nettoyées et réutilisées sur le même chantier ou ailleurs. Par ailleurs, certaines briques anciennes ont une grande valeur architecturale et sont recherchées pour les rénovations historiques [47].

### **II.13.2 Recyclage**

Le recyclage est un procédé qui consiste à réintroduire le déchet dans le cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première naturelle. Il se distingue de la réutilisation par la nécessité de nouveau traitement que la matière subisse.

La brique, peut être concassés et utilisés comme granulats dans la couche de foundation routière, comme matériaux de remblai, pour l'aménagement paysager et pour d'autres applications dans le domaine de la construction textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des déchets de brique [47].



**II.14 Intérêt du recyclage dans le génie civil :**

Actuellement, la plupart des granulats utilisés sur le marché sont des granulats naturels issus de carrières ou de l'extraction des lits des fleuves ou des fonds marins. Ces produits offrent l'avantage d'une qualité relativement constante et d'un approvisionnement continu.

Recycler des déchets dans une utilisation comme granulats pour les routes ou la construction permet:

- une économie de la ressource naturelle.
- une réduction du transport des matériaux, donc une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.
- une mise en oeuvre rapide minimisant la gêne pour les habitants.
- la réduction des quantités de matériaux mis en décharge

**II.15 Avantages et inconvénients d'utilisation des briques:****II.15.1 Avantages:**

Le principal avantage de la brique, outre son esthétique valorisante, est que sa masse thermique se convertit en efficacité énergétique. Elle est adaptée à la rudesse du climat et possède d'autres caractéristiques intéressantes, notamment :

- elle ne contient aucun produit toxique ;
- c'est un bon insonorisant ;
- elle est recyclable ;
- elle résiste au feu et aux écarts climatiques ;

La simplicité de sa fabrication fait retrouver à la brique un intérêt chez les amateurs de nouveautés et de recherche de performance énergétique **.[48]**.

**II.15.2 Inconvénients: [49].****II.15.2.1 Changement de température**

- Bois et métal peuvent étendre et contracter pour tenir compte des changements de température qui se produisent dans certaines régions du pays ;
- Brick est incapable de soutenir des années de changements extrêmes de température et peut commencer à se fissurer ;
- La neige et l'eau peuvent pénétrer dans les pores de brique et de mortier puis développe quand il gèle ;
- Cela provoque une rupture progressive de la brique qui nécessitera le remplacement au fil du temps ;

**II.15.2.2 Conditions météorologiques**

- Construire une maison en briques peut prendre plus longtemps que la plupart des autres matériaux de construction parce que la brique ne peut pas être posée en cas de mauvais temps ;
- Une maison de briques nécessite une forte attraction entre la brique et le mortier de rester stable pendant de nombreuses années ;
- La pluie et le froid réduisent de manière significative l'efficacité de mortier et de faire la construction de briques instables ;

**II.15.2.3 Temps et cout**

maisons de briques sont construits à la main, une brique à la fois. La construction d'une maison en briques nécessite plus d'ouvriers qui travaillent de longues heures et qui peut augmenter le prix de la construction.

**II.16 Le déchet de brique rouge dans le béton:**

Les déchets de brique rouge peuvent être concassés pour produire des granulats d'un béton léger :

1- Structure pour semelles de fondation, parois de cave, éléments de construction au béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/m<sup>3</sup>, une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg/cm<sup>2</sup>. Présentant une élasticité élevée à la pression et à la flexion composée, un faible coefficient de retrait, une faible conductibilité et dilatation bas.

2- Isolant poreux pour les parois. (Les parpaings et les carrelages avec des poids spécifique de 1000 à 1600 kg/m<sup>3</sup>, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg/cm<sup>2</sup>, une résistance à la traction de 5 à 10 kg/cm<sup>2</sup>, des coefficients de retrait 0.20 à 0.30mm, une faible conductibilité de la chaleur.

3- Mono granulométrique du groupe 1/3 mm. Dont on peut produire des bétons poreux de déchet de brique rouge présentant une isolation thermique poussée.

4- Béton non armé (damé) nécessaires aux fondations massives, fondation de murs, et la fabrication du béton de remplissage.

5- Les relèvements de routes sur les ponts, avec une densité faible.

6- La construction d'assises routières, comme matériau de remblaiement, l'aménagement paysage.

7- Le béton à base de brique présente une bonne résistance au feu. Le béton classique en générale ne résiste pas à des températures supérieures à 300°C. Les bétons réfractaires sont capables de résister non seulement à des températures élevées mais à certaines corrosions chimiques qui sont utilisés pour la confection d'ouvrage à des températures élevées tels que : cheminées, revêtements des chaudières, de sols d'usines

sidérurgiques, carreaux de cheminées. (**Barkat Abderezak**, 2006) et les sources des briqueteries indiquent que les déchets de brique trouvent parfois des utilisations locales occasionnelle comme :

1- Plates formes en béton.

2- Chapes en mortier du ciment.

3- Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture.

4- Réfection de planchers anciens.

5- Béton réfractaire utilisé pour revêtement des wagons de brique.

**II.17 Conclusion:**

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

La valorisation des déchets inertes, nous montre la possibilité d'utilisation de ces derniers dans le domaine de génie civil.

**Chapitre III:**  
**caractérisation des matériaux et**  
**matérielles utilisés**

## **Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés**

---

### **III.1 Introduction**

Dans ce chapitre on présente les caractéristiques physico-chimiques des matériaux utilisés pour confectionner nos mélanges, et qui sont également présentés pour analyser et justifier ultérieurement les résultats d'essais au laboratoire.

### **III . 2 Consttution de melange :**

Le beton est constitué de ciment , de granulats , d'eau et eventuellement d'adjuvants ou d'ajouts. Etant donné la grande d'eversité des materiaux qui sont à notre disposition sur le marché , il s'avere obligatoire de préciser ceux que nous avons adopté. Les caractéristiques physico-chimique de ces materiaux d'études sont également présentées pour analyser et justifier ulturieurement les resultats d'essai.

### **III .3 Matériaux utilisés:**

Les différents matériaux utilisés dans cette étude sont :

- Le sable : siliceux provenant d'OUAD (ELBAADJ) de OUAD SOUF
- Le gravier : Deux fractions de concassé (8/15, 15/25) .
- Le ciment : CPJ 42.5 provenant de la cimenterie AIN TOUTA DE BATNA.
- L'ajout : les poudres (déchet de brique et dechet de marbre ) acquis à partir du broyage de leurs déchets.
- L'eau de gâchage : eau potable fournie au niveau de notre laboratoire .

### **III .4 Caracterisation des matériaux utilisés:**

Les différents matériaux utilisés ont été identifiés soit à partir d'essais d'identification au sein du laboratoire de génie civil de l'université Mohamed khider – de biskra , selon un programme d'essais réalisé conformément aux normes européennes, soit à partir de la fiche technique associée pour d'autres. Parmi les essais effectués sur les matériaux, on cite :

#### **III .4.1 Le ciment:**

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment composé de type CEM II/A 42.5N de classe de résistance 42.5, produit par la cimenterie de **AIN TOUTA (Batna)**



**Figure III.1** : le ciment utilisé CEM II/A 42,5

### III .4.1.1 Masse volumique apparente:[NA EN 1097-6]

Est la masse d'un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains le constituant. Les essais consistent à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau; elle est donnée par la formule:

$$\gamma_{app} = (M_2 - M_1) / V$$

Avec :

M1: la masse d'une récipient vide

M2: la masse du ciment

V : le volume de la récipient

#### **Principe de l'essai :**

Le principe de cette mesure consiste à remplir un récipient avec un volume intérieur connu et de peser la quantité de granulats correspondant.

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

---

### Matériels utilisés :

- Une balance avec une précision de 0.01g.
- Un récipient avec un volume de 1 litre.
- Une règle a arase.
- une echantillon de ciment .

### Mode opératoire

- ✓ Peser le récipient à vide et noter M1,
- ✓ Prendre le matériau dans les 2 mans formant entonnoir,
- ✓ Placer les 2 mains à 10 cm environ au-dessus de la mesure et laisser tomber le matériau ni trop vite, ni trop lentement,
- ✓ Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce déborde autour en formant un cône,
- ✓ Araser à la règle,
- ✓ Peser le contenu et noter M2.

### III .4.1.2 La Masse Volumique Absolue:

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seul sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en ( $\text{c}/\text{cm}^3$ ,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $\text{t}/\text{m}^3$ ).

### Principe de l'essai:

Est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains, on a appliqué la méthode de l'éprouvette gradués:

### Mode opératoire :

- remplir une éprouvette graduée avec un volume  $V_1 = 400$  ml de mazoute.
- peser un échantillon sec du ciment  $M = 300$  g et on l'introduire dans l'éprouvette graduée en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- le liquide monte dans l'éprouvette de volume  $V_2$  .



## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

La masse volumique absolue est donnée par la formule:

$$\rho \text{ abs} = M / (V2 - V1)$$

La masse volumique absolue du ciment CPJ 42,5 est de 3,1 g/cm<sup>3</sup>, cette valeur est déduite de la moyenne de trois essais.

### Méthode du pycnomètre. :

- 1- Peser le pycnomètre vide soit m<sub>1</sub>, le remplir d'eau distillée et le peser, soit m<sub>2</sub>.
- 2- Remplir le pycnomètre de toluène et le peser, soit m<sub>3</sub> ; puis introduire le liant et peser, soit m<sub>4</sub>.
- 3- Remplir de toluène, éliminer les bulles d'air, adapter le bouchon et amener le niveau de toluène jusqu'au trait repère. Peser, soit m<sub>5</sub>.

**Tableau III:1..** la masse volumique de ciment

Matiere	Masse volumique apparente	Masse volumique absolue
CPJ-CEM II/42,5	1.215	3.00

### II .4.1.3 Caractéristiques chimiques :

**Tableau III.2:** composition chimique du ciment CPJ CEM II /A 42.5

Composition chimique (%) :												
CPJ-CEM II/A 42.5	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Chaux libre	Perte au feu	Résidu insoluble
	20.34	5.37	3.00	61.69	1,80	2.20	0.027	0.76	0.14	0.97	5.03	1,12

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

### III .4.1.4 Composition minéralogique:

**Tableau III.3** composition minéralogique du ciment CPJ CEM II /A 42.5

Composition minéralogique (%)				
Type de ciment	C3S	C2S	C3A	C4AF
CPJ-CEM II/A 42.5	58.3	14.6	8.7	11.26

**Tableau III.4** caractéristiques physics de ciment CPJ CEM II /A 42.5

Nomination	
Caractéristiques	CPJ-CEM II/A 42.5
Masse Volumique Apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.215
Masse volumique Absolue (g/cm <sup>3</sup> )	3.000
Surface spécifique (BLAINE) (g/cm <sup>2</sup> )	4000
Temps de début de prise (heures)	2h : 03
Temps de fin de prise (heures)	3h : 00
La résistance à la compression à 28 jours (MPA)	47

### III .4.2 Le sable:

Le sable de base de notre recherche provient de la region de ouad souf (Elbaadj) lavée et séché.

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

### III .4.2.1 Analyse granulometrique de sable utilisé:

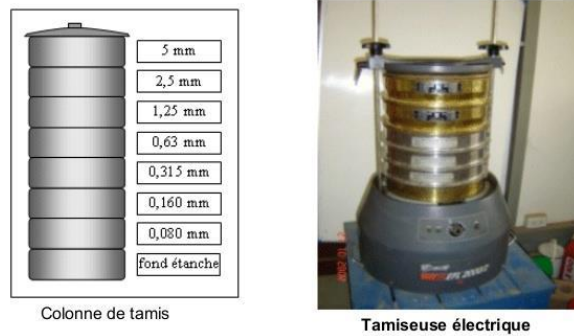
Dans notre travail on utilise le sable d'ouad (elbaadj). Cette essai a été menée à partir de la norme(NF P18-560).Les résultats obtenus sont présentés au tableau III.6 :

#### But d'essai :

Permettre la détermination de la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

#### III .4.2.1.1 .Principe de l'essai :

Faire passer l'échantillon tester à travers une série des tamis décroissante de plus grand à plus petit, et faire peser le refus dans chaque tamis.



Dans la pratique, la masse à utiliser sera telle que :  
 $M = 0,2 D$  avec M, masse de l'échantillon en Kg et D diamètre du plus gros granulat exprimé en mm

**Figure III.2 :** Analyse Granulométrique

#### Matériel utilisé:

Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.



**Figure III.3 :** serie du tamis utilisée

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

Tab III .5: Tamis utilisés pour le tamisage de sable.

Action	Tamis utilisés (exprimé en mm)
0/5	(5 – 2.5 – 1.25 – 0.63 – 0.32 – 0.16 – 0.08 ) et le fond

### III .4.2.1.2. Mode opératoire:

- Prélever (2 kg) de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit  $m_i$  la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement

De haut en bas : 5 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,125 et éventuellement 0,08 mm La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.

- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine D'agitation mécanique, agité pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.

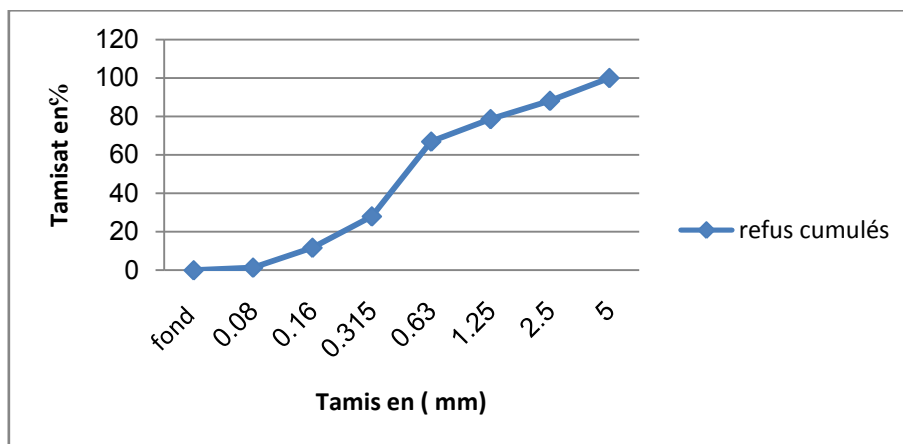
Peser chaque Tamis séparément à 1 g près. Soit  $M_i$  la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre  $M_i$  et  $m_i$  (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R1 du tamis 1.

- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R1, soit R2 la masse du refus cumuler du tamis 2( $R_2=R_1+\text{Refus partiel sur tamis}$ ).
- Pour suivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R3, R4, ....

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

**Tableau III.6** Analyse Granulométrique de Sable d'ouad (baadj)

Tamis	Poids des tamis vides	Poids des tamis rempli	Refus partiel g	Refus cumile		Tamisat%
				g	%	
5mm	633.96 g	633.96 g	0 g	0	0%	100%
2.5mm	554.46 g	791.71 g	237.25 g	11.8625	11.8625%	88.1375%
1.25mm	492.67 g	683.13 g	190.46 g	9.523	21.3855%	78.6145%
0.63mm	507.72 g	741.51 g	233.79 g	11.6895	33.075%	66.925%
0.315mm	475.12 g	1053.16 g	578.04 g	28.902	61.799%	28.023%
0.16mm	348.33 g	874.41 g	526.08 g	26.304	88.281%	11.719%
0.08mm	271.47 g	478.26 g	206.79 g	10.3395%	98.6205%	1.3795%
fond	457.87 g	485.46 g	27.59 g	1.3795 %	100%	0.00%



**Figure III.4** : courbe d'analyse granulométrique du sable d'oued (albaadj)

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

### III .4.2.2 La masse volumique apparente de sable

Les granulats étudiés ont donné des masses volumiques (Apparente) qui répondent aux spécifications de la norme NF P18-555.

### III .4.2.3 La masse volumique absolue de sable :

Est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains, on a appliqué la méthode de l'éprouvette gradués.

#### *Mode opératoire :*

- remplir une éprouvette graduée avec un volume  $V_1 = 300 \text{ cm}^3$  de l'eau
- peser un échantillon sec du sable  $M = 300 \text{ g}$  et on l'introduire dans l'éprouvette graduée en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- le volume d'eau monte dans l'éprouvette de volume  $V_2 = ?$

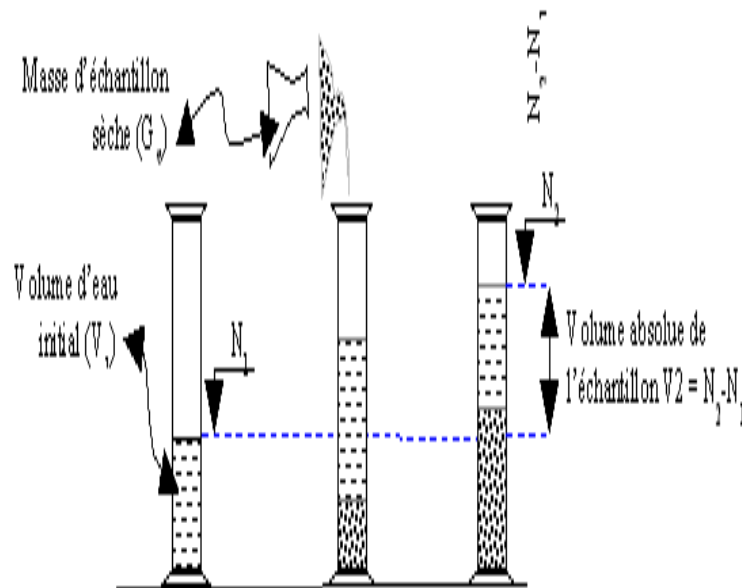


Figure III.5 : détermination de la masse volumique absolue d'un matériau

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

Tableau III.7 la masse volumique de sable utilisée

Materiau	Masse volumique apparente	Masse volumique absolue
Sable d'ouad (albaadj)	1.49 g/m <sup>3</sup>	2.5 g/cm <sup>3</sup>

### III .4.2.4 Le module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles:

[0. 16-0. 315-0. 63-1. 25-2. 5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante:

$$MF = \Sigma R_c/100$$

Où: : Refus cumulé.  $R_c$

$$MF = 1/100 \sum \text{refus cumulés (0. 16-0. 315-0. 63-1. 25-2. 5)}$$

$$MF = 1/100( 88.281 + 61.799 + 33.075 + 21.3855 + 11.8625)$$

$$MF = 2.16$$

Après l'analyse granulométrique on trouve que, le module de finesse du sable testé est égal à: 2.16

Pour le sable d'ouad (albaadj) :  $Mf = 2.16$

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

- Sable gros  $Mf > 2,5$  ;
- Sable moyen  $2 < Mf < 2,5$ ;
- Sable fin  $1,5 < Mf < 2$ ;
- Sable très fin  $1 < Mf < 1,5$ .

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

---

Pour le sable d'ouad ( albaadj) :

$M_f = 2.16$

Notre sable C'est un : sable moyen.

### III .4.2.5 Equivalant du sable:

- Evaluer la nocivité des fines contenues dans le sable. Le principe de l'essai consiste à faire flocculer les fines contenues dans le sable au moyen d'une solution lavante appropriée.

#### But de l'essai :

Cet essai consiste à déterminer la quantité d'éléments fins (argile, limons, impuretés) contenus dans le sable par rapport à la quantité d'éléments sableux.

#### Mode opératoire :

Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).

- ✓ Prendre une pesée de **120 g**.
- ✓ Remplir l'éprouvette de solution lavante jusqu'au premier repère (**10 cm**).

A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.

- ✓ Laisser reposer pendant **10 minutes**.

Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de **20 cm** de Cours horizontale en **30 secondes** à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.

- ✓ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette,



## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

Rincer ensuite les parois de celle-ci.

- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le **2ème** repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

### III .4.2.5.1 Equivalent de sable visuel (ESV):

- Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h1 du niveau supérieure du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = h2 / h1 * 100$$

**Tableau III.8** resultats de ESV de sable d'oued ( albaadj)

Hauteurs	ESV
H1 = 9.5cm	82.10 %
H2 = 7.8 cm	

Ou: avec:  $h1 < h2$ : sable propre + éléments fins .

### III .4.2.5.2 Equivalent de sable au piston (ESP):

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

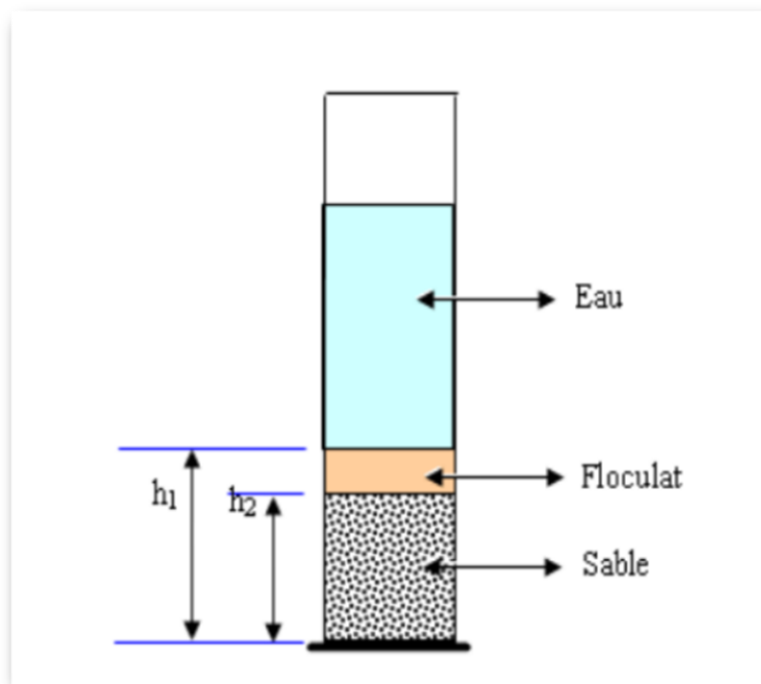
## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

- Introduire le réglett dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit  $h_2$  la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = h_2 / h_1 \times 100$$

**Tableau III.9** resultatsdeESPdesabled'oued(albaadj)

Hauteurs	ESP
$H_2 = 8.2 \text{ cm}$	80.39 %
$H_1 = 10.2 \text{ cm}$	



**Figure III.6** L'essai l'équivalent de sable(ESV)

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matériels utilisés

Tableau III.10 Comparaison des résultats

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES<65	EP< 60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<70	65<ES<75	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
70≤ES≤80	75≤ES≤85	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S>80	E.S ≥85	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**Commentaire:**

$$ESV = 82.10$$

$$E.S > 80$$

$$ESP = 80.39$$

$$75 \leq ES \leq 85$$

- Le sable de d'oued (albaadj ) est Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
- Le sable (0/5) est un sable fin.

Donc : notre sable est très propre

### III .4.2.6 La Porosités (NF P 18 554 et 18 555):

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps c'est-dire de la matière qui constitue le

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

---

corps sans tenir compte du volume vide.

$$P(\%) = (1 - \gamma/\varphi) \times 100$$

### III .4.2.7 La compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire. Le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau. La compacité donnée par la formule :

$$C(\%) = (\gamma/\varphi) = 1 - p$$

$\gamma$ : la masse volumique apparente de sable

$\varphi$ : la masse volumique absolue de sable

**Tableau III.11** : la porosité et la compacité de sable de ouad (albaadj)

Type de sable	porosité%	compacité%
Sable d'ouad (elbaadj)	40.4%	59.6%

### III .4.3 Le gravier (pierre concassée):

#### III .4.3.1 Origine de gravier:

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière de AIN TOUTA

#### III .4.3.2 Classes granulaires:

Les fractions du gravier sont:

- Fraction  $P_c = (8/15)$
- Fraction  $P_c = (15/25)$

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

---

### Pour Pc (8/15 et 15/25)

#### III .4.3.3 Masse volumique apparente:

C'est la masse d'un corps par unité de volume total y compris des vides entre les grains de constituants.

$$\gamma_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

Où :

V : Volume du récipient.

M1 : Le poids du récipient à l'état vide.

M2 : Le poids du récipient plein de gravier.

#### Principe:

Il s'agit de remplir une mesure de 1 litre ou plus (2 litres, 5 litres) avec le matériau et de déterminer la masse du contenu.

Le mode de remplissage de la mesure, a une influence très importante sur les résultats, il faudra réaliser les essais avec du matériel aussi simple que possible, et très soigneusement.

#### Mode opératoire:

Sécher le matériau jusqu'au poids constant.

- Peser le récipient à l'état vide (M1).
- Poser le récipient sur une table et à l'aide d'une pelle le remplir de gravier avec un certain excédent que l'on relève au ras de la surface du récipient. La distance séparant le récipient de la pelle doit être aux environs de 10 cm.
- Peser de nouveau le récipient plein de gravier. Soit M2 ce poids.

#### III .4.3.4 Masse volumique absolue:

Le volume absolu ou réel d'un corps est généralement déterminé en mesurant le volume d'un liquide que déplace l'introduction de ce corps.

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

De nombreuses méthodes permettent de déterminer les masses et volumes des matériaux à étudier, dans notre étude en va utiliser la méthode de l'éprouvette graduée.

### Mode opératoire:

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume P0 D'eau.
- Peser Un échantillon sec P1 De granulats et l'introduire dans l'éprouvette en primant soin d'éliminer tous les bulles d'air
- Le liquide montre dans l'éprouvette, lire le poids de l'ensemble P2
- La masse volumique est alors :

$$\rho_{g \text{ abs}} = M1 / (V2 - V1)$$

**Tableau III.12** la masse volumique de gravier 8/15 et 15/25

Type de gravier	Masse volumique apparente	Masse volumique absolue
8/15	1.39 g/cm <sup>3</sup>	2.72 g/cm <sup>3</sup>
15/25	1.42 g/cm <sup>3</sup>	2.74 g/cm <sup>3</sup>

### III .4.3.5 Analyse granulometrique :

#### Mode opératoire:

Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond.

- Verser le matériau sec dans la colonne de tamis
- Agiter mécaniquement cette colonne
- Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

- Agiter manuellement chaque tamis jusqu'à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par minute de tamisage
- Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur
- Déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis
- Suivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenu dans le fond de la colonne de tamis
- Vérifier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme NF EN 933-1 (différence entre la somme des masses de refus et de tamisats et de la masse initiale...).

### Préparation de l'échantillon pour l'essai :

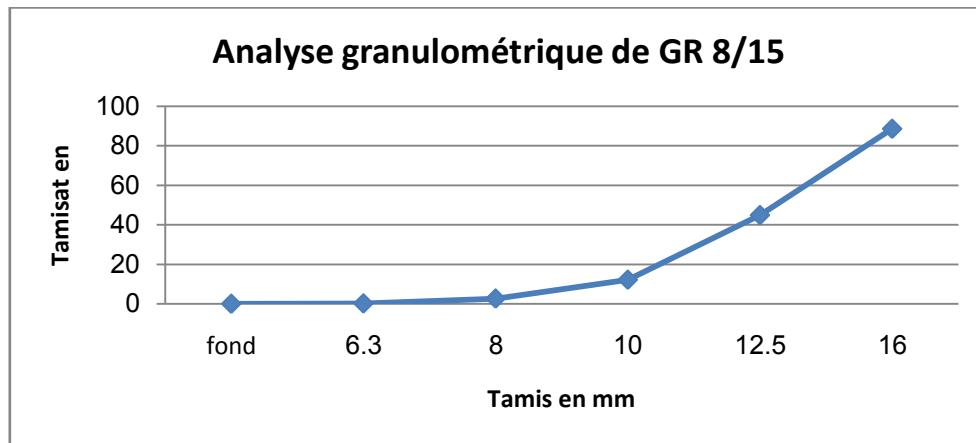
L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme (NA EN 933-5). La masse  $M$  de l'échantillon pour essai doit être supérieure à  $0.2D$ , avec  $M$  exprimé en kilogrammes et  $D$  plus grande dimension spécifiée en millimètres

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravier (8/15), représentés dans le tableau (III.13).

**Tableau III.13** Analyse granulométrique des gravier (pièce cancasées) 8/15

Tamis	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
16	341.05	341.05	11.36	88.64
12.5	1311.35	1652.4	55.08	44.92
10	981.50	2633.9	87.79	12.21
08	286.10	2920	97.33	2.67
6.3	74.08	2994.08	99.80	0.2
fond	5.48	2999.56	99.98	0.02

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés



**Figure III.7** courbe analyse granulometrique de gravier 8/15

### Gravier 15/25 :

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravie (15/25), représentés dans le tableau (III.14).

**Tableau III.14** Analyse granulométrique des pierre concases 15/25

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
25	0	0	0	100
20	2573.80	2573.80	51.476	48.524
16	2155.80	4729.6	94.592	5.408
15	227.50	4957.1	99.142	0.858
fond	42.75	4999.85	99.997	0.003



## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

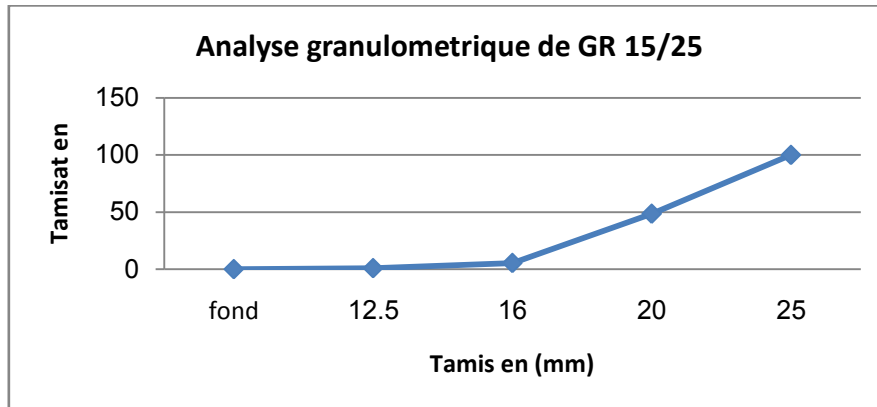


Figure III.8 courbe analyse granulométrique de gravier 15/25

### III .4.3.6 Porosité:

C'est le rapport du volume des vides d'un matériau et son volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

La porosité est exprimée en pourcentage (%) et définie par la relation :

$$P(\%) = (1 - \gamma / \varphi) \times 100$$

### III .4.3.7 La compacité:

C'est le quotient du volume des grains solides et le volume total du matériau, elle exprime en pourcentage (%) et donner par la relation suivante :

$$C(\%) = 1 - p$$

Tableau III.15 la porosité et la compacité des gravier 8/15 et 15/25

Gravier	Porosité P(%)	Compacité C(%)
8/15	48.89 (%)	51.11(%)
15/25	48.17.(%)	51.83(%)

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matériels utilisés

### III .4.4 l'eau de gâchage:

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de département de génie civil.

### III .4.5 La poudre de marbre :

#### III .4.5.1 Caractéristique physiques de la poudre de marbre

Tableau III.16 caractéristiques physiques de marbre

densité	Perte au feu %	PH	inflammabilité	surface spécifique de blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Couleur
2.7	41.81	9 +/- 0.5	Non	5150	Blanche

### III .4.6 La poudre de brique :

La brique cuite pleine, matériau traditionnel très ancien, avec une variante appelée brique pleine perforée (les perforations sont perpendiculaires au plan de pose), la brique cuite creuse, inventée au xix<sup>e</sup> siècle, plus légère (et donc moins coûteuse à transporter) et plus isolante, est devenue la plus utilisée, Ses perforations sont parallèles au plan de pose de manière à ne pas diminuer sa résistance à la pression

Tableau III.17 Composition chimique de la poudre de déchet de brique (% massique)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl-	PaF
Déchet de brique	50.20	16.42	6.95	9.90	2.72	0.15	2.57	0.60	0.001	10.49
Pouzzolane naturelle	45.21	17.85	9.84	9.99	4.38	/	/	/	/	3.91

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

### III .5 Formulation des mélanges:

#### III .5.1 Presentation de la méthode:

Le professeur SCRAMTAIEV a établi les relations suivantes, qui donnent la valeur de la résistance du béton ( $R_b$ ) en fonction du rapport C/E et des quantités du liant et des granulats.

#### Définition du rapport (C/E) :

Pour béton C/E<2.5 béton plastique et TP on a:  $R_b=A.(C/E-0.5)$ .

Pour béton C/E>2.5 béton ferme et TF on a:  $R_b=A.(C/E+0.5)$

$A, A'$  : coefficient les admis d'après le tableau selon propriétés et La qualité des matériaux.

**Tableau III.18** : les valeurs des coefficients A, A'

Agrégat et liants	A	A'
Qualité supérieure	0.65	0.43
Qualité ordinaire	0.60	0.40
Qualité inférieure	0.55	0.37

$R_c$ : Activité ou classe du ciment.

$A, A'$  : coefficient les admis d'après le tableau selon propriétés et La qualité des matériaux.

C/E : rapport du poids de ciment au poids de l'eau dans l'unité de volume du mélange

#### Détermination de la dépense en ciment

$$C = [E. (C/E)] \text{ (Kg)}$$

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

---

### Détermination de la dépense en gravier :

La détermination du dosage en agrégats doit remplir les conditions suivantes : la somme des volumes absolue de tous les composants du béton est égale à 1 m<sup>3</sup>.

$$(C/\rho_c) + (E/\rho_E) + (S/\rho_s) + (G/\rho_G) = 1000L$$

$\rho_C$ ,  $\rho_S$  Et  $\rho_G$  : masse spécifiques de ciment, eau, sable et gravier en (Kg/m<sup>3</sup>)

$$E + (S/\rho_S) + (C/\rho_C) = [(P_g \times \alpha \times G/\gamma_g)].$$

$P_g$ : Porosité des pierres concassées.

: Masse volumique des pierres concassées en (kg/l).

$$G = 1000 / [V_{vol.pc} \cdot (\alpha / \gamma_{vol.pc}) + (1/\rho_{pc})]$$

$$G = 1000 [p_g \times (\alpha / \gamma_g) + (1/\rho_G)].$$

### Détermination de la dépense de sable:

Après avoir déterminé la dépense en gravier on fait le calcul de la dépense en sable (kg/m<sup>3</sup>).

$$S = [1000 - [(C/\rho_c) + E + (G/\rho_G)]] \times \rho_S$$

### III .6 :calculs

Les données de travail:

#### Sable d'ouad (albaadj):

$$\gamma_S = 1.49 \text{ g/cm}^3, \rho_S = 2.50 \text{ g/cm}^3$$

#### Pierres concassées (gravier) :

##### Gravier (8/15)

$$\gamma_G = 1.39 \text{ g/cm}^3, \rho_G = 2.72 \text{ g/cm}^3$$

##### Gravier (15/25) :

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

---

$$\gamma_G = 1.42 \text{ g/cm}^3, \rho_G = 2.74 \text{ g/cm}^3$$

**Ciment :**

$$\rho_C = 3.00 \text{ g/cm}^3, \gamma_C = 1.2$$

$$Aff = 2.0 \text{ cm}$$

Composition des mélanges de béton pour Aff= 1-2 cm avec un dosage de ciment: 487.5 kg/m<sup>3</sup>

**Aff** = 2 cm, les pierres concassé de diamètre  $\emptyset=20\text{mm}$

E=170 L, ciment CPJ (15L), pierre concassé (10 L)

$$ET=170 + 15 (cpj) + 10 (pc) = 195 \text{ l/m}^3 =$$

Détermination de rapport E/C :

$$E/C = 195/487.5 = 0.4$$

La quantité de les pierres concassés :

$$PC = 1000 / [(P_{pc} (\alpha/\gamma_{pc}) + 1/\rho_{pc})] = 1000 / [(0.48 \times 1.46/1.42) + 1/2.74]$$

Avec  $\alpha = 1.46$

$$Pc = 1170.96 \text{ g/m}^3$$

**Quantité de sable :**

$$S = [100 - (C/\rho_C + E/\rho_E + PC/\rho_{PC})] \times \rho_S$$

$$S = [1000 - [(487.5/3.00) + (195/1) + (1170.96 / 2.74)]] \times 2.5$$

$$S = 537.875 \text{ g/m}^3$$

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

Pour 1m<sup>3</sup>De béton frais :

**Tableau III.19:** les quantités des composants pour 1m<sup>3</sup> du béton

Quantituants du béton ordinaire	La quantité pour 1m <sup>3</sup> de béton
Ciment	487.5
Eeau	195
Sable	537.875
Pierre concassée	1170.96

Volume de mélange d'essai, on prend **1/3** De pierres concassées 8/15 et **2/3** De pierres concassées 15/25:

On a :

**Tableau III.20** les quantituants du béton pour 1 m<sup>3</sup> de béton frais

Quantituants du béton	La quantité pour 1m <sup>3</sup> de béton en (g/m <sup>3</sup> )
Le ciment	487.5
L'eau	195
Le sable	537.875
Pierre concassée 8/15	390.32
Piére concassée 15/25	780.64

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

---

Volume de mélange d'essais:

### Béton ordinaire:

Volume du gâchage pour 7 éprouvettes cubiques (10×10 ×10)

Pour une seule éprouvette:

$$V = 0.1 \times 0.1 \times 0.1 = 0.001 \text{ m}^3$$

Pour 7 éprouvettes :

$$V = 0.001 \times 7 = 0.007\text{m}^3$$

$$7(0.1 \times 0.1 \times 0.1) + 15 \times 7(0.1 \times 0.1 \times 0.1)/100$$

$$\mathbf{V = 0.00805\text{m}^3}$$

On a effectué une majoration en volume de 15 % sur les dépenses des différents constituants, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant:

**Tableau III.20:** les quantités des constituants de béton par la majoration de 15 % Pour 1m<sup>3</sup>De béton frais

Le ciment g/m <sup>3</sup>	L'eau de gachage L/m <sup>3</sup>	Sable g/m <sup>3</sup>	Pierre cancasée g/m <sup>3</sup>	
			8/15	15/25
<b>3924</b>	1570	4329.90	3142	6284.152

Pour beton d'ajouts de poudre de marbre et poudre de brique :

## Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés

### III.7 Les résultats

**Tableau III.21** le poids de différents constituants de beton avec l'ajout de poudre de marbre et la poudre de brique

		Le poids des constutians en g/m <sup>3</sup>						
	Pourcentage de la poudre de marbre en (%)	Le ciment	L'eau de gachage	Sable	Gravier		marbre	brique
					8/15	15/25		
E/C = 0.4	0	3924 g/m <sup>3</sup>	1570	4329.89 g/m <sup>3</sup>	3142 g/m <sup>3</sup>	6284.15 g/m <sup>3</sup>	0 g/m <sup>3</sup>	0 g/m <sup>3</sup>
	5	3728 g/m <sup>3</sup>	1570	4329.89 g/m <sup>3</sup>	3142 g/m <sup>3</sup>	6284.15 g/m <sup>3</sup>	196.21 g/m <sup>3</sup>	196.21 g/m <sup>3</sup>
	10	3532 g/m <sup>3</sup>	1570	4329.89 g/m <sup>3</sup>	3142 g/m <sup>3</sup>	6284.15 g/m <sup>3</sup>	392.00 g/m <sup>3</sup>	392.00 g/m <sup>3</sup>
	15	3335.7 g/m <sup>3</sup>	1570	4329.89 g/m <sup>3</sup>	3142 g/m <sup>3</sup>	6284.15 g/m <sup>3</sup>	588.6 g/m <sup>3</sup>	588.6 g/m <sup>3</sup>



## **Chapitre III: caractérisation des matériaux et matérielles utilisés**

---

### **III .8 Conclusion:**

Dans ce chapitre on a présenté et analysé les résultats de caractérisation des matériaux employés pour la préparation du béton ordinaire avec déchets (marbre et brique) Les résultats nous ont montré les principales caractéristiques physico-chimiques et nécessaires pour entamer le programme expérimental.

# **Chapitre IV:**

## **Résultats et Interprétation**

**IV.1 Introduction:**

Ce chapitre est consacré à la présentation et l'analyser des résultats obtenus pour les différents essais effectués sur les bétons ordinaire confectionnés à base des sables avec déchets de brique, préparés avec une granulométrie comparable à celle du sable de douad (albaadj) utilisé dans cette expérimentation.

Ces résultats concernent les propriétés des BO à l'état frais (l'étalement,), et les caractéristiques mécaniques.

**IV.2 Programme des essais:****IV .2.1 Essais mécaniques non destructifs****IV .2 1.1 Ouvrabilité**

L'ouvrabilité a été mesurée par le Slump-Test conformément à la norme NF P 18-451 (déc. 1981). Tous les bétons ont été fabriqués à ouvrabilité constante pour faciliter la comparaison entre eux.



**Figure IV.1 : Essai de Slump-Tes**

**IV .2.1.1 l'affaissement de notre défferents betons :**

pour beton avec défferent pourcentages de la poudre de marbre:

**Tableau IV.1:** l'affaissement d'un béton ordinaire avec la substitution de la poudre de marbre

Type de béton	Le pourcentage de substitution	L'affaissement de béton
Béton ordinaire	0	2.5 cm
	5	1.5 cm
	10	0.5 cm
	15	1.5 cm

**Interpritation :**

- L'affaissement du béton diminue avec l'augmentation du pourcentage d'ajout de la poudre de marbre

- Notre béton obtenue: est un béton ferme.

**pour beton avec défferent pourcentages de la poudre de brique :**

Les résultats obtenues sont présentés dans le tableau suivant:

**Tableau IV.2:** l'affaissement d'un béton ordinaire avec la substitution de la poudre de brique

Type de beton	Le pourcentage de substitution	L'affaissement de béton
Béton ordinaire	0%	2.5cm
	5%	2cm
	10%	1cm
	15%	0.5cm

**Interpretation :**

- Les valeurs d'affaissement sont effectuées par l'augmentation du pourcentage de substitution et d'addition par la poudre de brique.

- D'après les résultats de cone dhabrames le beton réaliser est ferme

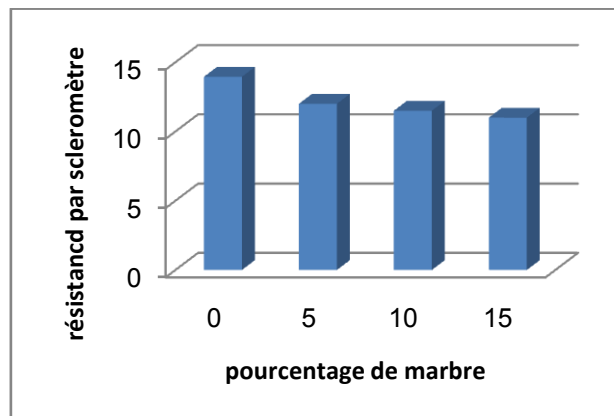
**IV .2.1.2. Essai sclérométrique:**

Le but de l’essai est de permettre l’obtention rapide de la résistance du béton en fonction de l’indice de rebondissement mesuré au moyen d’un scléromètre appliqué sur la surface du béton. L’essai a été réalisé conformément à la norme NF P 18 – 417 sur des éprouvettes ayant 28 jours d’âge et cela juste avant l’essai de compression par écrasement à la presse.

**01) Pour la poudre de marbre :**

**Tableau IV.3::** résistance par scléromètre (poudre de marbre) à 28 j, durcissement à l'eau

Nombre de formulation	Pourcentage de la poudre de marbre En (%).	Resistance par secleromètre en (MPA)	Moyenne En (MPA
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>13.95</b>
		<b>13.9</b>	
<b>2</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
		<b>12</b>	
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>11.5</b>
		<b>12</b>	
<b>4</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>11</b>
		<b>10</b>	



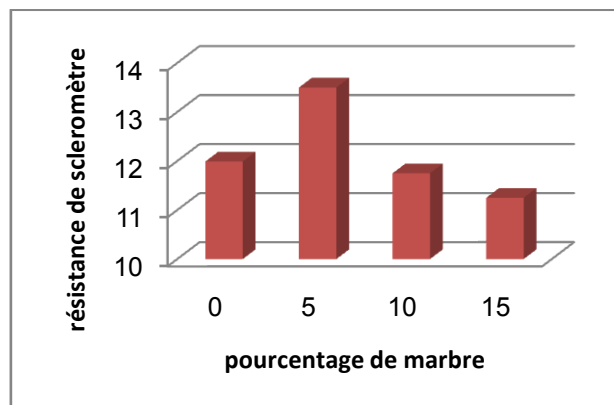
**FigureIV.2 :** Evolution de la résistance par sécleromètr des éprouvettes contient de marbre à 28j dans l’eau

**Interpretation:**

- La résistance par scléromètr des Béton de 5% , béton de 10% et Béton de 15%, diminuent en fonction de l’augmentation du taux de substitution du ciment par la poudre de marbre
- Lors de l'ajout de 5% de la poudre de marbre, on constate une résistance élevée par rapport le béton de 10% et 15% de la poudre de marbre .

**Tableau IV.4** résistance par scléromètre ( poudre de marbre) durcissement à lair

Nombre de formulation	Pourcentage de la poudre de marbre En (%)	Resistance par secleromètre en (MPA)	Moyenne En (MPA)
1	0%	13.33	11.99
		10.66	
2	5%	12	13.5
		15	
3	10%	12	11.75
		11.5	
4	15%	11.5	11.25
		11	

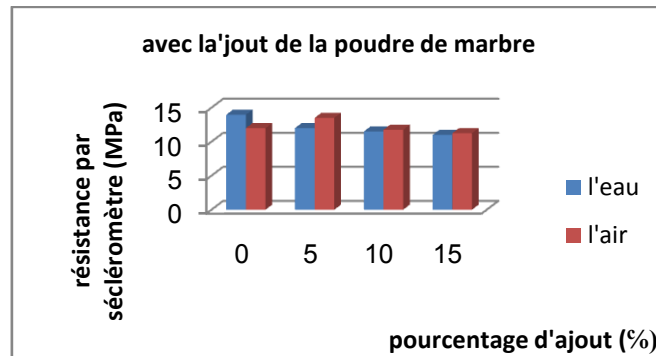


**Figure IV.3:** Evolution de la résistance par sécleromètr des éprouvettes contient de marbre à 28j à l'air

**Interpretation :**

-La résistance par scléromètr des Béton de 10% et Béton de 15%, diminuent en fonction de l'augmentation du taux de substitution du ciment par la poudre de marbre

-A travers les résultats obtenus , on remarque que la résistance des éprouvettes atteint sa valeur optimale lors de l'ajout de 5% de la poudre de marbre aux éprouvettes durcis à l'air, qui est la valeur proche du béton témoin

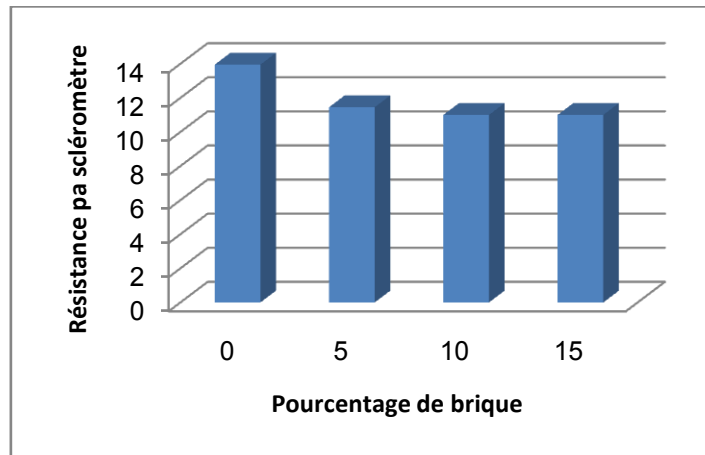


**Figure IV.4:** Evolution de la résistance par sécléromètr des éprouvettes contient de marbre à 28j

**2) pour la poudre de brique**

**Tableau IV.5:** résistance par scléromètre ( poudre de brique ) durcissement dans l'eau

Nombre de formulation	Pourcentage de la poudre de marbre En (%)	Resistance par secleromètre en (MPa)	:Moyenne En (MPa)
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>13.95</b>
		<b>13.9</b>	
<b>2</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>11.45</b>
		<b>11.9</b>	
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>11</b>
		<b>10</b>	
<b>4</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
		<b>11</b>	



Evolution de la résistance par sécleromètre(poudre de brique ) durcissementj dans l’eau

**FigureIV.5 :**

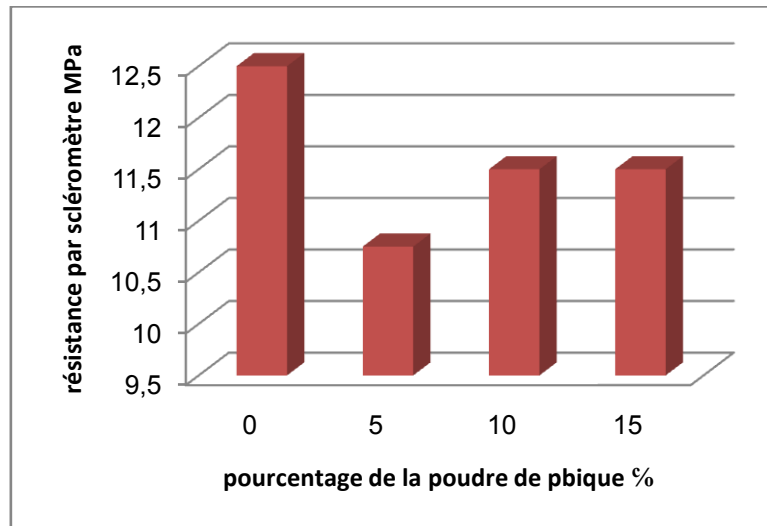
**Interpretation:**

- La résistance des éprouvettes contenant à 5%, 10% et 15% de poudre de brique dans l'air est décroissante par rapport à la résistance du béton témoin
- Lors de l'ajout de 5% de la poudre de brique , on constate une augmentation de la résistance. Et diminue avec le reste des pourcentages d'ajout de brique

**Tableau IV.6 :** résistance par scléromètre (poudre de brique ) durcissement à l'air

Nombre de formulation	Pourcentage de la poudre de brique%	Résistance par scleromètre (MPa)	Moyenne (MPa)
<b>1</b>	0	15	12.5
		10	
<b>2</b>	5	11	10.75
		10.5	
<b>3</b>	10	11	11.5
		12	
<b>4</b>	15	11.4	11.5
		<b>11</b>	





**Figure. IV.6:** Evolution de la résistance par scléromètre des éprouvettes contenant de (PDB) à 28j à l'air

**Interprétation:**

- lors de l'ajout de la poudre de brique dans un béton ordinaire , on remarque une modification de la résistance des éprouvettes selon la substitution d'ajout et c'est ce qui modifie le comportement du béton
- Lors de l'ajout de 10 % de la poudre de brique , on constate une augmentation de la résistance. Et diminue avec le reste des pourcentages d'ajout de brique

**IV.2.1.3 Essai d'auscultation sonore :**

L'essai consiste à émettre une onde dans une éprouvette de béton et de mesurer le temps et la vitesse de cette onde en parcourant une distance connue, on peut par la suite déduire graphiquement la résistance à la compression du béton.

Pour les éprouvettes qui contiennent la poudre de marbre:

Tableau IV.7: résultats d'ultraçonn sur les éprouvettes (poudre de marbre) durcissement dans l'eau

Pourcentage de la poudre de marbre	Resultats		Moyenne	
	V	T	V	T
0	4740	21.1	4785	20.9
	4830	20.7		
5	4880	20.5	4880	20.5
	4880	20.5		
10	4950	20.2	4940	20.25
	4930	20.3		
15	5000	20.0	5000	20.0
	5000	20.0		

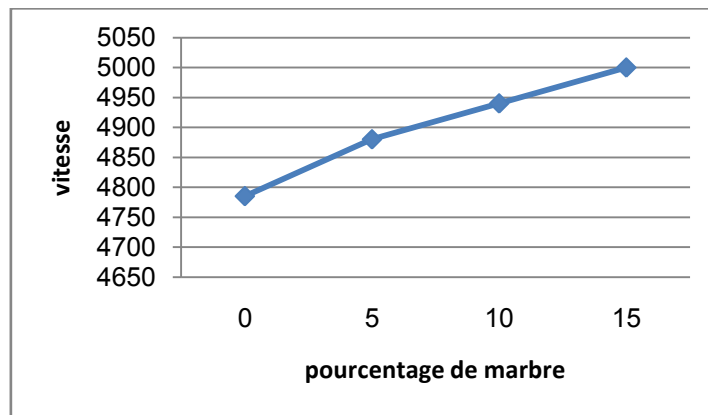


Figure IV.7 : résultats de ultraçonn sur les éprouvettes de différents pourcentages de la poudre de marbre (éprouvette immergée dans l'eau)

Interprétation :

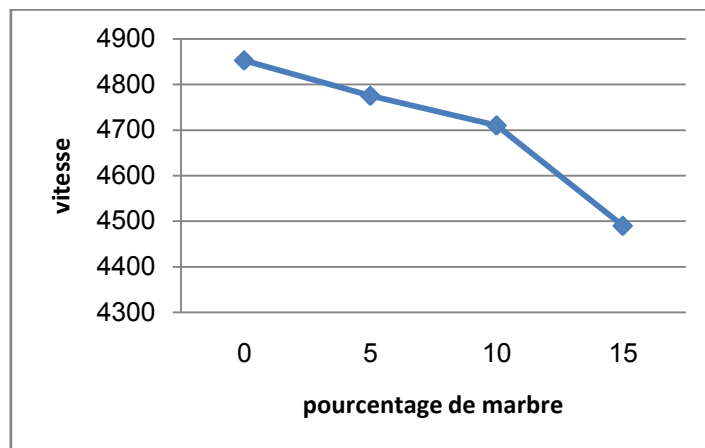
- l'augmentation de la vitesse des ondes à l'intérieur des éprouvettes indique la porosité du béton

- A travers les résultats obtenus après 28 jour , la vitesse a augmenté en augmentant le pourcentage de poudre de marbre pour les éprouvettes restés dans l'eau pendant 28 jours.

Pour les eprouvettes à l'air:

**Tableau IV.8** : : résultats d' ultraçon sur les éprouvettes (poudre de marbre ) durcissement à l'air

Pourcentage de la poudre de marbre	Resultats		Moyenne	
	V	T	V	T
0	4640	21.55	4852.5	20.65
	5065	19.75		
5	4705	21.25	4775	20.95
	4845	20.65		
10	4745	21.1	4710	21.25
	4675	21.4		
15	4795	20.85	4490	22.35
	4185	23.85		



**FigureIV.8** : courbed' ultraçon des éprouvettes( poudre de marbre) durcissement en air

**Interpretation:**

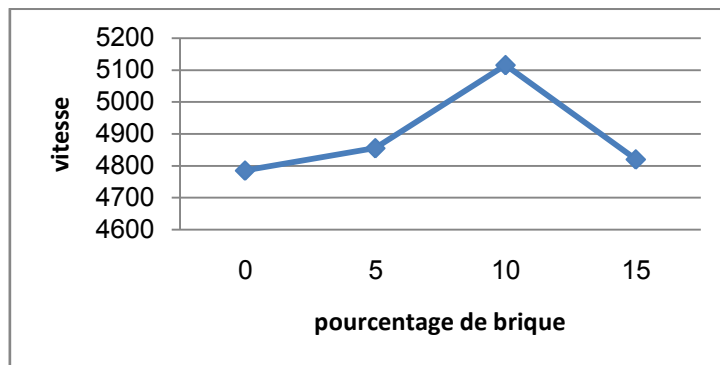
A travers les résultats obtenus après 28 jours, on remarque une diminution de la vitesse avec une augmentation du pourcentage de la poudre de marbre dans les éprouvettes qui étaient présents dans l'air.

**Pour les formulations du béton par l'ajout de la poudre de brique:**

Pour les formulations par la poudre de brique dans l'eau

**TableauIV.9 :** resultats de l'ultraçon sur les éprouvettes de dechet de briques imerssion dans l'eau

Pourcentage de la poudre de brique	Resultats		Moyenne	
	V	T	V	T
0	4740	21.1	4785	20.9
	4830	20.7		
5	4830	20.7	4855	20.6
	4880	20.5		
10	5100	19.6	5115	19.55
	5130	19.5		
15	4850	20.6	4820	20.75
	4790	20.9		



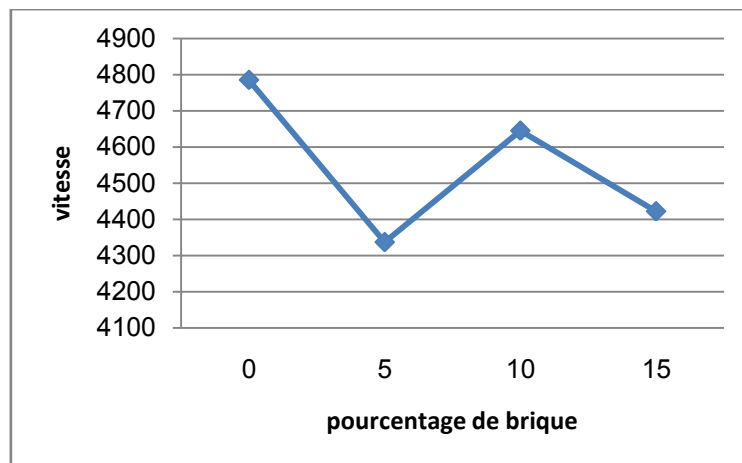
**FigureIV.9 :** résultats d' ultraçon sur les eprouvettes de ( poudre de brique)durcissement dans l'eau

**Interprétation :**

Pour les éprouvettes contenant des pourcentages de la poudre de brique et présents dans l'eau pendant 28 jours, on remarque une augmentation de la vitesse des vagues lors de l'ajout de 5% et 10% de la poudre de brique et une diminution lors de l'ajout de 15%.

**TableauIV.10 :** resultats de l'ultraçon sur les éprouvettes de dechet de briques en air

Pourcentage de la poudre de brique	Resultats		Moyenne	
	V	T	V	T
0	4740	21.1	4785	20.9
	4830	20.7		
5	4590	21.8	4337.5	23.15
	4085	24.5		
10	4710	21.5	4645	21.68
	4580	21.85		
15	4510	22.2	4422.5	22.65
	4335	23.1		



**FigureIV.10 :** resultats de l'ultraçon sur les éprouvettes de dechet de briques à l'air

**Interpretation:**

A travers les résultats, on remarque que pour les éprouvettes dans l'air et contenant des pourcentages de la poudre de brique, après 28 jours, la vitesse des vagues a augmenté lors de l'ajout 10% et diminué lors de l'ajout de 5% et 15%.

**IV .2.2 Essais mécaniques destructifs**

**IV .2.2.1 Essai de la résistance à la compression:**

L'essai s'effectue sur une machine à compression conformément à la norme NF P 18-406.

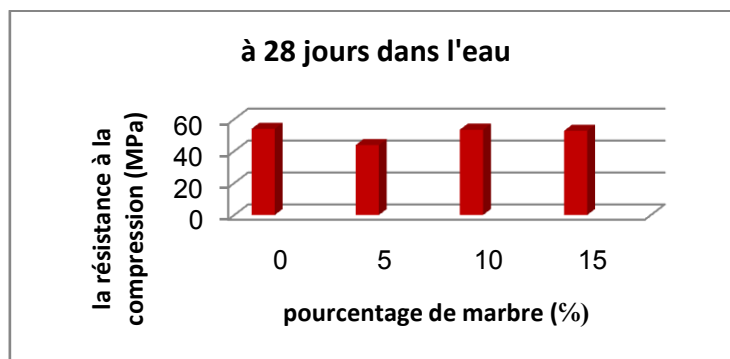
La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement de trois éprouvettes cubiques de 10 cm pour chaque mélange, soit à 28jour de cure

les resultats obtenues dans notre travaille est présentés dans les tableau suivants :

**pour les éprouvettes dans l'eau**

**Tableau IV.11 :** resistance à la compression des eprouvettes après 28 j de limerSSION dans l'eau

Eprovettes emerssion totale dans l'eau	Pourcentage de marbre	Resistance à la compression en MPA Après 28 jours
1	0	54.00
2	5	43.88
3	10	53.47
4	15	52.76



**Figure IV.11 :** la resistance à la compression des eprouvettes(poudre de marbre) dans l'eau

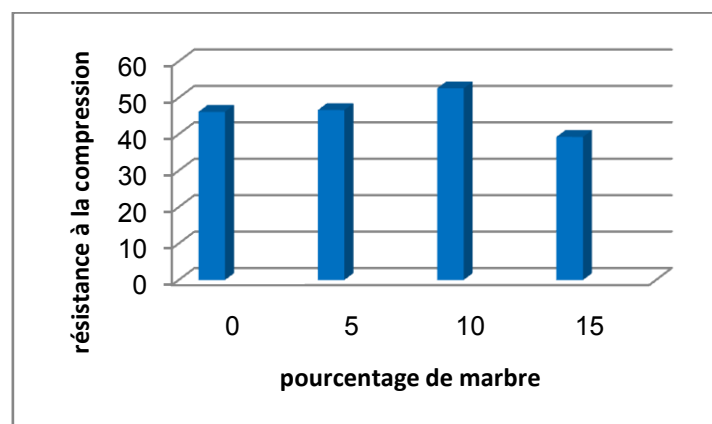
**Interpretation:**

- On remarques à travers les les résultats de la résistance à la compression qu'il ya une convergence des valeurs de la résistance , ce qui indique que l'ajout de la poudre de marbre améliore progressivement la résistance à la compression .

- Lors de l'ajout de 10% de la poudre de marbre, on constate une augmentation de la résistance à la compression des éprouvettes , qui est la résistance optimal et la plus proche de la résistance du béton témoin

**Tableau IV.12 :** la resistance des eprouvettes à l' air par defferent pourcentage de la poudre de marbre

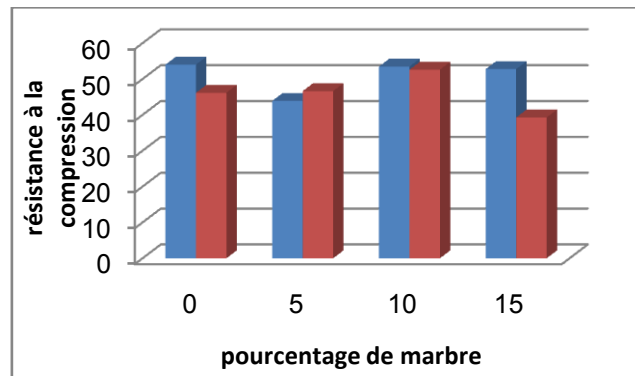
Nombre de formulation	Pourcentage de la poudre de marbre	La résistance à la compresson en MPA	Moyenne en MPA
1	0	48.46	46.155
		43.85	
2	5	41.61	46.63
		51.25	
3	10	53.12	52.59
		52.05	
4	15	33.47	39.28
		45.09	



**FigureIV.12:** la resistance à la compression des eprouvettes ( poudre de marbre ) durcissement à l'air

**Interpretation:**

- Pour les éprouvettes hors de l'eau après 28 jours, qui contiennent 10% de la poudre de marbre, on constate une augmentation de leur résistance à la compression qui est la résistance la plus proche de la résistance du béton témoin .
- La résistance à la compression de béton du 5 et 15 se diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment par la poudre de marbre par rapport à celui du béton témoin .



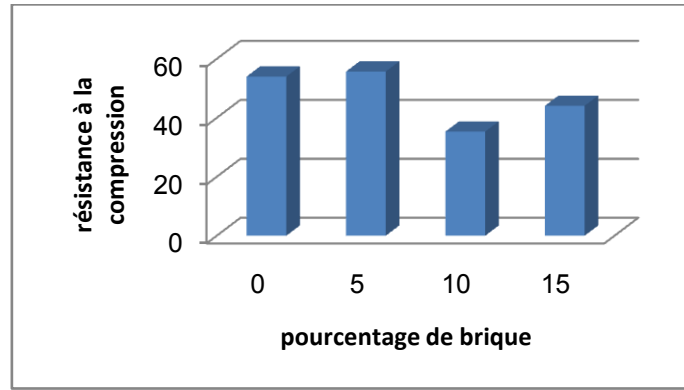
**Figure IV.13:** Evaluation de la résistance à la compression des éprouvettes (PM)

**Les résultats de la compression de la poudre de brique :**

**Tableau IV.13 :** la résistance à la compression (poudre de brique )durcissement dans l'eau

Nombres de formulation	Pourcentage de la poudre de brique	La resistance à la compression en MPA
1	0	54.00
2	5	55.70
3	10	35.33
4	15	44.07





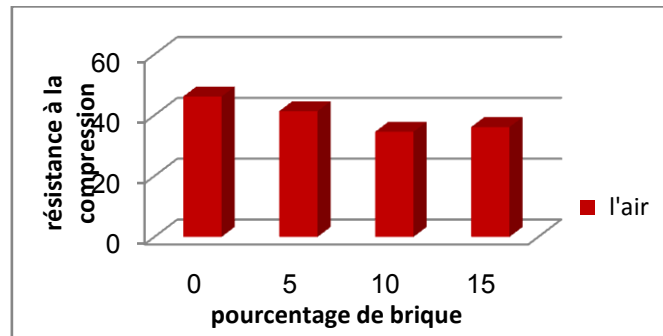
**Figure IV.14** Evaluation de la résistance à la compression des éprouvettes (Poude de brique) durcissement dans l'eau

**Interpretation :**

- Nous remarquons une augmentation de la résistance à la compression des éprouvettes qui étaient à l'intérieure de l'eau après 28 jours, qui contiennent 5% de la poudre de brique rouge.

**TableauIV.14** : la resistance à la comression des éprouvettespar (poudre de brique ) durcissement à l'air

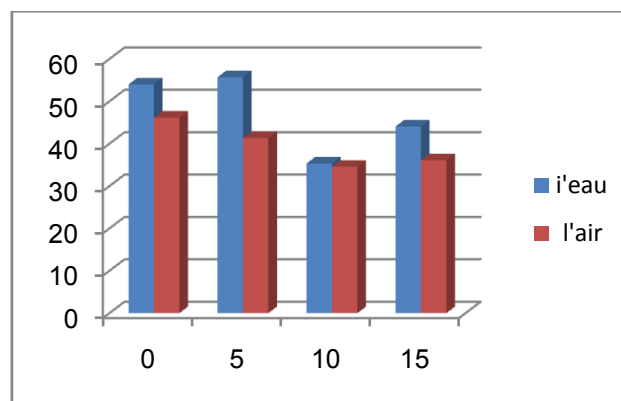
Nombre de formulation	Pourcentage de la poudre de brique	La resistance à la compression	Moyenne en MPa
1	0	48.46	46.155
		43.85	
2	5	37.64	41.33
		45.02	
3	10	40.62	34.55
		28.48	
4	15	32.74	36.115
		39.49	



**FigureIV.15 :** Evolution de la resistance à la compression des éprouvettes à l'air par poudre de brique

**Interpretation:**

- A travers les résultats obtenus , on constate que la résistance à la compression du béton en ajoutant des pourcentages de la poudre de brique diminue avec laugmentation du taux de substitution du ciment par la poudre de brique
- Atravers les résultats de notre étude, nous remarquons que la résistance à la compréssion des éprouvettes qui contiennent 5% de la poudre de brique et qui sont dans l'air pendant une période de 28 jours est supérieure à la résistance des éprouvettes qui ont des pourcentages de 10% et 15% .



**FigureIV.16 :** Evaluation de la résistance à la compression des éprouvettes de défèrent pourcentage de la poudre de brique

**IV .2.2.2 Essai de traction par flexion:**

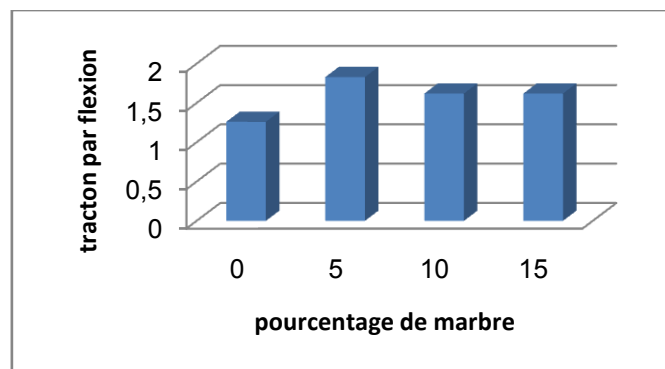
La résistance à la traction est mesurée par la méthode de traction par flexion conformément à la norme NF P 18-407 (déc. 1981). L'essai s'effectue sur une machine de flexion sollicitant l'écrasement d'éprouvettes prismatiques (10 x10 x40) cm<sup>3</sup> à une flexion directe à raison de trois éprouvettes pour chaque type de béton.

**La formule**

$$R_{fl} = 1.8 \times N / a^2$$

**Tableau IV.15 :** la resistance de traction par flexion des eprouvettes par poudre de marbre

Nombres de formulation	Pourcentage de la poudre de marbre en(%)	La force appliquée en (Kg)	La reséstance en (MPa)
1	0	700	1.26
2	5	1020	1.83
3	10	900	1.62
4	15	900	1.62



**Figure IV.17 :** Evolution de la résistance en traction par flexion à 28 j des éprouvettes par poudre de marbre

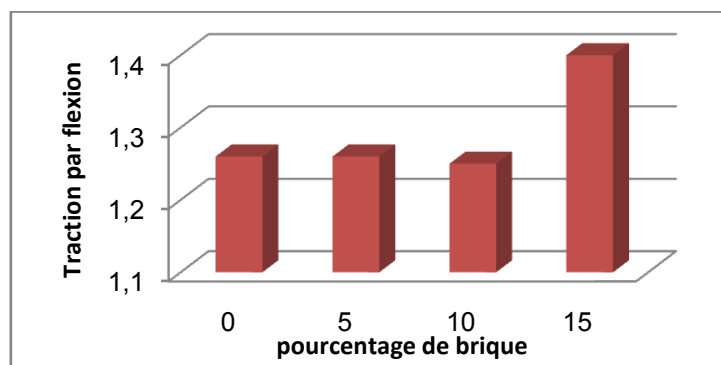
**Interpretation:**

- La résistance à la traction par flexion des éprouvettes contenant de l'ajout de la poudre de marbre augmente par rapport à la résistance du béton témoin .

- La résistance en traction par flexion du béton de 5% de marbre est augmente et le béton de 10%, 15% se diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment.

**Tableau IV.16 :** la resistance à la traction par flexion des éprouvettes par poudre de brique

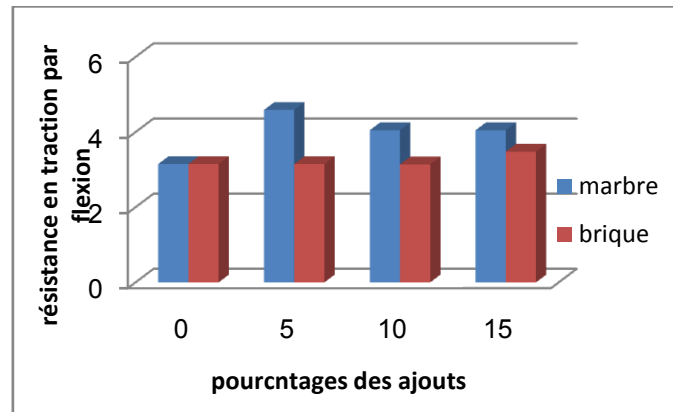
Nombres de formulation	Pourcentage de la poudre de brique en(%)	La force appliquée en Kg	La reséstance en Mpa
1	0	700	1.26
2	5	700	1.26
3	10	698	1.25
4	15	775	1.40



**FigureIV.18:** Evolution de la résistance en traction par flexion à 28 j des éprouvettes par poudre de brique

**Interpretation :**

- La résistance en traction par flexion du béton de 5%, 10% de brique , se diminue par l'augmentation du taux de substitution du ciment
- La résistance en traction par flexion du béton de 15% de brique est augmente



**Figure IV.19 :** Evolution de la résistance en traction par flexion à 28 j des éprouvettes (la poudre de marbre et la poudre de brique)

#### Interpretation :

la résistance à la traction par flexion d'un béton de poudre de marbre est augmentée par rapport d'un béton de poudre de brique

#### IV .3 Conclusion:

Dans le présent travail on a utilisé le déchet de brique et les déchets de marbre comme addition cimentaire dans le béton ordinaire avec des taux de substitution ciment de 5% , 10% et de 15% , nous avons également étudié leurs effets sur les propriétés physico-mécaniques, et nous avons remarqué que le béton qui contient de la poudre de marbre a une résistance élevée par rapport à l'ajout de poudre de brique, ce qui diminue les propriétés physico-mécaniques

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

L'objectif de notre travail concerne l'utilisation de la poudre de brique , poudre de marbre finement broyé comme ajout cimentaire dans le but de formuler un béton ordinaire

L'objectif de cette étude est de montrer l'influence de l'ajout de poudre de marbre et poudre de brique sur les propriétés rhéologiques à l'état frais et la résistance mécanique à l'état durci. On a effectué des essais de mesure de la résistance à la compression sur béton à base d'ajout de poudre de marbre et poudre de brique à des taux variables de 5%, 10% et 15% de la masse du ciment

Le remplacement partiel du ciment par la poudre de marbre ne contribue pas à former un volume important de nouveaux produits hydratés capables de réduire la porosité des bétons même si la résistance en compression peut être plus ou moins améliorée.

La contribution de la poudre de marbre a donc un rôle structurant des liaisons de la matrice cimentaire du point de vue mécanique, cette contribution structurante se traduit en termes de durabilité par une réduction de la porosité et une meilleure résistance à l'agression chimique, la diffusion des ions chlore est systématiquement diminuée et la perméabilité superficielle réduite.

- La diminution des résistances mécaniques en compression et en flexion, en fonction des pourcentages d'addition à des taux de 5 %, 10 % et 15 % de poudre de brique fine (inférieure à 80  $\mu\text{m}$ ), notamment par substitution des quantités de ciment par la poudre de brique

Les résistances des mélanges avec déchets de brique aux court, moyen et long termes sont faibles par rapport à la résistance des BO Témoin.

# ***RÉFÉRENCES***



## ***RÉFÉRENCE***

---

- [1] : **kettab .R**, valorisation du sable de dune , thèse de doctorat ENP 2007
- [2] : L. J. Vicat, Traité pratique et théorique de la composition des mortiers, ciments et gangues à pouzzolanes et de leur emploi dans toutes sortes de travaux.
- [3] : AHMED Faycel, Conception d'un béton destiné aux ouvrages hydrotechniques. Master Hydraulique. Option : aménagement des ouvrages Hydrotechniques. Ecole Nationale Supérieure d'hydraulique ARBAOUI Abdellah.
- [4] : G. Chanvillard, Connaissances générales sur le matériau béton, Ed. Aléas, 1999.
- [5] : Georges Dreux, Jean Festa, Nouveau guide du béton et de ses constituants, Huitième Édition Eyrolles 2002, p32-38.
- [6] : Chistion. L, mise en œuvre et emploi des matériaux de construction, édition Eyrolles 61-bd saint-germain :75240 paris.
- [7] : M. Venuat, La pratique des ciments, mortiers et bétons, Tome 1 : « Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers », édition 2, Collection Moniteur, 277p, 1989.
- [8] : J. Baron, JP. Olivier et J.C.Weiss, « Les ciments courants », « Les bétons, bases et données pour leur formulation », Edition Eyrolles, 806p, 1997.
- [9] : Stutzman. P, (2004) Scanning electron microscopy imaging of hydraulic cement microstructure, Cement and Concrete Composites, 26: 957-966.
- [10] : BELHOCINE.A, NAGOUDIN, Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts Minéraux, Mémoire de Master Université KASDI Merbah d'Ouargla, Algérie, 2014.
- [11] : ERCE, CTC, est GRANITEX, « Ciments – Bétons – Adjuvants », Journée D'information, 2004.
- [12] : BARAKAT.A, Cour de carrière et de construction. LST Géo ressources et LST Géomatique. Université SULTAN MOULAY SLIMANE.
- [13] : DJEMIL Imed Eedine, Etude des influences du rapport G/S sur la résistance de micro béton à base de sable mixte. mémoire de master spécialité génie civil- Option matériaux. université M'sila 2016.

## ***RÉFÉRENCE***

---

- [14] : (F DE LARRARD) concrét mixture –proportioning-A scientifique Approach-londres 1999.
- [15] : Approuve par le Gouvernement Wallon, matériaux et produits de construction, cahier des charges type qualiroutes, chapitre C, 20 juillet 2011
- [16] : La norme européenne EN 934-2 Adjuvants pour béton, mortier et coulis - Adjuvants pour béton - Partie 2.
- [17] : [DUPAIN R, LANCHON R, SAINT-ARROMAN J.C.(2000); Granulats, sols, ciments et bétons, Edition Casteilla, Paris, 236 p.
- [18] : Dupain .R et Lanchon .R :Granulats , sols ,ciment et bétons paris : Ed Educalivre,276p.
- [19] : Baron à.J et Sauterey . R : Le béton hydraulique Connaissances et Pratique, Presses, 1982.
- [20] : Chanvillard. G et Laplante .P : Viser une résistance à court terme pour tenir les délaisde fabrication : Les béton bases et données pour leur formulation, 1997.
- [21] : Aitcin .P.C et Baron .J : Bétons haute performance, Ed. Eyrolles, 1996.
- [22] : CIM béton : Le ciment est ses applications, fiches technique ,2000
- [23] : Bresson .J : Prévision des résistances, paris, tech batim. Trav .public ,1980, 387p.
- [24] : Cormon .P : Bétons légers d'aujourd'hui, Ed .Eyrolles au radiateur .Editions du BRGM 1973.
- [25] : Dreux.G et Festa. J : Nouveaux guide du béton et de ces constituants, Ed. Eyrolles 1998 278p
- [26] : POWERSt.epproprieties of freshconcrate ,(J.WILEY 1969).
- [27] : J. M. Sganzin, Programme ou résumé des leçons d'un cours de constructions: avec des applications tirées spécialement de l'art de l'Ingénieur des ponts et chaussées.
- [28] : R. Vittone, Bâtir : manuel de la construction, PPUR Presses polytechniques, 2010.

## ***RÉFÉRENCE***

---

- [29] : Boussaoui.W : « Valorisation des sous-produits Caractérisation de bétons à base des granulats issus de recyclage des matériaux de construction ». Master en génie civil Option :Structures et Matériaux .Constantine :Université Mentouri,2010-2011.
- [30] : Franck BOELHY (QSE Région Nord Est), group SNEF, guid des déchets
- [31] : BENSMAIL Salem, la problématique de la gestion des déchets solides à travers les modes de traitement des déchets ménagers et hospitaliers : cas de la commune de Bejaia, mémoire de magistère en sciences économiques, 2010.
- [32] : Journal officiel de la république algérienne n 27 :4 rabie el aoul 1426 13 avril 2005.
- [33] : **[Bensafi boucif ,Belkacem oussama soufyane,2018] : Bensafi boucif ,Belkacem oussama soufyane**, « Valorisation des Bétons à base de granulats recyclés (granulats de brique) sous l'effet de température » , mémoire master Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent Institut des Sciences et de la Technologie Département de Génie Civil,2018.
- [34] : Loi n° 92-646 du 13 juillet 1992, RECORD 02-0807/1A - février 2005.
- [35] : Bououden D., 2014. Les carrières de marbre du massif de filfila (est de skikda ; algerie nord-orientale) : contexte géologique. Minéralogique. Qualité des matériaux et méthodes d'exploitation. Thèse de magister. univ. Mentouri. Constantine. 201p.
- [35] : J. Mater. Environ. Sci. 7 (2) (2016) 429-437]
- [36] : **[A.H. Mohammed Belhadj1, 2016.] : A.H. Mohammed Belhadj1**« Valorisation du déchet de marbre et de la pouzzolane naturelle dans les mortiers , , A. Mahi2 , M.Z. Kazi Aouel1 , R. Derbal1 ,H. Abdelhadi2,2016.
- [37] : <http://thesis.unibiskra.dz/2446/3/chapitre1.pdf>)
- [38] : [Ramachandan et Zhang Chuin-mei, 1986] .
- [39] : [.\(http://thesis.univbiskra.dz/2446/3/chapitre1\)](http://thesis.univbiskra.dz/2446/3/chapitre1).
- [40] : <http://thesis.univ-biskra.dz/2446/3/chapitre1.pdf>)

## ***RÉFÉRENCE***

---

[41] : Observation Régionale de la Santé Nord-Pas-de-Calais : observation inattendues et capricieuses de la santé : Les déchets et la santé. Disponible sur : [http://www.orsnpdc.org/observation/228815\\_1dechetsa.pdf](http://www.orsnpdc.org/observation/228815_1dechetsa.pdf). année 2010.

[42] : [Christian Du Brulle , 2014].

[43] : HARBI.R., 2009. Comportement mécanique et durabilité des mortiers à base de déchets de briques. Mémoire de Magister, Université 08Mai 45, Guelma, Algérie.

[44] : Bourema M, «Etude des caractéristiques d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci», Master en génie civil, Filière : Matériaux de construction: Université du 20 Aout 1955 skikda, 11 Juin 2015, p 68-69.

[45]<https://www.google.com/url?sa=t&source=we&rct=j&url=https://100pour100immobilier.com/maison-enbriques/ved=2ahUKEwitrc7UmpjiAhWkAWMBHSAcA3oQFjAAegQIBBAB&usg=AOvVaw045XSRn1siMKVYwgPn21tz&cshid=1557741362751>.

[46] : [**Marc Mélon ,2017** ] : **Marc Mélon** , « A25 ans ;Mathier Guiton se lance dans la fabrication de la brique Mesbay ,publier le mercredi 7 juin 2017 a 15h 55.

[47] <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.rowlandpub.com/GIJBWyyvl/&ved=2ahUKEwiTIPWinZjiAhXK1uAKHcRpBIA4MhAWMAR6BAgCEAE&usg=AOvVaw2pvkPlzZRgEZnYJHVgGm6->

[48] <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.rowlandpub.com/GIJBWyyvl/&ved=2ahUKEwiTIPWinZjiAhXK1uAKHcRpBIA4MhAWMAR6BAgCEAE&usg=AOvVaw2pvkPlzZRgEZnYJHVgGm6>

