

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET**

---



**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master**

Spécialité : Génie Civil.

Option : Structures.

Présenté par :

**TAHAR Lamis**

**ZEGGAOUI Bakhta**

*Sujet du mémoire :*

**Formulation d'un béton ordinaire à base des  
granulats de caoutchouc.**

*Soutenu publiquement le 22 /06/2023 devant le jury composé de :*

Mr. H. BEKKI	MCA	Président
Mme. A. DRAOUI	MCB	Encadreur
Mlle. Z. RENNAK	MAA	Examineur
Mr. B. SERBAH	MCB	Examineur

**Promotion: 2022-2023**

# Remerciements

*Nous remercions, en premier lieu, notre Dieu qui a bien voulu nous donner la force pour effectuer le présent travail.*

*Un grand merci revient à notre encadreur Mme DRAOUI. A, qui a toujours été disponible afin de répondre à toutes nos questions et nous éclairer dans notre travail et y apporter les corrections nécessaires.*

*Ainsi nous exprimons notre reconnaissance à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de cet ouvrage.*

*Enfin, à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce projet de fin d'étude.*

# DEDICACE

*Je dédie ce travail*

*A mon père pour son soutien, son affection*

*Et la confiance qu'il m'a accordée.*

*A ma mère pour son amour, ses encouragements*

*Et ses sacrifices.*

*A mes deuxièmes parents Aouda et Safi.*

*Ames grandes parents.*

*A mes princesses : Malak et Marwa.*

*A mes sœurs : Ikram, Ilham et Asma.*

*A mes frères : Tayeb « Que dieu lui fasse miséricorde », Mohammed  
« Hamden » et Omar.*

*Et bien sûr à mon bras droit mon binôme.*

*A mes amies : Asma, Meriem et Zineb.*

*A tous ceux qui sont chers à mon cœur...*

*Bakhta (Touta)*

# DEDICACE

*Dédicace à mon père qui n'a pas pu voir mon travail à mon  
merveilleux père, qui est décédée il y a trois ans,*

*« Que dieu lui fasse miséricorde »*

*A ma mère qui m' a soutenu et encouragé durant ces années d'études  
qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance, et à  
Mami.*

*A ma nièce : Doursaf*

*A mes frères et mes sœurs Oumeima, M'hamed, Fadwa, Asma, Amine.*

*Et bien sûr à mon bras droit mon binôme.*

*A tous les gens m'aiment...*

*TAHAR Lamis.*

### ***Résumé :***

Depuis plusieurs années, des recherches sont effectuées dans les universités comme dans le domaine privé afin d'étudier les caractéristiques des matériaux recyclés visé à tirer le meilleur parti des matériaux avant de les éliminer comme déchets.

Aujourd'hui aussi, dans le souci de la préservation de l'environnement il s'intéresse au recyclage, c'est le cas pour les pneus usagés qui présentent plusieurs potentialités. Ces pneus, une fois broyés deviennent des granulés à propriétés spécifiques que l'on peut utiliser dans le domaine du génie civil pour produire des bétons spéciaux.

Parmi les résultats de cette étude, nous avons démontré que l'introduction de ces granulats en substitution à une quantité de granulats naturels engendre une baisse des propriétés mécaniques des nouveaux bétons (Résistance à la compression), les nouveaux bétons deviennent de plus en plus légers et ces bétons présentent des comportements plus ductiles et des ruptures moins fragiles.

Ces deux derniers points prouvent que ces granulats être utilisés pour des applications particulières du génie civil.

Mots Clés : béton ordinaire, granulas de caoutchouc, résistance à la compression, masse volumique.

### **Summary:**

For several years, research has been carried out at universities as well as in the private sector to study the characteristics of recycled materials in order to make the most of the materials before disposing of them as waste.

Today too, with a view to preserving the environment, it is interested in recycling, as is the case for used tires, which have several potential. These tires, once ground, become pellets with specific properties that can be used in the field of civil engineering to produce special concrete.

Among the results of this study, we have shown that the introduction of these aggregates in substitution for a quantity of natural aggregates causes a decrease in the mechanical properties of new concretes (Compressive strength), the new concretes become lighter and these concretes exhibit more ductile behaviors and less fragile ruptures.

These last two points prove that these aggregates are used for particular civil engineering applications.

Keywords: ordinary concrete, rubber granulates, compressive strength, density.

## ملخص:

أجريت بحوث في الجامعات وكذلك في القطاع الخاص لعدة سنوات، لدراسة خصائص المواد المعاد تدويرها من أجل الاستفادة القصوى من هاته الأخيرة قبل التخلص منها كنفائيات. اليوم أيضاً، يهدف الحفاظ على البيئة، نحن بصدد الاهتمام بإعادة تدوير هاته النفائيات، كما هو الحال بالنسبة للعجلات المطاطية المستعملة، والتي لديها العديد من الخصائص. تصبح هذه العجلات، بمجرد طحنها، كريات ذات خصائص محددة يمكن استخدامها في مجال الهندسة المدنية لإنتاج خرسانة خاصة. أظهرت نتائج هذه الدراسة، أن إدخال هذه النفائيات في الخرسانة كاستبدال كمية من المجاميع الطبيعية يؤدي إلى انخفاض في الخصائص الميكانيكية لهذه الأخيرة (قوة الانضغاط)، غير أنها تصبح أخف وزناً وتظهر سلوكيات أكثر مرونة وتمزقات أقل هشاشة. تثبت هاتان النقطتان الأخيرتان أن هذه النفائيات المستخلصة من العجلات المطاطية تستخدم لتطبيقات هندسية مدنية معينة. الكلمات الرئيسية: الخرسانة العادية، حبيبات المطاط، قوة الانضغاط، الكثافة.

## **Sommaire :**

Résumé:.....	I
ملخص.....	III
Liste des Abréviations .....	X
Liste des Figures .....	XI
Liste des Tableaux .....	XIV
Introduction générale .....	01

### **Chapitre I : Généralités sur les bétons**

I.1. Introduction .....	04
I.2. Les composantes du béton .....	05
I.2.1. Le ciment .....	05
I.2.1.1. Eléments fondamentaux du ciment .....	06
I.2.1.2. Types de ciments.....	07
I.2.1.3. Classe de résistance.....	08
I.2.2. Les granulats .....	08
I.2.2.1. Classes granulaires .....	09
I.2.2.2. Extraction et élaboration des granulats .....	10
I.2.3. L'eau de gâchage .....	13
I.2.3.1. Caractéristique physique .....	13
I.2.3.2. Caractéristique chimiques .....	14
I.2.4. Les Adjuvants .....	14
I.2.4.1. Classification .....	15
I.3. Composition des bétons .....	15
I.3.1. Méthode de BOLOMEY .....	16
I.3.2. Méthode D'ABRAMS .....	16
I.3.3. Méthode de FAURY .....	18
I.3.4 Méthode de Dreux Gorisse.....	20
I.3.4.1. Détermination du rapport C/E .....	21
I.3.4.2. Détermination de C .....	21



I.3.4.3. Détermination de E .....	22
I.3.4.4. Corrections sur le dosage en ciment C et le dosage en eau E .....	22
I.3.4.5. Détermination du mélange optimal à minimum de vides .....	23
I.3.4.6. Tracé de la droite de référence de Dreux.....	23
I.3.4.7. Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux .....	24
I.3.4.7. Détermination de la compacité du béton .....	25
I.3.4.8. Détermination des masses de granulats .....	27
I.3.4.9. Obtention de la formulation théorique de béton .....	27
I.4. Fabrication des bétons .....	28
I.4.1. Approvisionnement des matériaux .....	28
I.4.1.1. Stockage des granulats .....	28
I.4.1.2. Stockage du ciment .....	28
I.4.1.3. Approvisionnement de la bétonnière .....	28
I.4.2. Malaxage .....	28
I.4.2.1. Les malaxeurs .....	28
I.4.2.2. Les bétonnières .....	29
I.4.3. Transport .....	30
I.4.4. Pompage .....	30
I.5. Le béton frais .....	31
I.6. Le béton durci .....	31
I.7. Béton spéciaux .....	32
I.7.1. Béton réfractaires .....	32
I.7.2. Béton lourds .....	32
I.7.3. Béton légers .....	33
I.7.3.1. Propriétés et caractéristiques des bétons légers .....	34
I.8. Conclusion .....	36

**Chapitre II : Généralité sur le recyclage des déchets et utilisation des granulats de caoutchouc**

II.1. Introduction .....	39
II.2. Le recyclage des déchets .....	39

II.2.1. Définition d'un déchet .....	40
II.2.2. Classification des déchets .....	41
I.2.2.1. Selon la nature .....	41
I.2.2.2. Selon l'origine .....	41
II.2.3. Les déchets de la construction et l'environnement .....	42
II.2.4. Les types de déchets .....	43
II.2.4.1. Les déchets ménagers et assimilés .....	44
II.2.4.2. Les déchets fermentescibles .....	45
II.2.4.3. Les déchets ultimes .....	45
II.2.4.4. Les déchets inertes .....	45
II.2.4.5. Les déchets industriels .....	46
II.2.4.5.1. Déchets industriels non dangereux .....	46
II.2.4.5.2. Déchets industriels dangereux .....	46
II.2.4.6. Les déchets des collectivités locales .....	46
II.2.4.7. Les déchets radioactifs .....	46
II.2.5. Plans de gestion des déchets .....	47
II.2.5.1. Valorisation des déchets .....	47
II.2.5.1.1. Récupérer .....	47
II.2.5.1.2. Le recyclage .....	48
II.2.5.1.3. Le réemploi .....	48
II.2.5.1.4. La réutilisation .....	48
II.2.5.1.5. La régénération .....	48
II.2.5.2. Valorisation énergétique .....	48
II.2.5.3. Le stockage .....	48
II.3. Développement du recyclage .....	49
II.3.1. Pour quoi le recyclage ? .....	49
II.3.2. Les déchets dans le secteur du bâtiment .....	50
II.3.3. Utilisation des matériaux recyclés dans les bétons .....	51
II.4. Utilisation des déchets de caoutchouc dans le bâtiment .....	53
II.4.1. Définition des déchets du caoutchouc .....	53
II.4.2. Les étapes du recyclage des déchets de caoutchouc .....	54
II.4.3. Avantages d'utilisation du caoutchouc recyclé dans les bétons .....	57

II.4.4. Quelques chiffres des déchets du caoutchouc dans le monde .....	57
II.4.5. Les déchets du caoutchouc en Algérie .....	59
II.5. Conclusion .....	60

### *Chapitre III : Composition des bétons & procédures expérimentales*

III.1. Introduction .....	62
III.2. Matériaux utilisés .....	62
III.2.1. Le ciment .....	63
III.2.1.1. Domaine d'application.....	63
III.2.1.2. Caractéristiques techniques .....	63
III.2.2. L'eau de gâchage .....	64
III.2.3. Les Granulats .....	65
III.2.3.1. Granulats de caoutchoucs.....	65
III.2.3.2. Le sable .....	65
III.2.3.3. Le gravier 3/8 et 8/15 .....	66
III.3. L'analyse granulométrique .....	66
III.3.1. But de l'essai.....	66
III.3.2. Principe de l'essai.....	66
III.3.3. Mode opératoire .....	66
III.4. Equivalent de sable (NFP 18-598) .....	71
III.4.1. Etape de l'essai .....	71
III.4.2. Résultat .....	71
III.5. Essai au bleu de méthylène P 18.592 .....	72
III.5.1. Exécution de l'essai .....	73
III.5.2. Résultat .....	73
III.6. Module de finesse.....	74
III.7. Masse volumique.....	74
III.7.1. La masse volumique apparente (Mv app).....	74
III.7.1.1. Equipement et matériaux .....	75
III.7.1.2. Mode opératoire .....	75
III.7.1.3. Calculs et résultats .....	75

III.7.2. La masse volumique absolue (Mv abs) .....	78
III.7.2.1. Equipement et matériaux .....	79
III.7.2.2. Mode opératoire .....	79
III.7.2.2. Expression des résultats .....	80
III.7.3. Porosités .....	80
III.7.4. Compacité .....	81
III.7.5. Indice de vide .....	81
III.8. Essai de Blaine .....	82
III.8.1. Résultat .....	82
III.9. Essai de consistance de ciment (Appareil de Vicat EN 196-3) .....	83
III.9.1. Objectif .....	83
III.9.2. Mode opératoire .....	83
III.9.3. Résultat et interprétation .....	85
III.10. Formulation des bétons .....	86
III.10.1. Méthode de formulation de Dreux-Gorisse .....	86
III.10.1.1. Détermination du rapport C/E .....	86
III.10.1.2. Détermination du mélange optimal à minimum de vides .....	87
III.10.1.3. Détermination de la compacité du béton .....	89
III.10.1.4. Détermination des masses de granulats .....	89
III.10. Etude de béton.....	89
III.10.1. Confection des cures des éprouvettes .....	89
III.10.2. Malaxage du béton .....	90
III.11. Programme des essais.....	92
III.11.1. Mesure de la consistance .....	92
III.11.2. Vibration .....	92
III.11.3. Essai de compression.....	94
III.12. Conclusion .....	95

#### *Chapitre IV : Résultats & Interprétation*

IV.1. Introduction .....	97
IV.2. Résultats des essais menés sur les bétons (14 jours) .....	97

IV.2.1. Résultats des masses volumiques des bétons durcis .....	97
IV.2.2. Résultats des résistances à 14 jours .....	99
IV.3. Résultats des essais menés sur les bétons (28 jours) .....	101
IV.3.1. Résultats des masses volumiques des bétons durcis .....	101
IV.3.2. Résultats des résistances à 28 jours .....	103
IV.4. Etat de dégradation des éprouvettes .....	104
IV.5. Conclusion .....	106
Conclusion générale .....	108

## *Liste des Abréviations*

BO : béton ordinaire.

GC : Granulats de caoutchouc.

Ech : échantillon.

E.S.V: Equivalent de sable visuel.

E.S.P: Equivalent de sable piston.

q : quantité.

V : volume.

VB : Valeur de bleu de méthylène.

Mf : Module de finesse.

RC : refus cumulé.

$M_{vapp}$  : Masse volumique apparente.

$M_{vabs}$  : Masse volumique absolu.

P% : Porosité.

C% : compacité.

I : Indice de vide.

t : Le temps.

T : La température.

$S_m$  : Surface spécifique.

$m_c$  : Masse de ciment.

$m_e$  : Masse d'eau.

E : Eau.

C : Ciment.

d : Distance.

$D_{max}$  : Diamètre maximale de tamis.

$\sigma'_{28}$  = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa.

$\sigma'_c$  = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa.

$G'$  = Coefficient granulaire.

B 05% GC : Béton à 5 % de granulats des caoutchoucs.

B 10% GC : Béton à 10% de granulats des caoutchoucs.

## *Liste des Figures*

Figure I.1 : Le ciment .....	05
Figure I.2 : Exemples de granulats d'origines différentes .....	08
Figure I.3 : Graphique et courbes granulométriques.....	09
Figure I.4 : Fabrication des granulats en roche massive .....	11
Figure I.5 : Fabrication des granulats en roche meuble .....	12
Figure I.6 : L'eau de gâchage .....	13
Figure I.7 : Les adjuvants du béton.....	15
Figure I.8 : Courbes illustratives de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams .....	17
Figure I.9.: Courbes de référence Faury.....	20
Figure I.10 : Abaque permettant la détermination de Copt .....	22
Figure I.11 : Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau.....	25
Figure I.12 : Le malaxeur du béton.....	29
Figure I.13 : Le bétonnière du béton.....	29
Figure I.14 : Le pompage du béton.....	30
Figure I.15 : Le béton frais .....	31
Figure I.16 : Le béton durci.....	31
Figure I.17 : Le béton lourds .....	33
Figure I.18 : Le béton léger .....	33
Figure I.19 : Exemple de variation de la résistance en compression de béton légers en fonction de la masse volumique .....	34
Figure I.20 : Développement du retrait en fonction du temps.....	36
Figure II.1 : Le recyclage des déchets.....	40
Figure II.2 : Les types de déchets .....	44
Figure II.3 : Déchets du bâtiment matériaux.....	51
Figure II.4 : Utilisation des matériaux recyclés dans les bétons.....	52
Figure II.5 : Caoutchouc synthétique .....	54
Figure II.6 : L'arbre tropical Hévéa.....	54
Figure II.7 : Recyclage de pneus .....	55
Figure II.8 : Collecte et faire le tri de pneus.....	55
Figure II.9 : Machine de recyclage de pneus.....	56

Figure II.10 : Récupération de l'acier (Séparation) .....	56
Figure II.11 : Les tailles différentes des déchets caoutchouc.....	57
Figure II.12 : Stock de pneus usagés.....	58
Figure II.13 : Chantier expérimental Pneu sol à Bou-SMAIL .....	59
Figure III.1 : Les composantes du béton utilisés pour notre étude .....	62
Figure III.2 : Ciment Al esses CEM I 42.5.....	64
Figure III.3 : Eau de robinet .....	64
Figure III.4 : Granulats de caoutchouc préparé .....	65
Figure II.5 : Sable du Guelta .....	65
Figure III.6 : Le gravier 3/8.....	66
Figure III.7 : Le gravier 8/15 .....	66
Figure III.8 : Série des tamis .....	67
Figure III.9 : Courbe granulométrique de gravier 8/15.....	68
Figure III.10 : Courbe granulométrique de gravier 3/8.....	69
Figure III.11 : Courbe granulométrique de sable.....	70
Figure III.12 : L'analyse granulométrique .....	70
Figure III.13 : Equivalent de sable.....	72
Figure III.14 : Essai au bleu de méthylène.....	73
Figure III.15 : Les matériaux utilisé pour calculer la masse volumique.....	74
Figure III.16 : Mode opératoire de la masse volumique apparente de sable.....	76
Figure III.17 : Mode opératoire de la masse volumique apparente de gravier 3/8.....	77
Figure II.18 : Mode opératoire de la masse volumique apparente de gravier 8/15 .....	78
Figure III.19 : Représentation d'essai de la masse volumique absolue .....	79
Figure III.20 : Séchage des échantillons .....	80
Figure III.21 : Appareille de Blaine .....	83
Figure III.22 : Essai de consistance de ciment .....	85
Figure III.23 : Consistance de ciment .....	86
Figure III.24 : Abaque permettant la détermination de C .....	87
Figure III.25 : Les lignes de partage .....	88
Figure III.26 : Préparation des éprouvettes .....	90
Figure III.27 : Les particules secs .....	91
Figure III.28 : Le béton préparé.....	91



Figure III.29 : l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.....	92
Figure III.30 : Vibration des éprouvettes .....	93
Figure III.31 : Les éprouvettes libre à l'air.....	93
Figure III.32 : Conservation des éprouvettes dans l'eau.....	94
Figure III.33 : La machine pour essai de compression et affichage de la résistance (la machine de laboratoire de MDC).....	95
Figure IV.1 : Les éprouvettes après la conservation dans l'eau (14 jour).....	98
Figure IV.2 : Masse volumique des bétons en fonction du pourcentage en GC .....	99
Figure IV.3 : Histogramme des résistances à la compression à 14 jours des bétons.....	100
Figure IV.4 : Les éprouvettes après la conservation dans l'eau (28 jour).....	101
Figure IV.5 : Masse volumique des bétons en fonction du pourcentage en GC .....	102
Figure IV.6 : Histogramme des résistances à la compression à 28 jours des bétons.....	104
Figure IV.7 : Etat d'endommagement des éprouvettes de bétons après rupture .....	105

## *Liste des Tableaux*

Tableau I.1 : Liste des différents types de ciments.....	07
Tableau I.2 : Classe de résistance des ciments.....	08
Tableau I.3 : Classe granulaires.....	09
Tableau I.4 : Valeurs optimales d'après d'abrams du module de finesse des compositions granulaires des bétons courants .....	17
Tableau I.5 : Valeur d'A.....	19
Tableau I.6 : Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats Dmax.....	21
Tableau I.7 : Correction sur le dosage de pâte en fonction de Dmax .....	22
Tableau I.8 : K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.....	24
Tableau I.9 : Compacité du béton en fonction de Dmax, de la consistance et du serrage .....	26
Tableau II.1 : Déchets industriels selon leur origine .....	41
Tableau II.2 : Déchet urbain selon leur origine .....	42
Tableau III.1 : Résultat de l'analyse granulométrique de gravier (8/15).....	67
Tableau III.2 : Résultat de l'analyse granulométrique de gravier (3/8).....	68
Tableau III.3 : Résultat de l'analyse granulométrique de sable.....	69
Tableau III.4 : Equivalent de sable .....	71
Tableau III.5 : Classification des sables.....	72
Tableau III.6 : Résultat de porosités .....	81
Tableau III.7 : Résultat de compacité .....	81
Tableau III.8 : Indice de vide.....	82
Tableau III.9 : Les résultats de consistance de ciment.....	85
Tableau IV.1 : Masses des éprouvettes (kg) et masses volumiques des bétons durcis (kg/m <sup>3</sup> ) ...	98
Tableau IV.2 : Résistance moyenne à la compression à 14 jours (MPa).....	100
Tableau IV.3 : Masses des éprouvettes (kg) et masses volumiques des bétons durcis (kg/m <sup>3</sup> )	102
Tableau IV.4 : Résistance moyenne à la compression à 28 jours (MPa).....	103



# *Introduction Général*



## *Introduction général*

Le béton est le matériau le plus utilisé dans la construction à travers le monde. En effet, sa rapidité de fabrication, sa rapidité d'installation, son faible coût et ses propriétés mécaniques et sa durabilité contribuent à accroître son utilisation dans toutes les structures, telles que les immeubles de bureaux ou résidentiels, les ponts, les centrales nucléaires.

Cependant, les propriétés du béton varient fortement avec la température. Sous l'action des hautes températures, les composants du béton (granulats, sable, pâte de ciment, eau) se décomposent et subissent différentes transformations, affectant ainsi l'évolution des propriétés mécaniques et thermiques du béton avec la température.

Dans un souci de protection de l'environnement et de protection de la nature, l'industrie de la construction, grande consommatrice de granulats, doit s'aligner sur cette pratique et trouver des sources alternatives pour remplacer les granulats de carrière et de rivière, dont l'extraction est nocive pour la nature. L'utilisation de granulats recyclés semble être une solution à ces problèmes.

Le recyclage des déchets de pneus automobiles apparaît comme une source de matière intéressante pour la production de béton aux propriétés spécifiques qu'il convient de caractériser. Le caoutchouc par sa nature a des propriétés très différentes des granulats naturels, donc si on veut l'utiliser dans la construction, c'est pour fabriquer des bétons spécifiques (béton allégé, béton aux propriétés thermiques et acoustiques, etc.). C'est dans cet esprit que s'inscrivait le but de cette étude.

L'objectif de ce travail était d'étudier le potentiel des matériaux composites développés dans divers domaines d'application pour incorporer des particules de caoutchouc dans le béton. Pour atteindre cet objectif, nous envisageons d'introduire une certaine quantité de granulats de caoutchouc dans le béton selon différentes proportions.

Nous nous sommes ensuite intéressés à un aspect de ce béton :

- Résistance à la compression à 14 et 28 jours sur des bétons.
- La masse volumique de ces nouveaux bétons

Cette présentation est structurée comme suit :

- *Introduction général.*

- *Le premier chapitre* : nous avons fait un rappel sur les généralités des bétons.

- *Le deuxième chapitre* : Nous avons présenté certaines généralités concernant la gestion des déchets et leur intérêt, et le recyclage des déchets de caoutchouc des pneus.

- *Troisième chapitre* : Définition de la méthode de composition de béton et présentation des différentes procédures expérimentales utilisées pour cette étude.

- *Quatrième chapitre* : Nous avons présenté les résultats et l'interprétation des résultats obtenus.

- *Conclusion général.*



## ***CHAPITRE I :***

### *Généralité sur les bétons*



## ***1.1. Introduction :***

Le béton a été depuis longtemps le matériau le plus utilisé dans la construction.

Il demeurera sans aucun doute le matériau le plus employé, au cours des prochaines décennies, dans la construction de divers ouvrages [1].

Le béton est un ensemble homogène obtenu par l'assemblage de matériaux de nature généralement minérale. Il met en présence des matières inertes, appelées granulats ou agrégats (graviers, gravillons, sables, etc...) et un liant (ciment, bitume, argile) que quelque fois d'adjuvants.

C'est-à-dire une matière susceptible d'en agglomérer d'autres ainsi que des adjuvants qui modifient les propriétés physiques et chimiques du mélange. Mêlé à de 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.

Les bétons peuvent être armés ou non, ou même précontraints. Ses performances (étanchéité, résistance, faible retrait, durabilité, résistance au feu, etc...) varient selon ses composants.

C'est un matériau dont le moulage est assez facile et il est adapté à tous les types de formes d'ouvrage.

Cependant l'utilisation d'un tel matériau est loin de se limiter à une simple application ; sa mise en œuvre doit obéir à des règles strictes au-delà desquelles de sérieux problèmes peuvent apparaître.

Il est alors évident que la conception correcte d'un ouvrage quel qu'il soit requiert :

- 1) la connaissance des propriétés des matériaux utilisés.
- 2) le calcul de dimensionnement des pièces.

Cette connaissance des propriétés des matériaux implique qu'en premier lieu soit connue la constitution de ceux-ci.

C'est précisément l'objet de cet ouvrage qui traite.

- Des constituants des bétons et de leurs propriétés ;
- Des propriétés pratiques et technologiques du béton lui-même.

C'est un cours où nous avons tenté de rassembler dans un langage clair, les connaissances essentielles et suffisantes devant permettre au lecteur d'assimiler convenablement cette matière et de se familiariser avec les différentes techniques conduisant à un béton de qualité [1].

## *1.2. Les composantes du béton :*

### *1.2.1. Le ciment :*

Le ciment d'une façon générale, peut être défini comme étant un matériau dont les propriétés de liaison et de cohésion permettent de lier en un ensemble compact des fragments de matériau [2].

Ils sont des poudres fines obtenues par la cuisson à haute température (vers 1450°C) et le broyage d'un mélange minéral (calcaire + argile en général).

Ces poudres constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier silicates et aluminates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par « hydratation » de faire prise et de durcir progressivement (plus ou moins rapidement d'ailleurs) d'où le nom de liants hydrauliques par opposition avec « liants aériens » (à base de chaux grasse et maigre) qui ne peuvent durcir qu'an contact de l'air [3].



**Figure I.1 :** Le ciment.



## *1.2.1.1. Eléments fondamentaux du ciment :*

- Clinker (K)
- Laitier granulé de haut fourneau (S)
- Cendres volantes (V ou W)
- Pouzzolanes (Z)
- Fillers (F)
- Schistes calcique (T)
- Calcaires (L)
- Fumée de silice (D)
- Sulfate de calcium (Gypse)

*I.2.1.2. Types de ciments*

La nouvelle standardisation inclut cinq principaux types de ciments présentés dans le tableau :

Type de ciment	Nomination	Contenu en pourcentage d'un élément	Teneur en CLINKER
Ciment portland	CPA-CEM (I)	/	95 à 100 %
Ciment portland composée	CPJ - CEM (II/A)	De 6 à 20 % (laitier , cendres , fumées de silice , pouzzolanes , calcaire , schistes )	80 à 94 %
	CPJ - CEM (II/B)	De 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que celles qui précèdent	65 à 79 %
Ciment de haut-fourneau	CHF- CEM (III/A)	De 36 à 65 % de laitier ( S )	35 à 64 %
	CHF- CEM (III/B)	De 66 à 80 % de laitier	20 à 34 %
	CHF- CEM (III/C)	De 81 à 95 % de laitier	5 à 19 %
Ciment pouzzolanique	CPZ – CEM (IV/A)	De 10 à 35 % de pouzzolanes , cendres siliceuses ou fumées de silice	45 à 90 %
	CPZ – CEM (IV/B)	De 36 à 55 % comme si dessous	45 à 64 %
Ciment au laitier et aux cendres	CLC – CEM (V/A)	De 18 à 30 % de laitier et de 18 à 30 de pouzzolanes ou de cendres siliceuses	40 à 64 %
	CLC – CEM (V/B)	De 31 à 50 % comme si dessous	20 à 39 %

**Tableau I.1** : Liste des différents types de ciments [2].

***1.2.1.3. Classe de résistance :***

Le ciment possède trois classes de résistances répertoriées dans le tableau ci-après :

	Résistance au jeune âge en Mpa		Résistance normale en Mpa	
	à 2 jours limite inférieure	à 7 jours limite inférieure	à 28 jours limite inférieure	à 28 jours limite supérieure
32,5	-	-	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5 R	$\geq 13,5$	-	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
42,5	$\geq 12,5$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5 R	$\geq 20$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
52,5	$\geq 20$	-	$\geq 52,5$	-
52,5 R	$\geq 30$	-	$\geq 52,5$	-

**Tableau I.2 :** Classe de résistance des ciments [2].

***1.2.2. Les granulats :***

On appelle (granulats) les matériaux inertes, les sables de gravier ou les galets qui sont utilisés dans la composition du béton.

- Ces matières sont parfois encore appelées « agrégats » [2].



**Figure I.2 :** Exemples de granulats d’origines différentes.

**1.2.2.1. Classes granulaires :**

Les granulats sont classés selon leur dimension déterminée par criblage sur tamis à mailles carrées dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres [3].

**On appelle :**

- **Tamisât :** la partie du granulat qui est passée à travers le tamis.
- **Refus :** la partie qui restée sur le tamis.

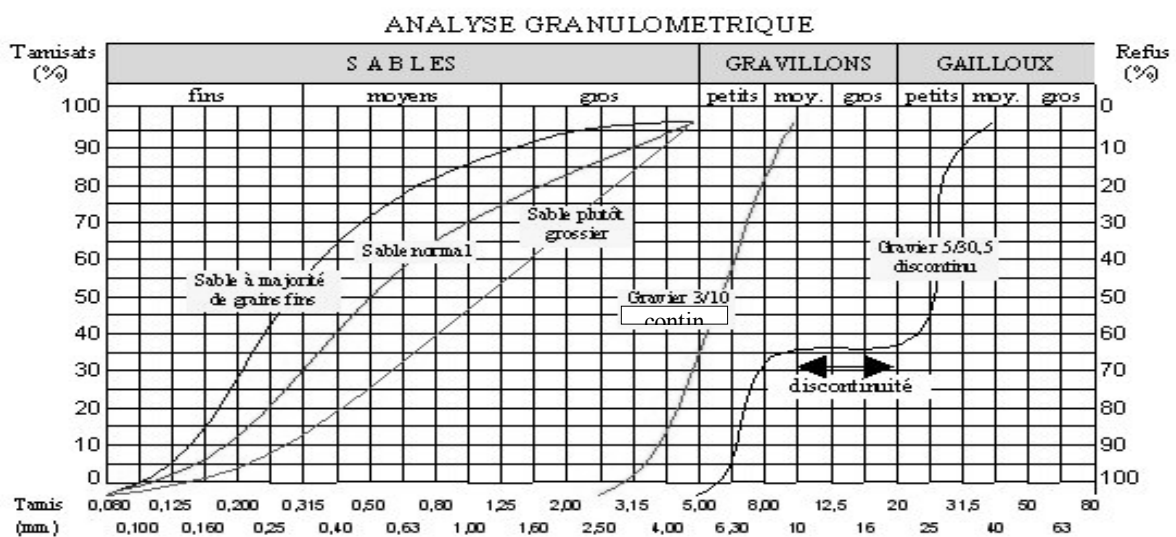
✓ Un granulat est désigné sa classe granulaire exprimée par le couple **d/D** ou **0/D** avec :

**d :** dimension inférieure du granulat.

**D :** dimension supérieure du granulat.

	<b>Dimensions</b>	<b>Caractéristiques</b>
Fines	0/D	Lorsque $D \leq 0,080$ mm
Sables	0/D	$D \leq 6,3$ mm
Gravillons	d/D	$d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm
Cailloux	d/D	$d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm
Graves	0/D	$6,3$ mm $\leq D \leq 80$ mm
Ballast	d/D	$d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm

**Tableau I.3 :** Classe granulaires [3].



**Figure I.3 :** Graphique et courbes granulométriques [3].

***1.2.2.2. Extraction et élaboration des granulats :***

Pour élaborer des granulats, le principe est simple : il suffit de broyer des roches.

Mais en pratique, le procédé pour obtenir des granulats de taille normalisée et homogène est bien plus complexe.

***✓ Fabrication en roche massive :***

La fabrication en roche massive commence par une phase d'extraction, avec l'utilisation d'explosifs.

C'est l'abattage. Les matériaux extraits vont ensuite être lavés, concassés et criblés pour obtenir la granularité souhaitée. Les plus grosses fractions de roche sont rejetées lors du criblage, pour subir un nouveau concassage [4].

Et c'est ce que nous allons montrer dans le schéma suivant :

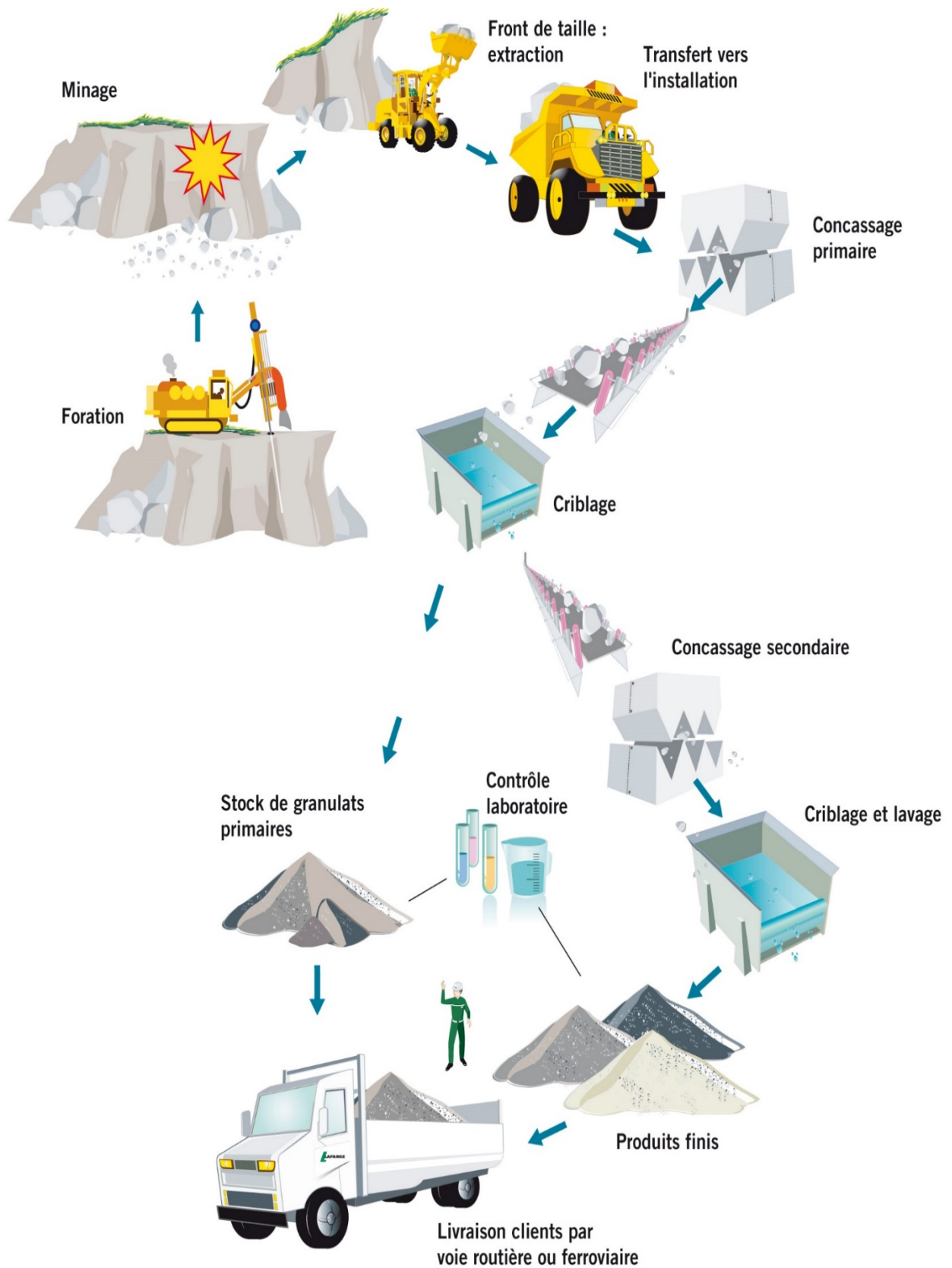


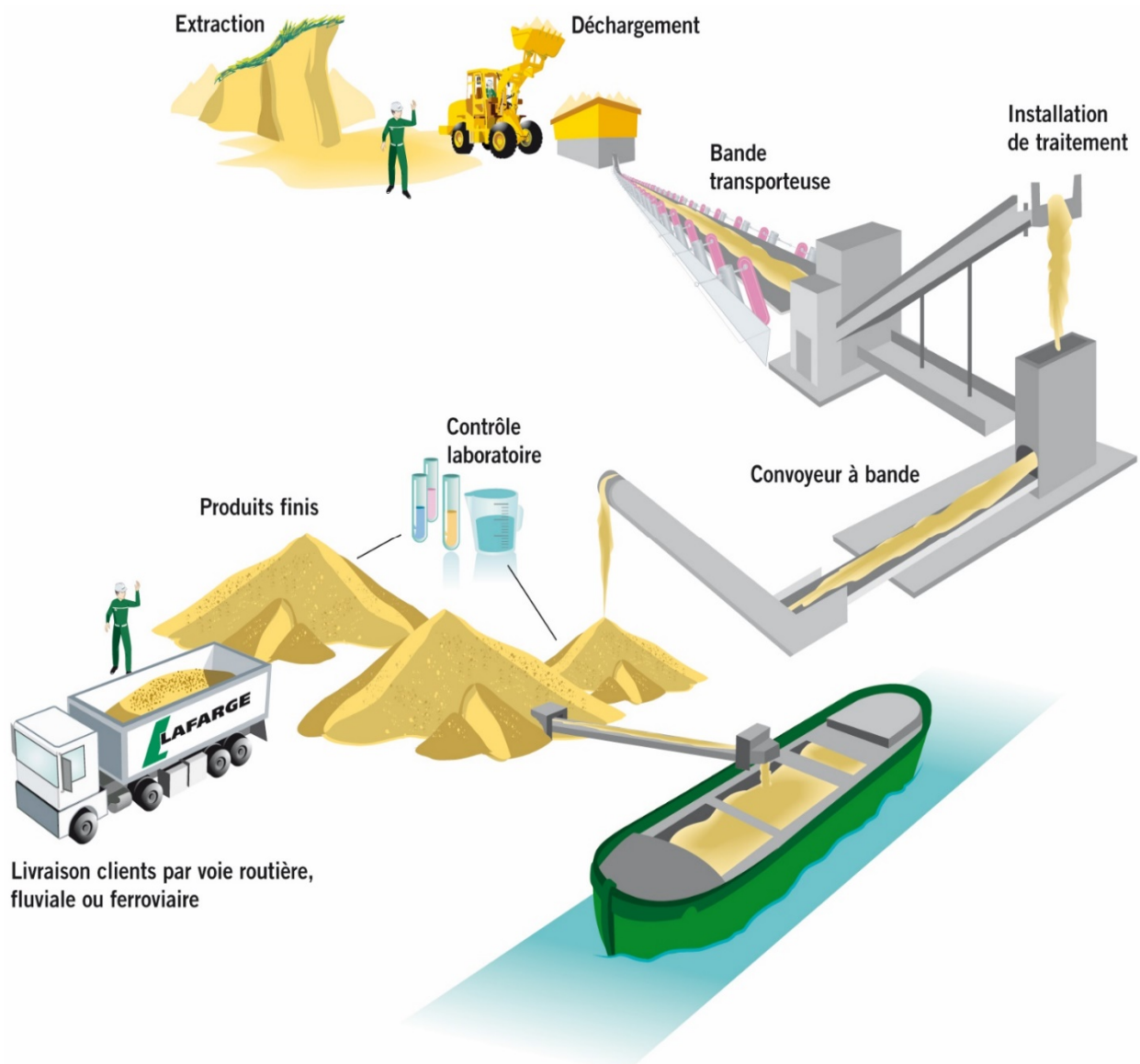
Figure I.4 : Fabrication des granulats en roche massive [4].

## *Fabrication en roche meuble :*

La fabrication en roche meuble est plus simple puisque l'extraction ne nécessite pas de fractionner.

**La roche :** elle est exploitée directement dans la carrière, avant d'être lavée et triée, avec peu ou pas de concassage. Le lavage est en revanche une étape importante pour débarrasser les sables ou graviers de l'argile qui les enrobe [4].

Et c'est ce que nous allons montrer dans le schéma suivant :



**Figure I.5 :** Fabrication des granulats en roche meuble [4].

### *1.2.3. L'eau de gâchage :*

L'eau de gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de béton.

Elle est nécessaire pour l'hydratation du liants, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du béton.

Ces est soumise à certaines exigences et a même fait l'objet d'une norme (NFP 18-303) on conçoit donc, en premier lieu, que les impuretés nocives interdites pour les granulats no doivent pas être apportées par l'eau de gâchage [1].



**Figure I.6 :** L'eau de gâchage.

#### *1.2.3.1. Caractéristique physique :*

L'eau en lisier de béton doit être propre : ne pas contenir de solides en suspension au-dessus de certaines valeurs autorisées.

✓ Voici les limites réglementaires :

\_ 2 g/litre pour les bétons des types A et B.

\_ 5 g/litre pour bétons du type C [1].



### *1.2.3.2. Caractéristique chimiques :*

L'eau de mélange du béton ne doit contenir que les sels dissous suivants :

\_ 15 g/litre pour les bétons des types A et B.

\_ 30 g/litre pour les bétons du type C [1].

- **Béton A** : béton de haute qualité à résistance élevée.
- **Béton B**: béton à faible perméabilité.
- **Béton C** : béton à faible résistance peu ou non armé [1].

### *1.2.4. Les Adjuvants :*

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, lorsqu'ils sont incorporés dans le béton à un dosage inférieur à 5 % en poids de ciment, lors du malaxage du béton ou avant sa mise en œuvre, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ces produits.

La plupart des adjuvants sont commercialisés sous forme liquide pour faciliter leur utilisation.

Certains adjuvants sont fournis sous forme de poudre pour réduire leurs coûts de transport (comme c'est le cas sur les sites d'exportation).

Dans ce cas, il est généralement nécessaire de le diluer avant utilisation : une petite quantité de poudre n'est en effet pas aussi uniformément dispersée dans une bétonnière qu'un liquide [3].



**Figure I.7 :** Les adjuvants du béton [5].

#### ***1.2.4.1. Classification :***

La norme européenne EN 934-2 (dont la publication est prévue en 1995) a retenu la classification suivante [3] :

- ✓ Plastifiants réducteurs d'eau.
- ✓ Super plastifiants hautement réducteurs d'eau.
- ✓ Rétenteurs d'eau.
- ✓ Entraîneurs d'air.
- ✓ Accélérateurs de prise.
- ✓ Accélérateurs de durcissement.
- ✓ Retardateurs de prise.
- ✓ Hydrofuges.

#### ***1.3. Composition des bétons :***

La formulation concrète consiste en la définition des proportions de ces différents éléments. La formulation du béton dépend de la réalisation voulue, de la mécanique et de la durabilité [3].

Toutes les méthodes de recette suivent le même modèle, résumé ci-après :

- Sélection de l'ossature granulaire (gravier et sable) et du diamètre maximal des granulats, l'ossature doit être vérifiée avec l'axe du béton granulaire correspondant au type de béton visé. Les fuseaux de particules sont obtenus en collectant des courbes de particules de béton

de bonne qualité, ce qui a été démontré dans des projets antérieurs.

- sélection du type de ciment et du rapport eau-ciment.
- le choix du dosage du ciment et le choix du volume de granulat.
- choix de l'adjuvant.
- Etudes expérimentales par dosage adjuvant.

Quant à la nature du granulat, elle est généralement imposée par la carrière alimentant la zone où le béton doit être produit.

Il existe plusieurs techniques de formulation du béton :

Méthode de BOLOMEY, méthode D'ABRAMS, méthode de FAURY, méthode de VALLETTE, méthode de JOISEL, méthode de Dreux Gorisse ... [3].

### ***1.3.1. Méthode de BOLOMEY :***

Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris), dont la courbe soit aussi proche que possible de la courbe théorique. Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris) [3].

La formule de base se présente ainsi.

$$P = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

**P:** pourcentage de grains traversant la crépine de diamètre d.

**D:** le diamètre du plus gros grain.

**A:** varie de 8 à 16.

### ***1.3.2. Méthode D'ABRAMS :***

On choisit le module de finesse du mélange de façon à réduire au minimum les vides dans ce mélange.

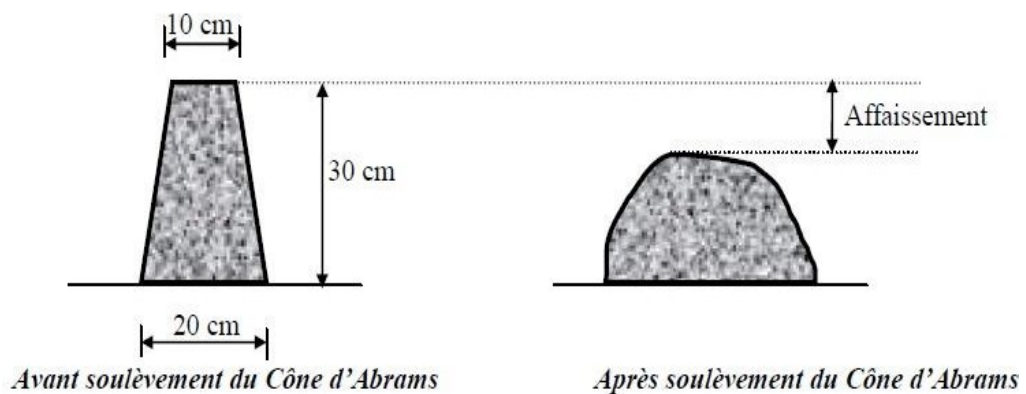
Les modules optimaux pour béton de granulats roulés, déterminés

expérimentalement par Abrams Sont indiqués dans le tableau en fonction du dosage en ciment et de la dimension D du granulats le plus gros [3].

- **A** : est choisi à partir du tableau.
- **D** : est exprimé en dimension de tamis.
- **B** : varie de 1 à 2 selon que le béton est ferme ou mou.
- **R** : est le rayon moyen du moule.

Dosage en ciment Kg/m <sup>3</sup>	Dimension Maximale D des granulats						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4,05	4,45	4,85	5,25	5,60	5,80	6,00
300	4,20	4,60	5,00	5,40	5,65	5,85	6,20
350	4,30	4,70	5,10	5,50	5,73	5,88	6,30
400	4,40	4,80	5,20	5,60	5,80	5,90	6,40

**Tableau I.4** : Valeurs optimales d’après d’abrams du module de finesse des compositions granulaires des bétons courants [3].



**Figure I.8** : Courbes illustratives de l’essai d’affaissement au cône d’Abrams [6].

***I.3.3. Méthode de FAURY :***

Faury proposa, comme suite à une étude générale du béton, une nouvelle loi de granulation du type « Continu ».

Il s'inspirait pour cela d'une théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen. Faury a distingué les grains fins et moyens ( $< D/2$ ) des gros grains ( $> D/2$ ) et la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories [3].

- Cette valeur est calculée de la façon suivante :

$$Y = A + 17 \sqrt[5]{D} + \frac{B}{D^{-0,75}}$$

	Sables et graviers roulés usuels	Sables roulés et graviers de broyage usuels	Sables et graviers de broyage usuels
<b>Consistance très fluide. Mise en œuvre sans serrage</b>	“ 32	“ 34	“ 38
<b>Consistance fluide pour faible serrage</b>	30 à 32	32 à 34	36 à 38
<b>Consistance molle pour serrage moyen</b>	28 à 30	30 à 32	34 à 36
<b>Consistance ferme pour serrage soigné</b>	26 à 28	28 à 30	32 à 34
<b>Consistance très ferme pour serrage puissant</b>	24 à 26	26 à 28	30 à 32
<b>Consistance de terre humide, serrage très puissant</b>	22 à 24	24 à 26	28 à 30
<b>Serrage exceptionnellement puissant</b>	< 22 (à déterminer dans chaque cas)	< 24 (à déterminer)	< 28 (à déterminer)

Tableau I.5 : Valeur d'A [3].

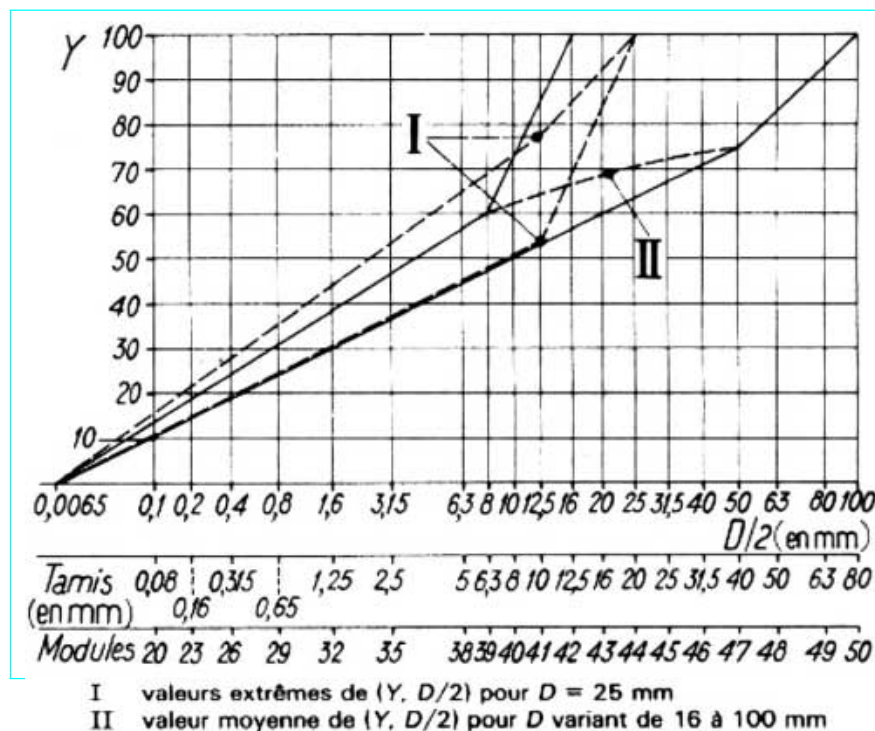


Figure I.9 : Courbes de référence Faury [7].

#### I.3.4 Méthode de Dreux Gorisse :

La méthode de formulation Dreux-Gorisse détermine les quantités optimales de matériaux :

(Eau E, ciment C, sable S, gravier g et gravier G) nécessaires à la fabrication d'un mètre cube de béton selon un cahier des charges.

L'obtention de la formule théoriquement spécifique nécessite plusieurs étapes de calcul séquentielles :

- Détermination du rapport C/E Détermination de C et E.
- Détermination du meilleur rapport de mélange avec un minimum de vides Détermination de la compacité du béton.
- Détermination de la masse totale [8].

**I.3.4.1. Détermination du rapport C/E :**

Le rapport C/E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0,5)$$

Avec :

$\sigma'_{28}$  : Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa.

$\sigma'_c$  : Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa.

C : Dosage en ciment en kg par m<sup>3</sup> de béton.

E : Dosage en eau total sur matériau sec en litre par m<sup>3</sup> de béton.

G' : Coefficient granulaire (Tab.6) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats [8].

Qualité des granulats	Dimension $D_{\max}$ des granulats		
	Fins $D_{\max} < 12,5 \text{ mm}$	Moyens $20 < D_{\max} < 31,5$	Gros $D_{\max} > 50 \text{ mm}$
<b>Excellente</b>	0,55	0,60	0,65
<b>Bonne, courante</b>	0,45	0,50	0,55
<b>Passable</b>	0,35	0,40	0,45

**Tableau I.6 :** Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats  $D_{\max}$  [8].

**I.3.4.2. Détermination de C :**

La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque de la figure 6 en fonction des valeurs de E/C et de l'affaissement au cône d'Abrams.



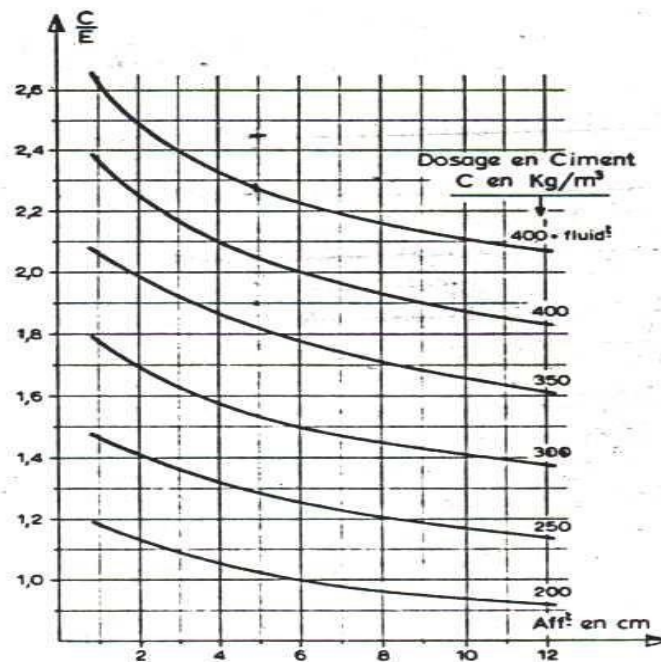


Figure I.10 : Abaque permettant la détermination de  $C_{opt}$  [6].

**I.3.4.3. Détermination de E :**

La quantité d'eau E nécessaire à la confection du béton se calcule grâce aux valeurs de  $E/C$  et de C.

**I.3.4.4. Corrections sur le dosage en ciment C et le dosage en eau E :**

Lorsque la dimension maximale  $D_{max}$  des granulats diffère de 20 mm, la quantité de lixivier doit être corrigée pour obtenir la maniabilité requise.

Une correction doit être apportée pour les quantités d'eau et de ciment (**tableau I.7**) (le rapport  $C/W$  reste le même) [8].

<b>Dimension maximale des granulats (<math>D_{max}</math> en mm)</b>	5	8	12,5	20	31,5	50	80
<b>Correction sur le dosage de pâte (en %)</b>	+ 15	+ 9	+ 4	0	- 4	- 8	- 12

Tableau I.7 : Correction sur le dosage de pâte en fonction de  $D_{max}$  [8].

***1.3.4.5. Détermination du mélange optimal à minimum de vides :***

Il s'agissait de déterminer les pourcentages de sable, de gravier et de cailloux qui permettraient d'obtenir un squelette granuleux avec un minimum de vides. La quantité de matière pour chaque classe de particules doit être judicieuse afin que les plus petits éléments remplissent les vides laissés par les plus gros éléments. La courbe granulométrique théorique pour un matériau avec un minimum de vides peut être représentée par une ligne en pointillés. La méthode proposée par Dreux pour déterminer le meilleur mélange avec un minimum de vides est la suivante :

-Graphique linéaire de référence.

-Détermination du pourcentage volumique absolu des matériaux [8].

***1.3.4.6. Tracé de la droite de référence de Dreux :***

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides.

C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y :

-En abscisse :

$$\text{Si } D_{\max} \leq 20 \text{ mm} \quad X = D_{\max} / 2$$

$$\text{Si } D_{\max} > 20 \text{ mm} \quad \text{Module}(X) = (\text{Module}(D_{\max}) + 38) / 2$$

-En ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{1,25 (D_{\max})} + K' \quad \text{où } K' = K + K_s + K_p$$

- ✓ **Y** est donné en pourcentage de passants cumulés
- ✓ **K** est un coefficient donné par le tableau 6, **K<sub>s</sub>** et **K<sub>p</sub>** étant des coefficients correctifs définis par :
- ✓ **K<sub>s</sub>** (correction supplémentaire fonction de la granularité du sable) :
- ✓ **K<sub>s</sub>** = (6 **M<sub>fs</sub>** - 15) avec **M<sub>fs</sub>** le module de finesse du sable.
- ✓ **K<sub>p</sub>** (correction supplémentaire si le béton est pompable) :
- ✓ **K<sub>p</sub>** = +5 à +10 selon le degré de plasticité désiré.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en Ciment	400 + Fluide	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200	+ 8	+ 10	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6

**Tableau I.8 :** K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment [8].

La droite de Dreux a pour origine le point 0 origine du graphe et pour extrémité le point  $D_{\max}$  caractéristique des plus gros granulats [8].

#### ***1.3.4.7. Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux :***

Afin de déterminer le pourcentage volumique absolu de granulats permettant de préparer le mélange avec un vide minimum, comme le montre la **figure I.12**, il est nécessaire de tracer des lignes joignant les courbes granulométriques des matériaux du mélange deux à deux.

Ces lignes sont rejetées par 5% de matériau à faible granulométrie et 5 Le taux de réussite des matériaux à haute granulométrie. L'intersection des lignes ainsi tracées avec la ligne de Dreux en pointillés permet de déterminer le pourcentage volumique absolu de chaque matériau par extension sur l'axe d'ordonnée.

Ces pourcentages sont nécessaires pour obtenir un mélange dont la courbe granulométrique est proche de la ligne brisée de Dreux.

Ces pourcentages peuvent être à ajuster si la courbe de mélange obtenue est trop éloignée de la courbe de Dreux [8].

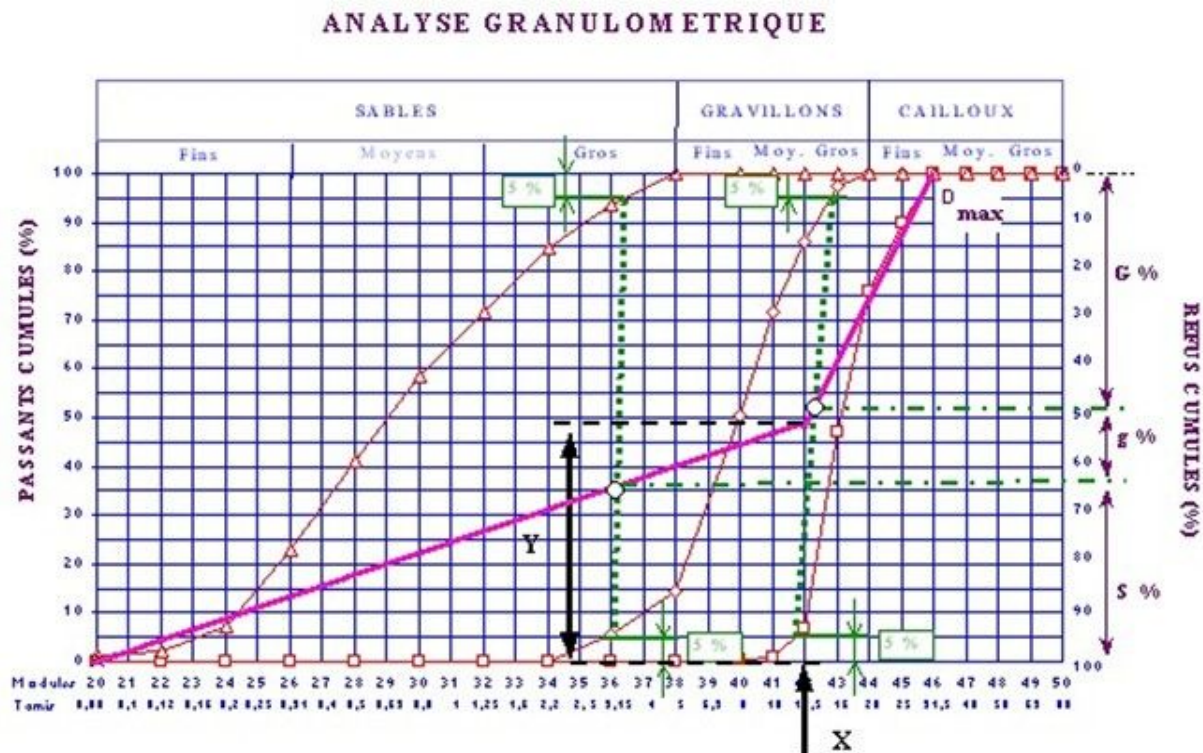


Figure I.11 : Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau [8].

**1.3.4.7. Détermination de la compacité du béton :**

Pour déterminer les masses de granulats entrant dans la composition de béton, il est nécessaire de déterminer la compacité du béton qui correspond au volume absolu en m<sup>3</sup> de solide contenu dans un mètre cube de béton (volumes absolus de ciment, de sable, de gravette et de gravier).

Sa valeur de base  $c_0$  est fonction de la taille des granulats, de la consistance du mélange et des moyens de vibration mis en œuvre (Tableau I.9). Des corrections ( $c_1$ ,  $c_2$  et  $c_3$ ) fonctions de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment, doivent être apportées (Tableau I.9) :  $c = c_0 + c_1 + c_2 + c_3$ .

La valeur de la compacité  $c$  du béton permet de déterminer le volume total absolu  $V$  de granulats intervenant dans la formulation du béton :  $V = (c - V_c)$  où  $V_c$  est le volume de ciment défini par :

$$V_c = C / \rho_{s(c)} \text{ où } \rho_{s(c)} \text{ est la masse volumique absolue du ciment utilisé [8].}$$

Consistance	Serrage	Compacité (c0)						
		$D_{max}=5$	$D_{max}=8$	$D_{max}=12,5$	$D_{max}=20$	$D_{max}=31,5$	$D_{max}=50$	$D_{max}=80$
Molle (TP-FI)	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique (P)	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme (F)	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

**Tableau I.9** : Compacité du béton en fonction de  $D_{max}$ , de la consistance et du serrage [8].

**Nota :**

- Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

-Sable roulé et gravier concassé ( $c_1 = -0,01$ )

-Sable et gravier concassé ( $c_1 = - 0,03$ )

- Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0,03 les valeurs de  $c$  : ( $c_2 = -0.03$ )

- Pour un dosage en ciment  $C \neq 350 \text{ kg/m}^3$  on apportera le terme correctif suivant :

( $c_3 = (C - 350) / 5000$ ) [8].

***1.3.4.8. Détermination des masses de granulats :***

Connaissant le volume total absolu des granulats ( $V$ ) et les pourcentages en volume absolue de sable ( $S \%$ ), de gravillon ( $g \%$ ) et de gravier ( $G \%$ ), il est alors possible de déterminer les volumes de sable ( $V_s$ ), de gravillon ( $V_g$ ) et de gravier ( $V_G$ ) ainsi que leurs masses respectives ( $S$ ,  $g$  et  $G$ ) :

$$V_s = V * S \% \quad S = V * S \% * \rho_{s(S)}$$

$$V_g = V * g \% \quad g = V * g \% * \rho_{s(g)}$$

$$V_G = V * G \% \quad G = V * G \% * \rho_{s(G)}$$

A défaut de renseignements précis concernant les masses volumiques absolues des matériaux, on peut en première approximation utiliser les valeurs suivantes :

$$\rho_{s(c)} = 3,1 \text{ t/m}^3, \rho_{s(S)} = 2,6 \text{ t/m}^3, \rho_{s(g)} = 2,6 \text{ t/m}^3 \text{ et } \rho_{s(G)} = 2,6 \text{ t/m}^3 \text{ [8].}$$

***1.3.4.9. Obtention de la formulation théorique de béton :***

La formulation théorique de béton recherchée est définie par les quantités d'eau  $E$ , de sable  $S$ , de gravillon  $g$  et de gravier  $G$ . La masse totale d'un mètre cube de béton

$\Delta_0 = (E + C + S + g + G)$  est pour un béton courant comprise entre  $2,3 \text{ t/m}^3$  et  $2,5 \text{ t/m}^3$ .

La formulation obtenue reste théorique et il convient de la tester et de la corriger par des essais de laboratoire avant d'être utilisée [8].

***1.4. Fabrication des bétons :******1.4.1. Approvisionnement des matériaux :******1.4.1.1. Stockage des granulats :***

Sur la plupart des chantiers, les granulats (sables, graviers, et cailloux) sont stockés à l'air libre. Sans que cela présente des inconvénients majeurs, il conviendra d'éviter toute souillure au contact du terrain naturel. L'exposition aux intempéries peut faire varier dans d'importantes proportions la teneur en eau des granulats.

***1.4.1.2. Stockage du ciment :***

Sur la plupart des chantiers courants le stockage du ciment s'effectue en sacs dans une (baraque à ciment).

Il est alors essentiel que ces sacs soient à l'abri de l'humidité et isolés du sol par un caillebotis.

Sur les chantiers importants et dans les centrales à béton, le ciment est approvisionné en silo et cela évite automatiquement un vieillissement trop important d'une partie du stock.

***1.4.1.3. Approvisionnement de la bétonnière :***

Quand c'est possible, il est recommandé d'introduire une partie des gros granulats et de l'eau et de faire quelques tours à la bétonnière pour nettoyer les parois de la cuve où le mortier a tendance à adhérer.

D'après certaines recherches, il semblait que l'on accroîtait sensiblement les résistances du béton en pré-enrobant le gros granulat (malaxage préalable du gros granulat avec une partie du ciment et de l'eau).

***1.4.2. Malaxage :***

Le malaxage des matériaux se fait, en général, à l'aide d'appareils mécaniques tels que malaxeurs et bétonnières.

***1.4.2.1. Les malaxeurs :***

Les malaxeurs sont très efficaces et fournissent un béton très homogène.

Ils permettent au chef bétonnier d'observer pendant le malaxage la plasticité du béton et de corriger le dosage en eau si nécessaire.

Ils sont mécaniquement plus complexes et par là plus chers que les bétonnières, mais ils permettent l'adaptation des systèmes de régulation du dosage en eau en fonction de la puissance consommée ou de la vitesse de rotation.



**Figure I.12 :** Le malaxeur du béton.

### ***I.4.2.2. Les bétonnières :***

Elles sont à axe horizontal ou incliné (celles à axe horizontal sont préférables) ; elles sont à cuve tournante et sur les parois intérieures sont fixées des palettes hélicoïdales assurant le brassage du mélange.

Les palettes hélicoïdales permettent le brassage du mélange, et permettant la vidange par inversion du sens de rotation.



**Figure I.13 :** Le bétonnière du béton.



### *1.4.3. Transport :*

C'est essentiellement une question d'équipement, les procédés sont nombreux et variés : chariots, chariots, jets de pelle, goulottes plus ou moins inclinées, pompes, air comprimé, tapis roulants.

Dans le cas de béton préparé en usine, le transport jusqu'au chantier se fait par camion dans un auvent rotatif (haut) pour assurer l'agitation du mélange et éviter toute ségrégation due aux chocs et vibrations répétés lors du roulage.

Les godets fixes (pas de malaxage) sont tolérés, mais uniquement pour les bétons solides où le risque de ségrégation n'est pas important.

### *1.4.4. Pompage :*

Le pompage du béton est une technique de mise en place du béton frais utilisée depuis plusieurs années.

Le béton est déposé dans une pompe à béton qui achemine le béton dans des boyaux, souples en caoutchouc ou rigides en acier, directement à l'endroit désiré. Lors de ces opérations, plusieurs problèmes de blocage peuvent survenir. L'arrivée de nouveaux adjuvants pour béton, d'agents colloïdaux et d'ajouts cimentaires divers (souvent des déchets industriels) a modifié remarquablement la rhéologie du béton frais par rapport aux bétons usuels de sorte que les divers intervenants lors du pompage rencontrent encore plus de problèmes. Des études récentes ont montré qu'il est possible d'évaluer la facilité au pompage (la friction le long des parois des boyaux de pompage) de certains mélanges de béton à partir de la mesure de la rhéologie du béton frais.



**Figure I.14 :** Le pompage du béton.

***1.5. Le béton frais :***

L'une des propriétés les plus importantes du béton frais est sa capacité à remplir correctement l'espace libre limité par le moule et l'armature qu'il contient.

Une composition de béton soigneusement étudiée conduira à l'obtention d'un béton durci aux propriétés prévues, à condition qu'il permette une mise en œuvre correcte (remplissage correct du moule, maintien de l'homogénéité de la composition).



**Figure I.15 :** Le béton frais.

***1.6. Le béton durci :***

Le béton durci est un matériau hétérogène : un 'squelette' de granulats gros et fins est enveloppé et lié par un 'tissu' de fibres d'hydrates de ciment.

La qualité du béton à l'état durci dépend des caractéristiques du squelette pierreux, de la pâte de ciment durcie, et de l'adhérence entre les deux.

L'obtention des performances théoriquement possibles du béton est déterminée en grande partie par une mise en œuvre correcte.



**Figure I.16 :** Le béton durci.

**I.7. Béton spéciaux :****I.7.1. Béton réfractaires :**

Le béton réfractaire est généralement utilisé pour réaliser des ouvrages résistants aux hautes températures : revêtements de chaudières, cheminées, conduits de fumée, etc.

Le béton de ciment Portland ordinaire ne peut pas résister à des températures supérieures à 300°C [1].

**✓ Mise en œuvre :**

Les implémentations ont des restrictions spéciales.

Le dosage de ces bétons peut être réalisé selon la méthode classique usuelle ; le dosage usuel en ciment est de l'ordre de 350 à 450 kg/m<sup>3</sup>.

Dans le cas du béton armé, la libre expansion de l'armature doit être assurée [1].

**I.7.2. Béton lourds :**

Le béton lourd peut être utilisé pour fabriquer des contrepoids.

Actuellement, leur utilisation principale est la protection contre les radiations nucléaires.

Pour ce faire, des murs sont construits autour de batteries atomiques, d'accélérateurs de neutrons, de puissants appareils produisant des rayons X ou Y ; ou des conteneurs étanches sont construits pour enfermer l'effluent radioactif à l'intérieur.

Le béton lourd n'est pas fondamentalement différent du béton ordinaire, à l'exception des granulats utilisés.

Ils sont obtenus avec du ciment ordinaire (CP A) et des granulats denses tels que : barytine, magnétite, sidérite... [1].



**Figure I.17 :** Le béton lourds.

✓ **Mise en œuvre :**

Les difficultés rencontrées lors de la mise en œuvre de ces bétons sont évidemment le résultat de leur haute densité. Le coffrage doit être très rigide ; les risques de ségrégation sont augmentés. De plus, le béton trempé doit être homogène, compact et exempt de fissuration [1].

***1.7.3. Béton légers :***

Le béton léger peut être utilisé pour construire des ouvrages résistants (poutres, dalles, poteaux, etc.), mais est plus particulièrement utilisé pour réaliser des mottes, du béton non porteur ou peu chargé, et du béton isolant, la plus la densité est faible, mieux c'est l'isolation [3].



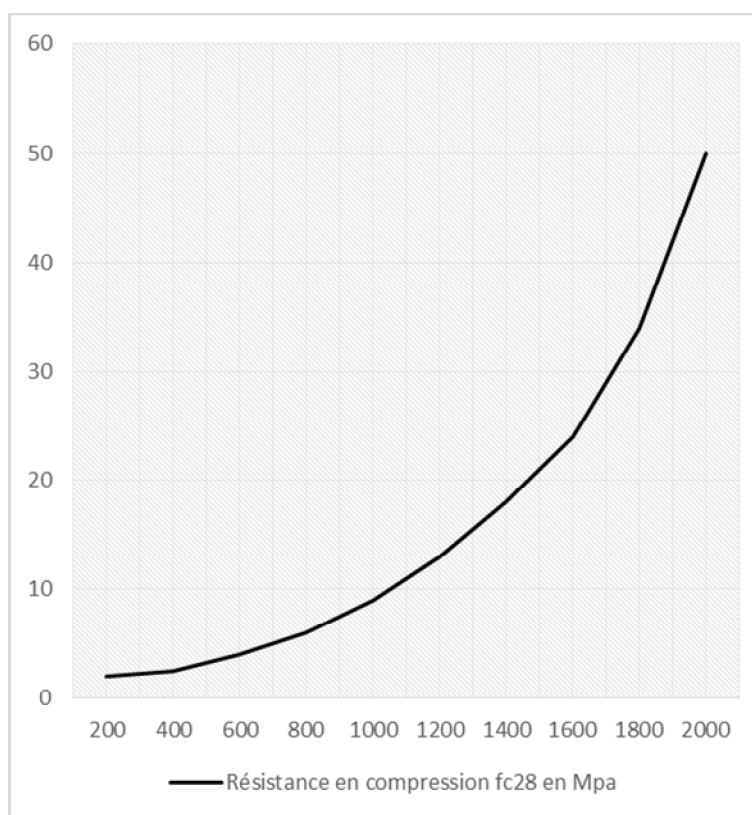
**Figure I.18 :** Le béton léger.

**✓ Mise en œuvre :**

Conformément à ce que nous venons d'exposer, il est admis en général que les granulats devront être pré mouillés avant malaxage, et que, pour éviter des erreurs importantes dans la composition, il est préférable de prévoir un dosage volumétrique de granulats légers. Les granulats légers étant plus fragiles que les granulats denses courants, il conviendra de ne pas prolonger le malaxage au-delà de la durée nécessaire pour obtenir une bonne homogénéité afin d'éviter la rupture et l'effritement des grains par attrition (frottement mutuel). Si l'on opère en dosage pondéral, il faudra tenir compte de l'eau consommée surtout s'il y a pré mouillage des granulats [3].

***I.7.3.1. Propriétés et caractéristiques des bétons légers :*****a) Résistances :**

La résistance est inférieure pour les bétons conventionnels de granulats denses et moins ainsi que la densité de béton est inférieure (figure I.18) [3].



**Figure I.19 :** Exemple de variation de la résistance en compression de bétons légers en fonction de la masse volumique [3].

**b) Ouvrabilité :**

Les bétons de granulats légers présentent, en général, une moins bonne ouvrabilité que les bétons classiques. On peut cependant obtenir une mise en œuvre relativement facile en étudiant la composition là mieux adaptée (finesse et dosage du sable en particulier) ainsi que le dosage en eau, et en employant éventuellement un adjuvant ; les entraîneurs d'air sont signalés comme favorables mais pouvant entraîner certaines difficultés en cas de mise en œuvre par pompage à grande distance (effet de ressort) ; l'emploi d'un plastifiant donnant en même temps une bonne cohésion est préférable [3].

**c) Module d'élasticité :**

Dans le cas des bétons structurels, le module instantané d'élasticité varie de 10.000 à 20.000 MPa, soit environ la moitié de celui des bétons conventionnels ordinaires. Ceci conduit à une plus grande déformation des structures de béton Léger.

On préconise actuellement la formule suivante :

$$E_{ij} = 1670 \sqrt[3]{\Delta^3 f_{cj}} \quad (\text{en MPa})$$

$E_{ij}$  est le module d'élasticité instantané en MPa, à l'âge j.

$f_{cj}$  est la résistance en compression en MPa, à l'âge j.

$\Delta$  est la masse volumique en t/m<sup>3</sup>.

Il semble que le module d'élasticité à la traction soit le même qu'à la compression [3].

**d) Coefficient de poisson :**

Il est du même ordre de grandeur que celui des bétons traditionnels. On admet en général une valeur de 0,15 dans les calculs [3].

**e) Fluage :**

Comme leur module d'élasticité instantané est deux fois moins faible, la déformation instantanée du béton léger est environ le double de celle du béton conventionnel ; cependant, leur déformation en fluage est du même ordre de grandeur que leur déformation instantanée (au lieu de deux fois celle du béton conventionnel). C'est pourquoi certains recommandent la formule qui donne la valeur de déformation totale finale :

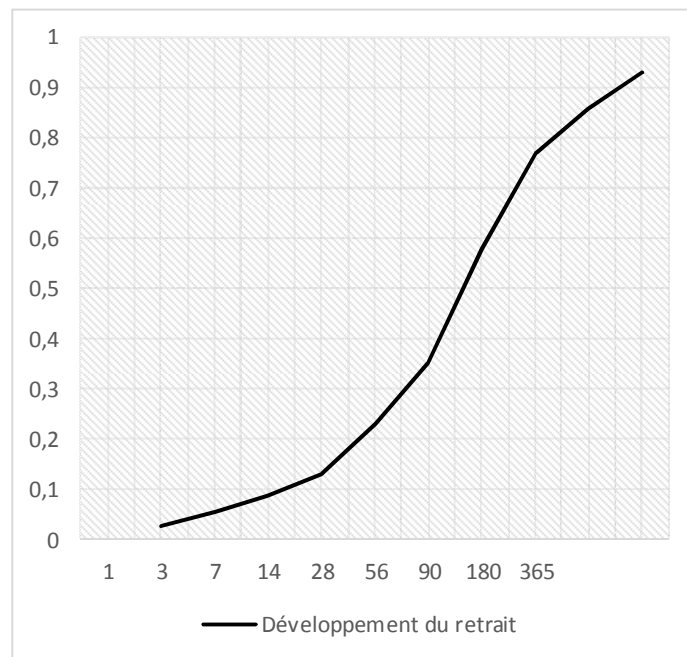
$$E_v = 835 \sqrt[2]{\Delta^3 f_{cj}} \quad \left(835 = \frac{1670}{2}\right)$$

Le seul résultat est que, compte tenu du durcissement initial plus rapide, le béton léger ne semble pas avoir à subir plus de perte de précontrainte par fluage que le béton conventionnel [3].

#### f) Retrait :

Le béton léger a généralement un taux de retrait plus élevé que le béton ordinaire. En revanche, du fait de leur module d'élasticité plus faible, ils ont une plus grande capacité à se déformer sans se fissurer [1].

La variation du retrait dans le temps  $r(t)$  peut être évaluée à l'aide du graphique suivant :



**Figure I.20 :** Développement du retrait en fonction du temps [1].

#### ***1.8. Conclusion :***

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde, il fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par ces performances, sa souplesse d'emploi ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton est un matériau très en demande et son utilisation ne cessera de croître au cours des années à

venir. Afin d'assurer la croissance de ce matériau de construction indispensable, l'approche du développement durable doit être intégrée à la production du ciment et du béton.





## ***CHAPITRE II :***

*Généralité sur le recyclage des déchets et  
utilisation des granulats de caoutchouc*



### ***II.1. Introduction :***

Depuis des temps très anciens, l'homme s'est toujours préoccupé d'éliminer les déchets qu'il produit.

Les déchets sont généralement des matières solides ou semi-solides résultant d'activités humaines et animales indésirables et dangereuses

La quantité de déchets ménagers a connu une augmentation substantielle au cours des dernières décennies en raison d'une croissance démographique galopante conjuguée à une urbanisation non maîtrisée.

La composition de ce type de déchets devient de plus en plus complexe (plastique, verre, matière organique, papier/carton et métaux granulats) et peuvent nuire à l'environnement et à la santé publique. À la base, une ressource naturelle est transformée puis consommée et enfin jetée comme déchets, or que la plupart de ces déchets sont des produits qui peuvent être valorisés et devenir de véritables matières premières secondaires.

Le recyclage est la transformation, en vue de leur réutilisation de produits naturels ou de biens ayant déjà fait l'objet d'une, voire de plusieurs utilisations antérieures, et qui sont ainsi réinsérés dans le circuit de production.

Dans notre travail on s'intéresse au recyclage du déchet de caoutchouc ainsi que son utilisation dans le domaine du génie civil. Les granulats de caoutchouc sont utilisés comme substituant des granulats naturels (le gravier).

### ***II.2. Le recyclage des déchets :***

Le recyclage est la transformation, en vue de leur réutilisation, de produits naturels ou de biens ayant déjà été utilisés. C'est une activité qui offre aux économistes un sujet de réflexion relativement nouveau dans la mesure où elle permet de poser en des termes différents le problème du rapport entre la consommation et les ressources et remet en cause, du moins partiellement, la notion de ressource non renouvelable. Le recyclage s'inscrit aussi dans le cadre d'un nouveau modèle de croissance, soucieux de préserver l'environnement [9], et qui sont ainsi réinsérés dans le circuit de production. Le recyclage d'un « déchet nouveau » aboutit le plus souvent à la production d'un autre input. Le recyclage d'un « déchet vieux » peut aboutir à la production d'un input ou d'un output. Dans tous les cas, le recyclage permet donc à la fois de détruire des déchets, dont l'accumulation pose problème, et de substituer des ressources déjà utilisées à des ressources vierges, dont certaines peuvent ne pas être

renouvelables.

La récupération et le recyclage ne sont pas des activités nouvelles, mais elles sont restées pendant longtemps limitées à quelques produits ou encore aux périodes de pénurie.



**Figure II.1** : Le recyclage des déchets.

### ***II.2.1. Définition d'un déchet :***

Selon la loi-cadre du 15 juillet 1975, on entend par déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matière, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou dont le détenteur a l'intention de l'abandonner... D'autres variantes existent, le concept selon lequel les déchets peuvent être traités de manière économique, sociale en fonction de leurs propriétés chimiques, etc.

Les déchets abandonnés en pleine nature, outre la pollution visuelle qu'ils représentent, constituent un véritable danger pour l'environnement. Leur dégradation naturelle peut s'avérer en effet extrêmement longue. En outre, elle peut libérer dans les sols et les eaux des molécules dangereuses, tant pour l'Homme que pour la nature [6].

**II.2.2. Classification des déchets :****I.2.2.1. Selon la nature :**

Selon le guide des techniques communales pour la gestion des déchets ménagers et assimilés du ministère d'aménagement du territoire et environnement (2003), présente une classification des déchets selon leur nature physique en 03 catégories :

- Déchets solides : ordures ménagères, emballages, gravats...etc.
- Déchets liquides : huiles usagés, peintures, rejet de lavage...etc.
- Déchets gazeux : biogaz, fumées d'incinération ...etc [10].

**I.2.2.2. Selon l'origine :**

Déchets industriels	NAGHEL (2003), évoque que l'ensemble des déchets industriels doivent être éliminés par leurs producteurs industriels, artisans, commerçants.
Déchets Industriels banals (DIB)	Son assimilables aux ordures ménagères et relevant du même type de traitement : il s'agit principalement d'emballages usagés, de chutes de productions industrielles et de déchet d'activités et commerciales comme ferrailles, métaux non ferreux, papiers cartons, verre, textiles, bois, plastiques, etc.
Déchets inertes	Composés déblais, gravats, matériaux de démolition produit par les entreprises de travaux publics.
Déchets agricoles	L'activité agricole peut générer 03 types de déchet : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Des résidus de l'industrie agroalimentaire.</li> <li>- Des déchets de cultures.</li> <li>- Des déjections animales de l'élevage.</li> </ul>

**Tableau II.1** : Déchets industriels selon leur origine [10].

Déchets urbains	Tous déchets issus des ménages, déchets de commerce et de l'industrie assimilables aux déchets ménagers, déchets encombrants, déchets verts (greffage des arbres, espaces verts), déchet de nettoyage des voies publiques, déchets hospitaliers, la collecte de ces déchets doit être assurée par les collectivités.
Déchets urbains communaux	Déchets ménagers (ordures ménagères, déchets encombrants, déchets collectés sélectivement) et déchets de composition analogue produits par les entreprises qui font l'objet d'une collecte publique, ainsi que les déchets issus des administrations communales.
Déchets urbains des entreprises	Déchets de composition analogue aux déchets ménagers produits par les entreprises et qui font l'objet d'une collecte privée.

**Tableau II.2 :** Déchet urbain selon leur origine [10].

### ***II.2.3. Les déchets de la construction et l'environnement :***

Contre tous les avantages que procure le béton à l'humanité, la production du béton a des inconvénients sur l'environnement. Dans le processus de fabrication du béton, on porte atteinte à l'environnement soit à la phase de production de ses constituants (granulats, ciment, adjuvants...), soit à la phase de sa production lui-même, et éventuellement par l'aspect visuel du béton dans l'environnement [6].

La production de béton utilise principalement des granulats naturels. Donc il est parfois difficile de se tourner vers une nouvelle carrière pour les raisons suivantes : Stricte (protection du paysage, interdiction d'exploiter des granulats alluvionnaires, etc.), mais Il y a aussi l'épuisement ou l'élimination des dépôts naturels dans les usines de production de béton. En effet, l'implantation de la carrière a entraîné une modification du paysage (contraste formel, couleur etc.) Selon le type d'exploitation (aspect de la masse d'eau, front de taille, déforestation, etc.).

A une autre échelle, l'extraction des granulats des rivières se traduit par le déblai vertical du lit de la rivière les fermes en amont et en aval de la rivière ont été érodées. Cela fait baisser le fond cette rivière a plusieurs conséquences :

- l'appauvrissement écologique au niveau du lit mineur car le substratum alluvial est une zone d'habitat pour les poissons, les invertébrés, les végétaux aquatiques alors que le substratum rocheux mis à nu est beaucoup moins favorable pour la faune et la flore ;

- l'abaissement de la nappe alluviale, notamment en période d'étiage, provoque l'assèchement des zones humides et la modification des peuplements végétaux. Il s'ensuit une disparition de la diversité de milieux d'intérêt écologique au niveau du lit majeur. La ressource en eau se trouve diminuée, en quantité et en qualité.

- la déstabilisation des ouvrages d'art (ponts...) qu'il est alors nécessaire de conforter par des seuils [6].

La production du ciment conduit au dégagement de poussières et de gaz qui polluent l'atmosphère et mettent en danger la vie humaine et l'agriculture avoisinantes [6].

Du point de vue environnemental, l'industrie cimentière, utilisant un processus basé sur une combinaison physico-chimique à très haute température, se caractérise par sa consommation intensive en énergie et des émissions atmosphériques importantes de particules, NOX, SO<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> ayant un impact environnemental conséquent sur l'environnement et la santé.

Il est communément admis que la fabrication d'une tonne de ciment libère près d'une tonne de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, que plus de 60 % des émissions de CO<sub>2</sub> sont produites durant la phase de « décarbonatation » et que la production de ciment est responsable d'environ 5% des émissions de CO<sub>2</sub> de la planète.

Par la production du béton premier impact des déchets des centrales de fabrication du béton prêt à l'emploi « BPE » est visuel : rejet de laitance de béton qui s'accumule et prend en masse, conduisant à un colmatage des réseaux et un dépôt dans le milieu naturel. Bruits sonores aux alentours des chantiers.

Densification, voir ralentir la circulation dans les centres urbains dû à la présence des camions de transport des matériaux et bétons. Le recyclage des matériaux de construction est la solution la plus prometteuse. Les déchets de démolition représentent un gisement important suite à la déconstruction des vieux bâtis et aux différentes catastrophes.

#### ***II.2.4. Les types de déchets :***

Une distinction est généralement faite entre différents types de déchets, y compris :



**Figure II.2 :** Les types de déchets.

#### ***II.2.4.1. Les déchets ménagers et assimilés :***

Les déchets ménagers sont constitués par les déchets des ménages et autres déchets assimilés, qui peuvent être en tenant compte de leurs caractéristiques, collectés et traités par les collectivités locales.

La circulaire du 8 mai 1977 relative au service d'élimination des déchets des ménages divise ceux-ci en 5 catégories :

Ordures ménagères, encombrants, déblais et gravats, déchets ménagers spéciaux

Autres déchets municipaux (déchets assimilés et déchets produits par les services publics : déchets de voirie et de marché, boues de station d'épuration, déchets verts des espaces publics...)

Les ordures ménagères produites par les ménages au quotidien, comprennent aussi les déchets des commerçants et artisans, on qualifie les ordures ménagères non triées de résiduelles.

Les déchets ménagers grisés ou encombrants ménagers sont des ordures ménagères brutes auxquelles un tri à la source a permis d'enlever les emballages de grande taille faisant l'objet de contrats de recyclage éco emballage ou autre (récipients en plastiques ou boites de conserve métallique). Certains sites traitant ce type d'ordures ménagères sont capables de produire des composts de bonne qualité vis à vis de la réglementation et ce grâce à la qualité de la collecte. Pour ce type de compostage on parle plus souvent de traitement mécano biologique que de compostage.

On parle de déchets verts lorsqu'il s'agit de déchets qui résultent de l'entretien et du

renouvellement des espaces verts, zones récréatives, parcs et jardins, terrains de sport... [11].

#### ***II.2.4.2. Les déchets fermentescibles :***

Ils sont constitués de matières organiques biodégradables c'est-à-dire se décomposant plus ou moins rapidement sous l'action de micro-organismes aérobies ou anaérobies (bactéries, moisissures). Tontes de gazon, pelures de fruits et légumes, déchets de viande, charcuterie, papier et carton, bois non traité et textiles naturels. Les matières plastiques ne sont pas incluses, bien qu'elles se décomposent avec le temps. On définit également la partie fermentescible ordures ménagères y compris les composés organiques biodégradables compris dans les ordures ménagères.

#### ***II.2.4.3. Les déchets ultimes :***

Les opérations de traitement des déchets génèrent de nouveaux déchets : Gaspillé en quelque sorte. Ceux-ci seront traités et fourniront toujours Gaspillage... Il viendra un jour où l'entreprise ne sera plus rentable et nous entraînant des déchets ultimes. La loi (4) du 15 juillet 1975 en donne une définition stricte : ce sont des déchets, Qu'ils soient issus ou non de l'élimination des déchets, les déchets ne sont plus susceptibles d'être éliminés conditions techniques et économiques actuelles, notamment en extrayant Pièces recyclables ou par extraction de leurs propriétés polluantes ou dangereuses. C'est ça Faisant allusion à l'utilisation de BATNEEC. Cette définition évolue. Une fois classés comme déchets dangereux, ils ne seront plus En raison du développement de la technologie, il pourrait y en avoir plus à l'avenir et Ceci explique pourquoi la règle Les possibilités de recyclage des matériaux sont clairement spécifiées [12].

#### ***II.2.4.4. Les déchets inertes :***

Ce sont les gravats de démolition des entreprises de construction ou de travaux publics : briques, blocs de béton, parpaings, terre, carrelage, tuiles, vitrage...

Comme leur nom l'indique, ces déchets ne bougent pas. Ils ne se décomposent pas et ne se dégradent pas et sont réutilisés en sous-couches pour les routes ou enfouis dans un centre de stockage.



**II.2.4.5. Les déchets industriels :**

Tous les déchets et résidus sont réglementés. Toutefois, la manière dont ils sont gérés dépend du type de déchets et de leur provenance. C'est pourquoi il est essentiel de connaître la classification des déchets industriels, qui est expliquée ci-dessous.

**II.2.4.5.1. Déchets industriels non dangereux :**

Les déchets non dangereux issus des activités économiques sont de même nature que les déchets ménagers et peuvent subir les mêmes traitements : le recyclage dans le cas des déchets papier, carton ou plastique, l'incinération des ordures non valorisables.

**II.2.4.5.2. Déchets industriels dangereux :**

Ils doivent être prioritairement valorisés. Les déchets dangereux sont une des catégories de déchets définies par la législation propre à chaque pays, qui s'oppose à la catégorie des déchets non dangereux. Les déchets dangereux peuvent être apportés à des déchèteries communautaires spéciales.

**II.2.4.6. Les déchets des collectivités locales :**

L'article L. 2224-13 du Code général des collectivités territoriales précise que « Les communes ou les établissements publics de coopération intercommunale assurent, éventuellement en liaison avec les départements et les régions, la collecte et le traitement des déchets des ménages. Les communes peuvent transférer à un établissement public de coopération intercommunale ou à un syndicat mixte soit l'ensemble de la compétence de collecte et de traitement des déchets des ménages, soit la partie de cette compétence comprenant le traitement, ainsi que les opérations de transport qui s'y rapportent.

Qui comprennent surtout les boues des stations d'épuration, les déchets verts, les résidus du Nettoyement des rues et des marchés, les déchets des administrations publiques (papiers et autres Documents).

**II.2.4.7. Les déchets radioactifs :**

Un déchet radioactif est toute matière solide, liquide ou gazeuse qui contient une substance nucléaire radioactive et qui n'a aucune utilisation prévisible.

Les catégories de déchets radioactifs sont structurées en fonction du confinement et de l'isolement requis pour en assurer la sûreté à court et à long terme, et elles prennent aussi en compte le risque pour la santé et la sécurité des humains et de l'environnement [13].

#### ***II.2.5. Plans de gestion des déchets :***

Ces plans portent sur l'ensemble du territoire géographique de chaque État membre.

Les plans de gestion des déchets établissent une analyse de la situation en Matière de gestion des déchets de l'entité géographique concernée, ainsi que les Mesures à prendre pour assurer dans de meilleures conditions une préparation.

Des déchets respectueux de l'environnement en vue de leur réemploi, recyclage, valorisation ou élimination et une évaluation de la manière dont le plan Soutiendra la mise en œuvre des dispositions et la réalisation des objectifs de la Directive [12].

- Prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets, notamment en agissant sur la Fabrication et sur la distribution des produits.
- Valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute action visant à obtenir à partir des Déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie.
- Assurer l'information du public sur les effets pour l'environnement et la santé publique, des Opérations de production et d'élimination des déchets ainsi que sur les mesures destinées à En prévenir ou à en compenser les effets préjudiciables.
- Organiser le transport des déchets et le limiter en distance et en volume.

Les déchets peuvent donc être soit valorisés comme matière première ou énergétique, ou bien stockés [6].

#### ***II.2.5.1. Valorisation des déchets :***

La valorisation consiste dans le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie (loi du 13 juillet 1992).

##### ***II.2.5.1.1. Récupérer :***

La valorisation s'effectue par divers moyens. La récupération, qui suppose une collecte séparée ou un tri, se situe en amont de la valorisation qui consiste, d'une certaine

façon, à redonner une valeur marchande à ces déchets. Par exemple, mettre des bouteilles ou des journaux dans un conteneur spécial, au lieu de les jeter à la poubelle [14].

#### ***II.2.5.1.2. Le recyclage :***

Le recyclage est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve. Par exemple, prendre des bouteilles cassées, les refondre, et en faire des bouteilles neuves [14].

#### ***II.2.5.1.3. Le réemploi :***

C'est un nouvel emploi d'un déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. C'est, en quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet. Par exemple, la consigne des bouteilles, à nouveau remplies après leur nettoyage [14].

#### ***II.2.5.1.4. La réutilisation :***

Consiste à utiliser des déchets pour un usage différent de leur première utilisation, ou pour fabriquer à partir des déchets un produit différent de celui qui les a générés. Par exemple, utilisez des pneus de voiture pour fabriquer du béton ou pour protéger la coque des bateaux ou des bateaux de pêche [14].

#### ***II.2.5.1.5. La régénération :***

Consiste en un procédé physique ou chimique qui redonne à un déchet les caractéristiques permettant de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve. C'est le cas, par exemple, de la régénération des huiles usées ou des solvants, ou du papier qui est à la fois recyclé et régénéré par le désencrage [14].

#### ***II.2.5.2. Valorisation énergétique :***

Consiste à utiliser les calories contenues dans les déchets, en les brûlant et en récupérant l'énergie ainsi produite pour, par exemple, chauffer des immeubles ou produire de l'électricité. C'est l'exploitation du gisement d'énergie que contiennent les déchets [14].

#### ***II.2.5.3. Le stockage :***

On appelle centre de stockage des déchets, des lieux dans lesquels sont stockés des

déchets qui ne peuvent ni n'être recyclés ni n'être valorisés énergétiquement, de façon à contrôler leurs effets sur l'environnement [15].

### ***II.3. Développement du recyclage :***

L'industrie du recyclage est une activité importante pour un développement durable. Elle aide à préserver les ressources naturelles tout en développant des emplois de proximité. Le recyclage se fait généralement en trois étapes : la collecte de déchets, la valorisation et la transformation de ses déchets en produits finis, et pour finir la commercialisation de ces produits. Cette activité de services de proximité interagit directement avec des producteurs de déchets qui pour la plupart sont des entreprises. Elle est également une activité industrielle. Pour cela, elle possède des sites pour le triage et la préparation des déchets à transformer en matières premières secondaires. Ces matières sont revendues sur le marché international à des industriels. L'industrie du recyclage joue alors sur deux tableaux. D'un côté, elle est en concurrence avec ceux qui sont pour l'enfouissement et l'incinération des déchets ; d'un autre côté, elle agit contre ceux qui fournissent des matières premières vierges qu'elle concurrence. Suite à la croissance de ce secteur, de plus en plus de professionnels sont requis pour leurs expériences. Elle a tellement pris de l'ampleur depuis son apparition, qu'elle est aujourd'hui considérée comme un gage de développement durable [16].

#### ***II.3.1. Pour quoi le recyclage ?***

Depuis plusieurs dizaines d'années, le volume des déchets dans le monde produite par habitant ne cesse pas d'augmenter. Cela représente une menace pour l'environnement la seule solution est donc détruire les déchets par incinération ou mise en décharge. Mais dernièrement, la mentalité des hommes à évaluer, plutôt que de se débarrasser de tous les déchets.

Nous avons décidé recyclage est l'une des mesures les plus faciles à prendre pour protéger notre belle planète, mais nous sommes nombreux à ne pas savoir si nous faisons les choses correctement. Découvrez les bienfaits du recyclage, ce qui peut aller dans le bac et comment choisir des produits responsables en matière d'environnement.

Recycler signifie recueillir des matériaux usagés et les transformer en nouveaux produits plutôt que de les jeter. Ce processus est bénéfique pour l'environnement et nos communautés locales pour les raisons suivantes :

- Réduction de la quantité de déchets qui finissent dans les centres d'enfouissement et les usines d'incinération.
- Utilisation d'une quantité beaucoup plus faible d'énergie.
- Réduction des émissions de carbone.
- Diminution de la pollution de l'eau et de l'air.
- Préservation des ressources naturelles précieuses, dont les arbres et l'eau.
- Protection de la faune et des habitats naturels.
- Création d'emplois et soutien de l'économie [17].

### ***II.3.2. Les déchets dans le secteur du bâtiment :***

“Il vaut mieux prévenir que guérir”, tel est l'adage qui pourrait s'appliquer à la gestion des déchets du bâtiment.

L'essentiel de ces déchets est minéral et inerte (briques, béton, tuiles et céramiques, verre, terre, pierres et cailloux provenant de sites non pollués). Il ne présente donc pas de risque de pollution mais la présence de dépôts sauvages constitue une pollution visuelle. Cependant, ce type de déchets est un gisement potentiel de matières premières à valoriser. Les enjeux sont à la fois la préservation de l'environnement et le gain de compétitivité pour les entreprises concernées. L'utilisation de cette matière permet d'économiser des ressources épuisables issues des carrières et de limiter les impacts environnementaux qui y sont liés. Par ailleurs, lorsqu'ils sont éliminés en décharge, ces déchets occupent des sols qui pourraient être mieux utilisés [18].

Le meilleur moyen de réduire les déchets du bâtiment est d'agir à la source en évitant d'en produire. Pour cela, plusieurs bonnes pratiques peuvent être adoptées comme le recours à des granulats recyclés localement, ou de manière plus générale de choisir des matériaux éco-conçus.

On retrouve alors les notions d'écoconception et de métabolisme urbain à plus grande échelle qui visent à étudier dès la conception du produit ou du chantier les solutions disponibles pour produire avec un impact minimum sur l'environnement.

Par ailleurs, une politique déchets et d'économie circulaire peut inciter à adopter ces bonnes pratiques, à l'instar du programme national de prévention des déchets [19].



**Figure II.3 :** Déchets du bâtiment matériaux [19].

### ***II.3.3. Utilisation des matériaux recyclés dans les bétons :***

Le béton est le deuxième matériau le plus consommé dans le monde après l'eau. Cette consommation sera de plus en plus importante dans l'avenir en raison d'une urbanisation accrue nécessitant la réhabilitation et la construction de bâtiments et d'infrastructures. Néanmoins, la production de béton qui doit accompagner le développement urbain entraîne des problèmes environnementaux relatifs à la préservation des ressources naturelles qui ne sont pas inépuisables. En parallèle, l'industrie de la construction et de la démolition c'est-à-dire dans le domaine du génie civil représente une part non négligeable de la production de déchets [20].

Le développement durable est devenu l'un des thèmes majeurs guidant le développement de nouveaux matériaux de construction. Ainsi, des synergies sont de plus en plus recherchées entre matériaux, surtout lorsque l'un des matériaux est issu d'une filière de recyclage.

L'utilisation des déchets recyclés dans les bétons présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique et économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels. Le but de ce travail est de discuter l'utilisation de matériaux des granulats en caoutchoucs issu des pneus usagés dans le béton.

Le principe de formulation – intégrant uniquement des granulats caoutchouc et une pâte cimentaire – vise, en enrobant les granulats, à obtenir un comportement du produit final proche de celui du caoutchouc. Résultat : un matériau durci aux propriétés originales et pérennes qui, du point de vue environnemental, s’inscrit dans une démarche de développement durable [21].

Les caoutchoucs entrant dans la composition des pneumatiques étant bien protégés contre les UV, un matériau imputrescible, résistant aux intempéries et au vieillissement (entre 30 et 40 ans de durabilité). Avec deux composants seulement (caoutchouc et ciment), facilement dissociables, le matériau est également 100 % recyclable. Par ailleurs, la fabrication de trac n’exige pas de technologie ou d’investissement spécifiques. L’aggloméré « béton/granulats » est élaboré dans des centrales à béton traditionnelles (préfabrication ou BPE) et transportable dans des toupies standards [21].

Composites cimentaires, à base de particules de caoutchouc, a mis en évidence des propriétés compatibles. Toutefois, la plupart des études précédentes se sont intéressées à la valorisation de granulats de caoutchouc, issus de pneus usagés ou de caoutchouc modifié, débarrassés des parties métalliques et textiles et c’est le cas dans notre étude [6].



**Figure II.4 :** Utilisation des matériaux recyclés dans les bétons.

**II.4. Utilisation des déchets de caoutchouc dans le bâtiment :**

La principale source de déchets de caoutchouc est les déchets de pneus, qui sont largement classés dans les pneus d'automobiles et de camions. La plupart du temps, les pneumatiques de diverses sources ont des propriétés et des compositions physiques différentes. Ainsi, ils ont un effet différent sur la résistance du béton lors de leur utilisation.

Les déchets de caoutchouc ont été utilisés avec succès dans plusieurs applications dans le domaine de génie civil sous forme de granulats, soit dans les bétons ou mortiers, en géotechnique pour les remblais légers et également dans les mélanges d'asphaltes.

Les études rapportées dans la littérature ont montré que le recyclage des caoutchoucs dans le domaine de génie civil, permet non seulement de réduire le coût, mais également d'améliorer certaines caractéristiques physico-mécaniques du béton et du sol en bénéficiant de leur déformabilité, étanchéité et de leur capacité d'absorption de chocs [22].

L'objectif de cette étude consiste à examiner les potentialités de l'utilisation des granulats de caoutchouc recyclés provenant des déchets de pneus usagés dans le béton.

Le béton de caoutchouc incorpore donc des billes de ce matériau qui lui confèrent des propriétés intéressantes en termes d'absorption phonique, proches de celles des autres bétons légers actuellement employés. Le produit offre l'avantage d'une pérennité plus importante, du fait de l'insensibilité du caoutchouc aux intempéries (pluie, gel, vent, uv) ainsi qu'aux moisissures. Imputrescible et inerte, il n'impose aucun retrait ni gonflement aux éléments de béton préfabriqués [23].

**II.4.1. Définition des déchets du caoutchouc :**

Le caoutchouc est à l'origine une matière naturelle. Il provient de la sève de l'arbre hévéa, qui vient d'Amazonie.

Le caoutchouc synthétique est fabriqué à partir de pétrole. Il possède les mêmes propriétés que le caoutchouc naturel élasticité, possibilité de vulcanisation, solubilité dans les solvants, résistance à l'abrasion. Mais, de fait de son procédé de fabrication, le caoutchouc synthétique est polluant.

Si le caoutchouc naturel fut découvert il y a très longtemps par les peuples aztèques et mayas, la découverte du caoutchouc synthétique est beaucoup plus récente.



En 1909 le scientifique allemand Fritz Hofmann (de la société Bayer) créa un produit très semblable au caoutchouc à partir d'isoprène. Ce fut l'invention du caoutchouc synthétique.

Par la suite, plusieurs améliorations furent apportées pour arriver au caoutchouc synthétique tel que nous le connaissons dans les pneus de voiture par exemple [24].



**Figure II.5 :** Caoutchouc synthétique.



**Figure II.6 :** l'arbre tropical Hévéa.

#### ***II.4.2. Les étapes du recyclage des déchets de caoutchouc :***

Chaque année, 17 millions de tonnes de pneus en fin de vie sont jetés, et finissent incinérés ou enfouis. Ils constituent donc un vivier de caoutchouc de post-consommation important, et une opportunité de recyclage intéressante.

Le recyclage de ce caoutchouc permet d'éviter le recours à de la matière "neuve" : les sources de caoutchouc recyclé sont donc les suivantes : les pneus usagés (70%), les déchets de caoutchouc industriel (semelles de chaussures...), ou encore les chutes de fabrication des pneus. Le caoutchouc recyclé peut être retrouvé dans toutes sortes de produits du quotidien [25].



**Figure II.7 :** Recyclage de pneus.

Le recyclage d'un pneu est un processus qui se compose de plusieurs étapes. Parmi ces étapes, nous retrouvons notamment :

- **Collecte et faire le tri :** collecter les pneus à recycler par un prestataire spécialisé dans le recyclage de pneumatique et le tri.



**Figure II.8 :** Collecte et faire le tri de pneus.

- **Déchiquetage :** De puissantes machines déchiquettent les pneus, gomme et ferraille, afin de n'obtenir que de gros copeaux de caoutchouc et des résidus métalliques.



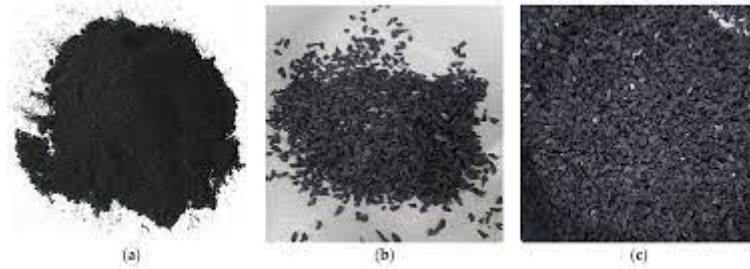
**Figure II.9 :** Machine de recyclage de pneus

- **Récupération de l'acier (Séparation) :** Les fibres métalliques sont séparées de la gomme et récupérées, cet acier est aussi recyclé son côté.



**Figure II.10 :** Récupération de l'acier (Séparation).

- **Broyage final :** une fois qu'il ne reste que des granulés de gomme, le tout est poussé dans un crible et broyé en tailles différentes selon l'usage auquel il est destiné les particules sont examinées en fin de processus et leur qualité contrôlée, puis acheminées selon leur réutilisation [26].



**Figure II.11** : Les tailles différentes des déchets caoutchouc.

#### ***II.4.3. Avantages d'utilisation du caoutchouc recyclé dans les bétons :***

L'agrégat de caoutchouc composite pour béton présente de nombreux avantages dans le domaine de l'ingénierie peuvent être résumés comme suit :

- Afin de protéger l'environnement et préserver la nature.
- Recyclage des déchets de caoutchouc représente d'une activité économique rentable.
- Production un béton léger avec des propriétés d'isolation thermique et phonique.
- Absorption des vibrations mécaniques.
- Le produit offre l'avantage d'une pérennité plus importante, du fait de l'insensibilité du caoutchouc aux intempéries (pluie, gel, vent, UV).
- Limiter le risque de fissuration.
- Imputrescible et inerte, il n'impose aucun retrait ni gonflement aux éléments de béton préfabriqué.

#### ***II.4.4. Quelques chiffres des déchets du caoutchouc dans le monde :***

Le stockage et l'élimination des pneus usagés est devenu l'une des préoccupations des consommateurs environnements à travers le monde. Des centaines de millions de pneus usagés sont générés cumulées chaque année dans le monde entier.

A l'échelle mondiale, en ce qui concerne l'industrie automobile, l'utilisation de pneus en caoutchouc.

Auparavant, les produits en caoutchouc usagés étaient généralement incinérés. Conformément à la directive 1999/31 concernant la mise en décharge des déchets, l'union européenne a interdit en 2003 l'incinération des déchets de caoutchouc et la mise en décharge

des pneumatiques. Trois ans plus tard, en 2006, c'est la mise en décharge du caoutchouc (y compris des pneus déchiquetés) qui est interdite aussi. Des organisations comme l'association européenne des fabricants de pneus et de caoutchouc «ERTMA» travaillent avec les gouvernants à la mise au point d'un cadre réglementaire dans ce sens pour les consommateurs, pour les conducteurs et pour l'industrie européenne du pneumatique.

Ces changements opérés dans le droit européen ont incité de nombreux pays à construire des usines de retraitement pour transformer les déchets de caoutchouc en poudre (à partir de pneus en fin de vie) selon un procédé qui ne modifie pas la structure chimique de la matière. La poudre est ensuite mélangée à des liants polymères (durcisseurs, adhésif polyuréthane, polymère chimique hétéro phase), donnant naissance à différents matériaux de construction et revêtements routiers. L'utilisation de ces liants demeure toutefois onéreuse et augmente considérablement le coût de recyclage des déchets. C'est pourquoi les déchets de caoutchouc sont retraités beaucoup moins vite qu'ils ne sont accumulés. Selon des statistiques récentes, on compte chaque année environ un milliard de pneumatiques usagés (approximativement 17 millions de tonnes), dont 75% finissent à la décharge.

Depuis 25 ans, diverses mesures ont été prises pour inciter au recyclage des déchets de caoutchouc, avec des résultats positifs. Par exemple, en 2018, la Norvège, la Serbie, la Suisse, la Turquie et des états membres de l'union européenne ont collecté et retraité plus de 90% de leurs déchets de pneus soit environ 4% de plus qu'en 2017 [27].



**Figure II.12 :** Stock de pneus usagés.

#### *II.4.5. Les déchets du caoutchouc en Algérie :*

Le gisement algérien de pneumatiques usagés est important ; il est de l'ordre pour les véhicules poids lourds de 200000 tonnes/an (19. Millions de pneus). Mais les quantités valorisées sont très limitées, nous notons quelque types d'utilisation :

- Utilisées en agriculture pour renforcer les petits barrages et comme Siège dans les jardins traditionnels.
- Applications de résidus de copeaux de pneus en structure sous chaussée.
- Pour la Stabilité d'un talus.
- Rechapage pneus usagés à El Eulma.
- Utilisées pour couvrir les conducteurs électriques.
- Pneu sol, déjà utilisé dernièrement à Alger par une société Italienne (**Figure II.13**).
- Stabilité d'un glissement de terrain [28].



**Figure II.1 :** Chantier expérimental Pneu sol à Bou-SMAIL.

Le nombre de pneus usés augmente chaque année simplement à cause de l'augmentation du nombre de voitures. Avec l'introduction de la loi sur la gestion des déchets, l'élimination écologique des déchets dangereux est devenue obligatoire.

En Algérie, le recyclage des déchets de pneumatiques en génie civil apparaît comme le principal poste de consommation de pneumatiques usagés. Matériau non biodégradable et non toxique, une fois enfouis, les vieux pneus sont associés au sol et peuvent résoudre plusieurs problèmes rencontrés par les ingénieurs civils. La technologie Pneu Sol peut s'avérer

plus rentable que d'autres méthodes de recyclage car elle ne nécessite aucun équipement spécifique ni main-d'œuvre qualifiée. Cette technologie a été adoptée dans notre pays et a de larges perspectives [6].

### **II.5. Conclusion :**

Dans cette chapitre nous avons donné un aperçu du Le recyclage des déchets est une pratique essentielle pour réduire l'impact de nos activités sur la planète.

En récupérant et en transformant les matériaux utilisés, nous pouvons économiser des ressources naturelles précieuses.

De plus, le recyclage peut contribuer à la création d'emplois locaux et à stimuler l'économie circulaire. En recyclant les déchets, de nouvelles industries et opportunités commerciales peuvent se développer, permettant ainsi des emplois, il contribue à protéger l'environnement et à préserver la nature.



***CHAPITRE III :***

*Composition des bétons & procédures  
expérimentales*





### III.1. Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter les matériaux de construction utilisés pour la confection des bétons étudiés, et la méthodologie adoptée lors du travail de recherche expérimentale.

Nous avons employé des matériaux locaux, on a examiné leurs caractéristiques de façon expérimentalement en laboratoire de génie civil à L'université Ibn khaldoun – Tiaret.

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'ajout de granulats de caoutchouc au mélange de béton et le rapport des ajouts varie de 5 % à 10 %.

La formulation du béton a été basée sur la méthode de « Dreux-Gorisse ».

### III.2. Matériaux utilisés :

- Sable.
- Gravier 3/8.
- Gravier 8/15.
- Ciment.
- L'eau de gâchage.
- Granulats de caoutchouc.



**Figure III.1 :** Les composantes du béton utilisés pour notre étude.

### **III.2.1. Le ciment :**

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment **Al esses** CEM I 42.5 N-LH/SR 5.

Les propriétés physico-chimiques ont été étudiées conformément la norme algérienne (NA 442) et européenne (EN 197-1).

#### **III.2.1.1. Domaine d'application :**

- Tunnels et travaux souterrains.
- Terrains gypseux, eaux pures, eaux usées et industrielles.
- Milieux sulfatés.
- Fondations et structures à réaliser dans des milieux agressifs.
- Injections.
- Ouvrages massifs.
- Travaux à la mer.

#### **III.2.1.2. Caractéristiques techniques :**

##### **✓ PROPRIETES CHIMIQUES :**

Bogue : C3A  $\leq$  5%.

NA 5042 (EN 196-2) : S03  $\leq$  3%.

NA 5042 (EN 196-2) : Chlorure  $\leq$  0.1%.

##### **✓ PROPRIETES PHYSICO-MECANIQUE :**

NA 230 (EN 196-3) : DP > 60 mn.

NA 234 (EN 196-1) :

- Résistance à la compression (2 jours) > 10 MPa.
- Résistance à la compression (28 jours) > 42.5 MPa [29].



**Figure III.2 :** Ciment Al esses CEM I 42.5.

### **III.2.2. L'eau de gâchage :**

L'eau utilisée doit être propre et exempte d'impuretés, nous avons donc choisi d'utiliser l'eau potable du robinet parce qu'elle est toujours adaptée.



**Figure III.3 :** Eau de robinet [30].

### *III.2.3. Les Granulats :*

Dans cette étude nous avons utilisés quatre types granulaire : granulats de caoutchoucs, le sable, et deux graviers (3/8) et (8/15).

#### *III.2.3.1. Granulats de caoutchoucs :*

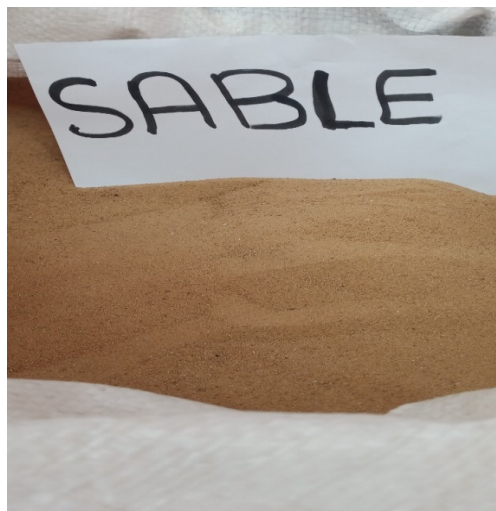
Nous avons préparé des granulats de caoutchouc en coupant des déchets des roues de voiture en petits morceaux de 3 à 8 mm.



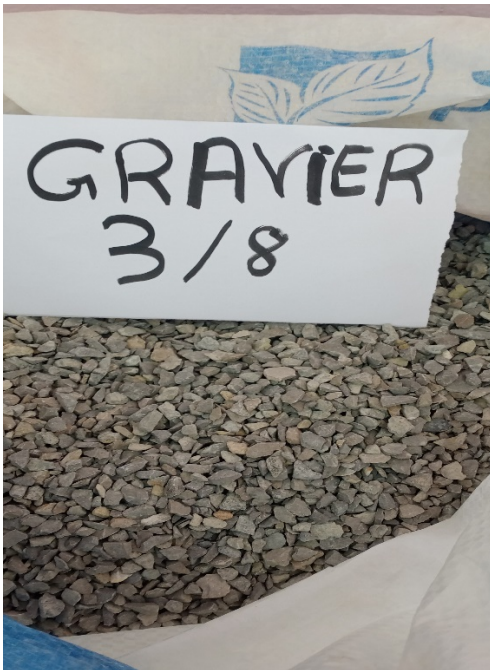
**Figure III.4 :** Granulats de caoutchouc préparé.

#### *III.2.3.2. Le sable :*

Le sable est une matière solide granulaire constituée de petites particules.



**Figure III.5 :** Sable du Guelta.

**III.2.3.3. Le gravier 3/8 et 8/15 : le gravier utilisé pour notre étude.****Figure III.6 :** Le gravier 3/8.**Figure III.7 :** Le gravier 8/15.**III.3. L'analyse granulométrique :****III.3.1. But de l'essai :**

L'objectif de l'analyse granulométrique consiste à déterminer la taille et les pourcentages.

Les poids respectifs des diverses céréales composant l'échantillon.

**III.3.2. Principe de l'essai :**

L'essai consiste à classer les différents grains qui constituent l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Ce classement permet de nommer, selon les deux limites des dimensions des grains, le matériau analysé.

**III.3.3. Mode opératoire :**

- Préparation de l'échantillon qui sera analysé. Le choix du matériau imposera aussi le choix des tamis.
- Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant.

- Verser le matériau sec dans le tamis.
- Fermer le couvercle de la colonne de tamis.
- Secouer la colonne de tamis.
- Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle.
- Nous prenons le poids de chaque tamis à l'aide d'une balance électronique.

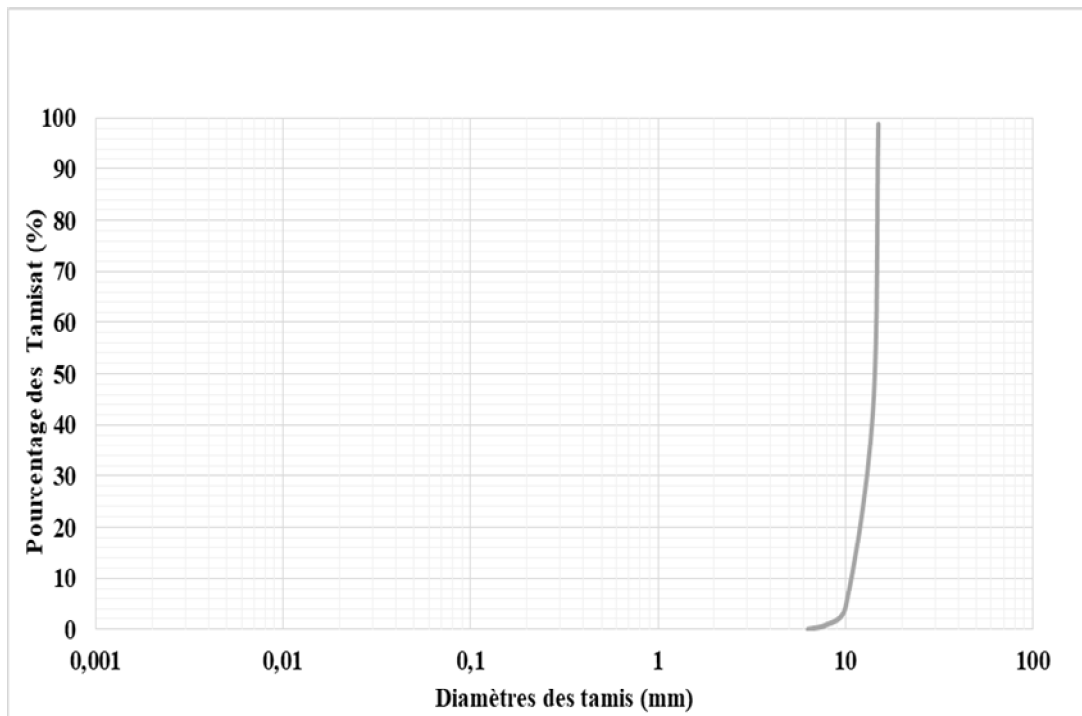


**Figure III.8 :** Série des tamis.

- Les résultats des analyses granulométriques des différents granulats étudiés sont regroupés dans les tableaux suivants :
- ✓ Masse sèche de gravier (8/15) :  $M = 3\text{kg} = 3000\text{ g}$ .

Ouverture des Tamis (mm)	Masse des refus $M_i$ (g)	Masse des refus Cumulé $M_c$ (g)	Pourcentage des refus cumulé $P_r$	Pourcentage des tamisât cumulés $P_t$
<b>14</b>	1735	1735	57,83	42,17
<b>10</b>	1139	2874	95,8	4,2
<b>8</b>	96	2970	99	1
<b>fond</b>	28	2998	99,93	0,07

**Tableau III.1 :** Résultat de l'analyse granulométrique de gravier (8/15).



**Figure III.9 :** Courbe granulométrique de gravier 8/15.

✓ Masse sèche de gravier (3/8) :  $M = 3\text{kg} = 3000\text{ g}$ .

Ouverture des Tamis (mm)	Masse des refus $M_i$ (g)	Masse des refus Cumulé $M_c$ (g)	Pourcentage des refus cumulé $P_r$	Pourcentage des tamisât cumulés $P_t$
8	11	11	0,37	99,63
6,3	169	180	6	94
4	2085	2265	75,5	24,5
3,15	519	2784	92,8	7,2
Fond	215	2999	99,97	0,33

**Tableau III.2 :** Résultat de l'analyse granulométrique de gravier (3/8).

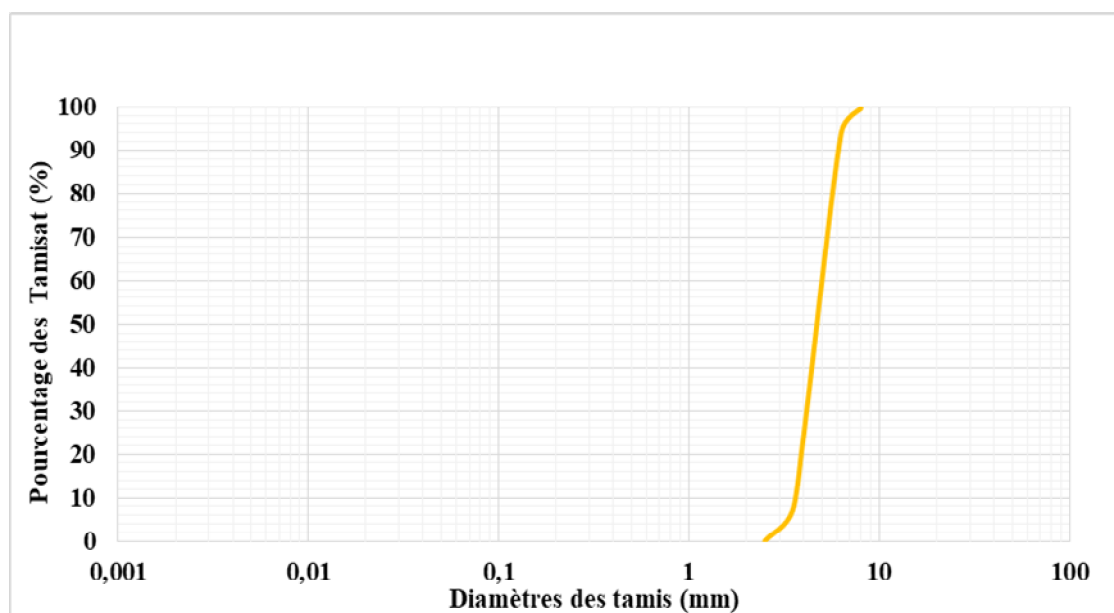


Figure III.10 : Courbe granulométrique de gravier 3/8.

✓ Masse sèche de sable :  $M = 3\text{kg} = 3000\text{ g}$ .

Ouverture des Tamis (mm)	Masse des refus $M_i$ (g)	Masse des refus Cumulé $M_c$ (g)	Pourcentage des refus cumulé $P_r$	Pourcentage des tamisât cumulés $P_t$
1,6	10	10	0,33	99,67
1	12	22	0,73	99,27
0,63	15	37	7,9	92,1
0,315	2254	2291	76,37	23,63
0,2	323	2614	87,13	12,87
0,08	364	2978	99,26	0,74
fond	20	2998	99,93	0,07

Tableau III.3 : Résultat de l'analyse granulométrique de sable.



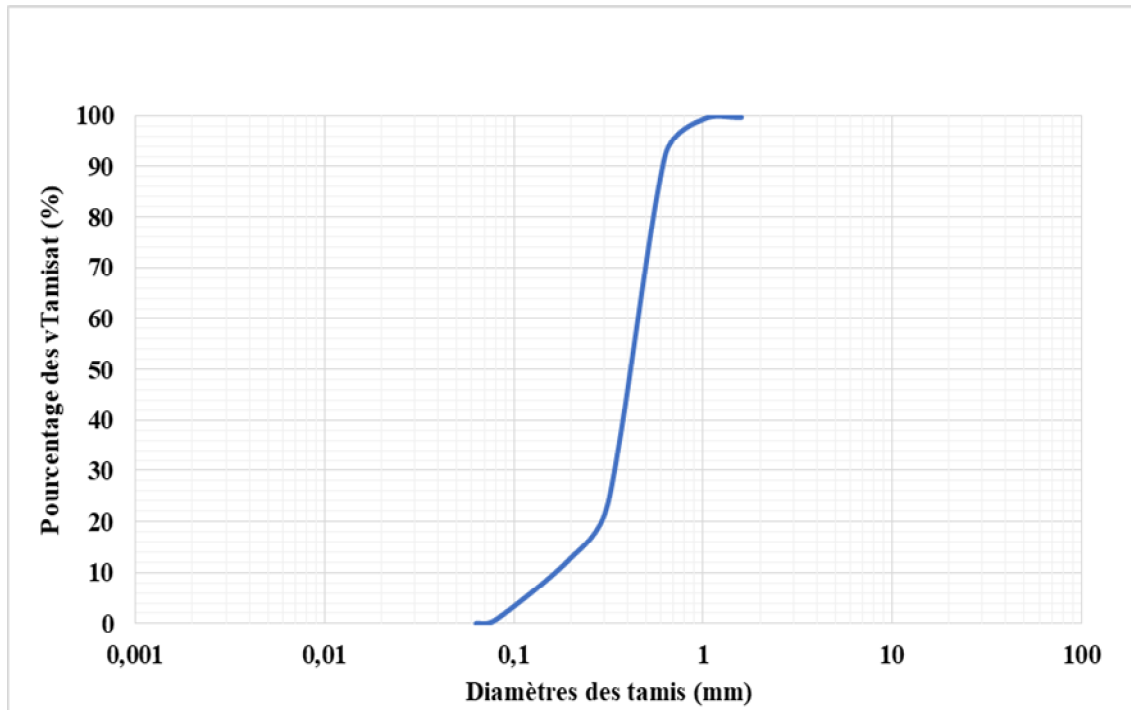


Figure III.11 : Courbe granulométrique de sable.



Figure III.12 : L'analyse granulométrique.

**III.4. Equivalent de sable (NFP 18-598) :**

Cet essai est utilisé pour évaluer la propreté des sables qui peut être déterminée par la mesure du pourcentage de fines dans ces sables. Les sables peuvent être concassé de carrière ou des sables de dune ou d'Oued.

Nous avons fait une essai d'analyse de sable « GUELTA ».

**III.4.1. Etape de l'essai :**

- Nature de l'échantillon (Sable naturel).
- Tamiser l'échantillon à 5 mm.
- Préparation des échantillon (1 et 2).
- La solution lavant dans l'éprouvette jusqu'au 1<sup>er</sup> repère.
- Laisser reposer 10 min.
- Boucher l'éprouvette et la fixer sur la machine.
- Faire subir à l'éprouvette 90 cycles en 30 secondes.
- Remettre l'éprouvette en position verticale sur la table.
- Oter le bouchon et rincer au-dessus de l'éprouvette.
- Remonter le niveau du liquide au trait repère supérieur.
- Arrêter l'écoulement.
- Laisser reposer pendant 20 min.

**III.4.2. Résultat :**

	<b>Ech 1</b>	<b>Ech 2</b>
<b>Mesure h<sub>1</sub></b>	21	22
<b>Mesure h<sub>2</sub></b>	6,7	5,3
<b>Mesure h'<sub>2</sub></b>	10,5	10,5
<b>ES(piston) = 100*h<sub>2</sub> / h<sub>1</sub></b>	<b>ES<sub>1</sub> = 30,95</b>	<b>ES<sub>2</sub> = 24,09</b>
<b>ES<sub>Moyen</sub> (piston) = 28</b>		
<b>ES(visuel) = 100*h'<sub>2</sub> / h<sub>1</sub></b>	<b>ES<sub>1</sub> = 50</b>	<b>ES<sub>2</sub> = 47,72</b>
<b>ES<sub>Moyen</sub> (visuel) = 49</b>		

**Tableau III.4 :** Equivalent de sable.

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
<b>ES&lt;65</b>	<b>ES&lt;60</b>	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
<b>65&lt;ES&lt;75</b>	<b>65&lt;ES&lt;70</b>	Sable légèrement argileux
<b>75≤ES≤85</b>	<b>70≤ES≤80</b>	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient.
<b>ES≥85</b>	<b>ES&gt;80</b>	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque

**Tableau III.5 :** Classification des sables.

- Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.



**Figure III.13 :** Equivalent de sable.

### **III.5. Essai au bleu de méthylène P 18.592 :**

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

**III.5.1. Exécution de l'essai :**

- Préparation de la solution de bleu.
- Préparation de l'échantillon de sable : (préparation de la prise d'essai ;**300 g**, mettre la prise d'essai dans le bac de plastique, ajoute de 100 ml d'eau distillée, agitation, lave le sable sur le tamis **80 µm**, sécher le refus et peser).
- Agiter la solution du bécher.
- Réglé la vitesse à **450 t/mn**
- Versé dans la suspension un volume de bleu, et mesuré le diamètre de la tâche.

**III.5.2. Résultat :**

Masse de refus = 284,14 g.

$q = 300 - 284,14 = 15,86$  g.

$v = 25$  ml

$$VB = \frac{v}{q} = \frac{25}{15,86} = 1,58$$

- Sable argileux, peu plastiques.



**Figure III.14 :** Essai au bleu de méthylène.

### III.6. 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 :

$$Mf = \sum Rc / 100$$

Où :

**RC** : Refus cumulé.

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

- Sable gros  $Mf \geq 2.5$ .
- Sable moyen  $2 < Mf < 2.5$ .
- Sable fin  $1.5 < Mf < 2$ .
- Sable très fin  $1 < Mf < 1.5$ .

### III.7. Masse volumique :

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité sur le volume de ce corps.



**Figure III.15** : Les matériaux utilisés pour calculer la masse volumique.

#### III.7.1. La masse volumique apparente ( $M_{v, app}$ ) :

C'est la masse des grains secs occupant l'unité de volume, c'est-à-dire la masse de

volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient (comprenant à la fois des vides de la particule ainsi que les vides entre particules).

### *III.7.1.1. Equipement et matériaux :*

- Un récipient cylindrique d'un volume connu.
- Une balance pour peser.
- Une règle à araser métallique.
- Granulats (sable et gravier).

### *III.7.1.2. Mode opératoire :*

- Peser le récipient à vide ; soit **M1**.
- Prendre les granulats dans les deux mains formant un entonnoir.
- Remplir le moule de mesure en plaçant les mains à 10 cm environ au-dessus de la mole et laisser tomber le matériau au centre, ni trop vite ni trop lentement.
- Eviter toute vibration du moule et araser la surface du moule à l'aide de la spatule.
- Peser le moule rempli du matériau, soit **M2**.

### *III.7.1.3. Calculs et résultats :*

Calcule de la masse volumique apparente :

$$M_{v \text{ app}} = \frac{M}{V} \quad (\text{Kg/m}^3)$$

- $M_{v \text{ app}}$  : masse volumique apparente, en  $\text{Kg/m}^3$ .
- $M$  : masse de l'échantillon, en Kg.
- $V$  : volume apparent de l'échantillon = volume du moule = 1 litre.

#### *A) Masse volumique apparente de sable :*

$$M = M2 - M1 = 1,83 - 0,45 = 1,38 \text{ g} = 1,4 \text{ Kg}$$

$$V = 1\text{l} = 0,001 \text{ m}^3$$

$$M_{v \text{ app}} = \frac{1,4}{0,001} = 1400 \text{ Kg/m}^3$$



Figure III.16 : Mode opératoire de la masse volumique apparente de sable.

**B) Masse volumique apparente de gravier 3/8 :**

$$M = M_2 - M_1 = 1,81 - 0,45 = 1,36 \text{ Kg.}$$

$$V = 1l = 0,001 \text{ m}^3.$$

$$M_{v \text{ app}} = \frac{1,36}{0,001} = 1360 \text{ Kg/m}^3$$



Figure III.17 : Mode opératoire de la masse volumique apparente de gravier 3/8.

C) *Masse volumique apparente de gravier 8/15 :*

$$M = M_2 - M_1 = 1,74 - 0,45 = 1,3 \text{ Kg.}$$

$$V = 1l = 0,001 \text{ m}^3.$$

$$M_{v \text{ app}} = \frac{1,3}{0,001} = 1300 \text{ Kg/m}^3$$



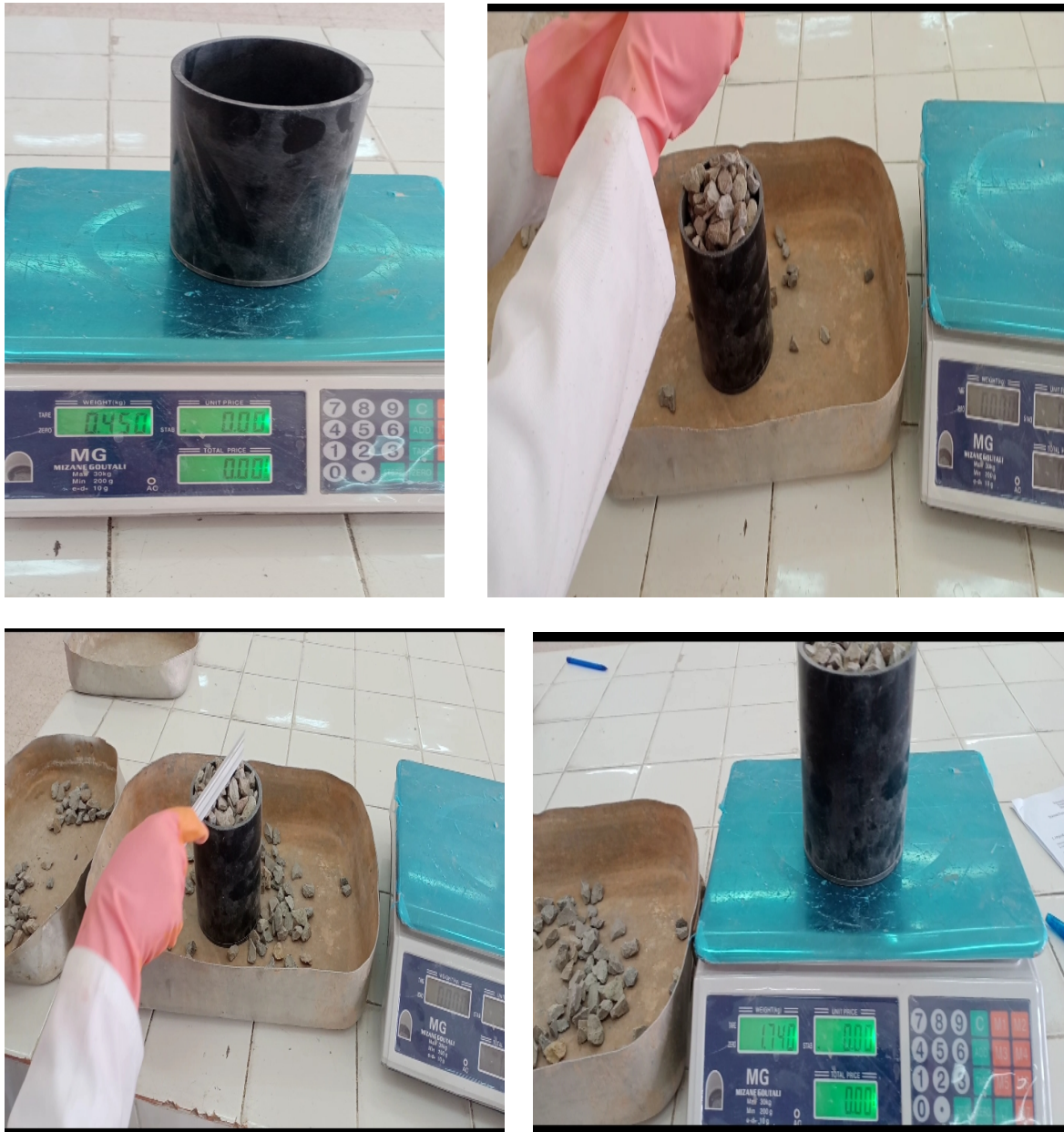
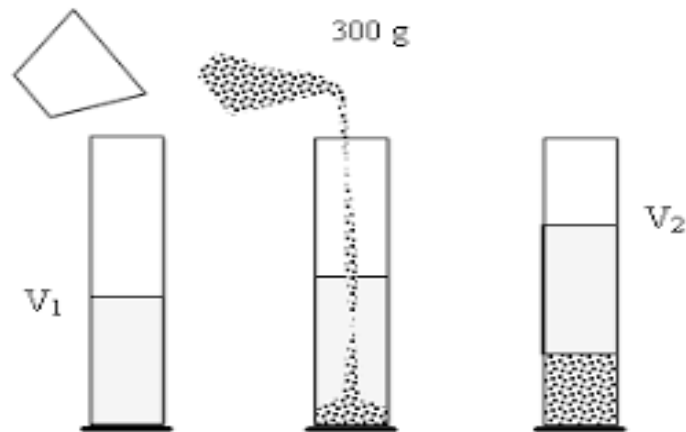


Figure III.18 : Mode opératoire de la masse volumique apparente de gravier 8/15.

### III.7.2. La masse volumique absolue ( $M_{v\ abs}$ ) :

C'est la masse du volume constitué par la matière du corps sans tenir compte les vides qu'elle contient (les vides de la particule et entre particules).



**Figure III.19 :** Représentation d'essai de la masse volumique absolue [31].

#### ***III.7.2.1. Equipement et matériaux :***

- Eprouvette graduée.
- Balance analytique.
- Etuve de séchage.
- Eau.
- Granulats (sable, gravier).

#### ***III.7.2.2. Mode opératoire :***

- Sécher l'échantillon jusqu'à l'obtention d'une masse constante ( $T = 105$  à  $110^{\circ}\text{C}$ ).
- Peser une masse de cet échantillon (de l'ordre de 300 g) ; soit  $M$ .
- Remplir l'éprouvette graduée avec un volume d'eau ; soit  $V_1$ .
- Mettre l'échantillon dans l'éprouvette graduée et lire le nouveau volume ; soit  $V_2$ .



Figure III.20 : Séchage des échantillons.

### III.7.2.2. Expression des résultats :

#### A) Masse volumique apparente de sable :

$$M = 300 \text{ g} = 0,3 \text{ Kg.}$$

$$V = V_2 - V_1 = 715 - 600 = 115 \text{ ml} = 0,000115$$

$$M_{v \text{ abs}} = \frac{0,3}{0,000115} = 2608,7 \text{ Kg/m}^3$$

#### B) Masse volumique apparente de gravier 3/8 :

$$M = 300 \text{ g} = 0,3 \text{ Kg.}$$

$$V = V_2 - V_1 = 516 - 400 = 116 \text{ ml} = 0,000116$$

$$M_{v \text{ abs}} = \frac{0,3}{0,000116} = 2586,21 \text{ Kg/m}^3$$

#### C) Masse volumique apparente de gravier 8/15 :

$$M = 300 \text{ g} = 0,3 \text{ Kg.}$$

$$V = V_2 - V_1 = 518 - 400 = 118 \text{ ml} = 0,000118$$

$$M_{v \text{ abs}} = \frac{0,3}{0,000118} = 2542,37 \text{ Kg/m}^3$$

### III.7.3. Porosités :

La porosité des échantillons de granulats est un paramètre important dans la

formulation du béton car elle affecte sa compacité et donc ses propriétés mécaniques. La valeur de la porosité P pour différents agrégats a été calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$P\% = (1 - M_{\text{app}} / M_{\text{abs}}) * 100$$

	P %
Sable	53,66
Gravier 3/8	52,59
Gravier 8/15	51,13

**Tableau III.6 :** Résultat de porosités.

### III.7.4. Compacité :

La compacité d'un matériau est une partie de son volume effectivement occupée par la matière solide qui le compose, c'est-à-dire. Rapport du volume absolu des grains avec le volume apparent de la matière. La compacité donnée par la formule :

$$C\% = 100 - P$$

	C%
Sable	46,34
Gravier 3/8	47,41
Gravier 8/15	48,87

**Tableau III.7 :** Résultat de compacité.

### III.7.5. Indice de vide :

$$I = \frac{P}{C}$$

	<b>I</b>
<b>Sable</b>	1,16
<b>Gravier 3/8</b>	1,11
<b>Gravier 8/15</b>	1,05

**Tableau III.8** : Indice de vide.

### **III.8. Essai de Blaine :**

Le test de Blaine, dit de perméabilité à l'air, est une méthode de mesure de la finesse du ciment, ou du filler utilisé comme addition pour béton hydraulique, basée sur une propriété fractale, qui donne une mesure exprimée en termes de surface spécifique (en m<sup>2</sup>/g dans le Système international), c'est-à-dire la surface développée par unité de masse.

Cette méthode consiste à mesurer le temps mis par un volume d'air donné pour traverser un échantillon. En calculant la durée que met un gaz sous pression à traverser un volume donné de granules, on peut déduire la surface des granules. Plus le broyage est fin, plus la surface calculée est importante.

La base théorique est le modèle des écoulements des fluides à travers les milieux poreux, à savoir la loi de Darcy et la loi de Kozeny-Carman.

L'appareil utilisé pour cette mesure s'appelle une perméabilité.

La norme EN 196-6 permet de déterminer la finesse du ciment selon la méthode de perméabilité à l'air (méthode de Blaine) mais aussi selon les méthodes de tamissage et de tamissage à jet d'air [32].

#### **III.8.1. Résultat :**

$$t = 66,72$$

$$T = 22,2^{\circ}\text{C}$$

$$S_m = 2164 \text{ cm}^2/\text{g} = 0,2164 \text{ m}^2/\text{g}$$



Figure III.21 : Appareille de Blaine.

### III.9. Essai de consistance de ciment (Appareil de Vicat EN 196-3) :

#### III.9.1. Objectif :

L'objectif est de calculer le rapport eau/ciment (E/C) d'une pâte de ciment d'une consistance normale qui est la quantité d'eau nécessaire pour avoir une pâte normale plastique. Elle est vérifiée par la mesure de l'enfoncement dans la pâte de ciment d'une sonde cylindrique sous l'effet d'une charge constante (tige + sonde amovible) de 300 g.

#### III.9.2. Mode opératoire :

- Peser une quantité de ciment, soit  $m_c = 500\text{g}$ .
- Choisir un rapport E/C et peser la quantité d'eau. On peut commencer avec un poids de  $m_e = 27\% m_c$  (c à dire E/C=27%).
- Introduire l'eau dans la cuve puis le ciment en 5 à 10 secondes.
- Le reste des opérations de malaxage est récapitulé comme suit :

Opération	Introduction de l'eau	Introduction de ciment	Vitesse 1	Raclage de la cuve	Vitesse 2
Etat de malaxeur	En arrêt		A Vitesse lente	En arrêt	A Vitesse lente
Durée des opérations	Le temps de la quantité d'eau	5 à 10 s	90s	15s	90s

- Après ces opérations, introduire rapidement la pâte dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessifs.
- Enlever l'excès de la pâte par un mouvement de va-et-vient grâce à une truelle maintenue perpendiculaire à la surface du moule.
- Placer l'ensemble sur la platine de l'appareil Vicat.
- Guide la sonde s'immobilise, ou au plus tard 30 secondes après l'avoir relâchée, on mesure la distance  $d$  entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule. Cette distance  $d$  caractérise la consistance.
- Si  $d=6 \text{ mm} \pm \text{ mm}$ , on a une consistance normalisée.
- Si  $d$  n'atteint pas cette valeur, il convient de refaire l'essai avec une différence de la masse d'eau jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.



**Figure III.22 :** Essai de consistance de ciment.

**III.9.3. Résultat et interprétation :**

$$m_c = 500 \text{ g}$$

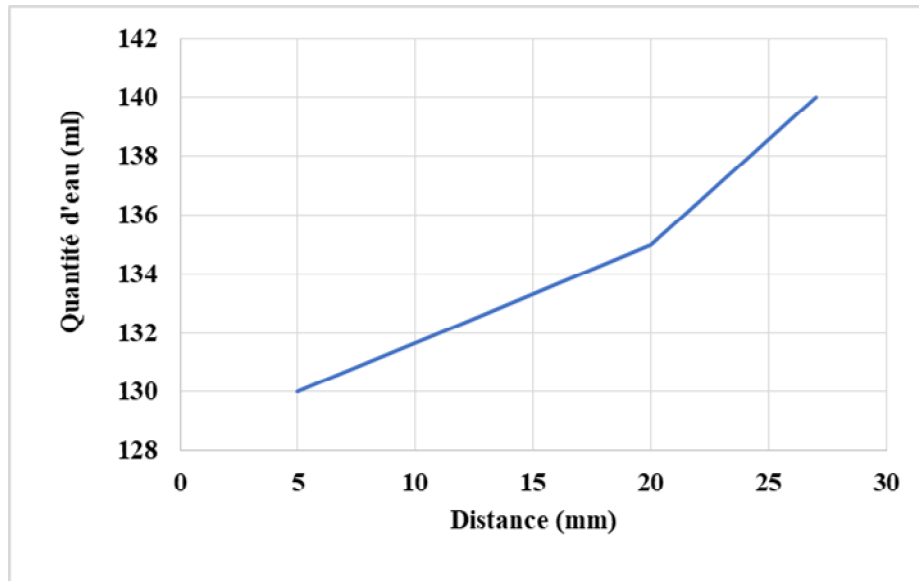
$$m_e = 27\% m_c$$

$$E/C = \frac{27 \times 500}{100} = 135 \text{ ml}$$

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Eau ( $m_e$ )	140 ml	135 ml	130 ml
Ciment ( $m_c$ )	500 g		
Distance d	27 mm	20 mm	5 mm

**Tableau III.9 :** Les résultats de consistance de ciment.





**Figure III.23** : Consistance de ciment.

### **III.10. Formulation des bétons :**

La composition du béton consiste à déterminer le mélange optimal de divers granulats, de ciment et d'eau pour produire un béton de la qualité requise en termes d'ouvrabilité, de résistance et de durabilité.

Pour déterminer la composition de notre béton, nous avons utilisé la méthode de calcul de composition de Dreux-Gorisse.

#### **III.10.1. Méthode de formulation de Dreux-Gorisse :**

La méthode de formulation Dreux-Gorisse détermine les quantités optimales de matériaux : (eau E, ciment C, sable S, gravier g et gravier G) nécessaires à la fabrication d'un mètre cube de béton selon un cahier des charges.

##### **III.10.1.1. Détermination du rapport C/E :**

- **Le rapport C/E est calculé grâce à la formule de Bolomey :**

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0,5)$$

$$\sigma'_{28} = 42,5 \text{ MPa}$$

$$C/E - 0,5 = \frac{\sigma'_{28}}{G' \sigma'_c} \quad G = 0,4$$

- **Affaissement choisi** = 8 cm (béton plastique)

a) **Dosage en ciment :**

$$C/E = \frac{25}{42,5 \times 0,4} + 0,5 = 1,97$$

$$C = 400 \text{ Kg/m}^3$$

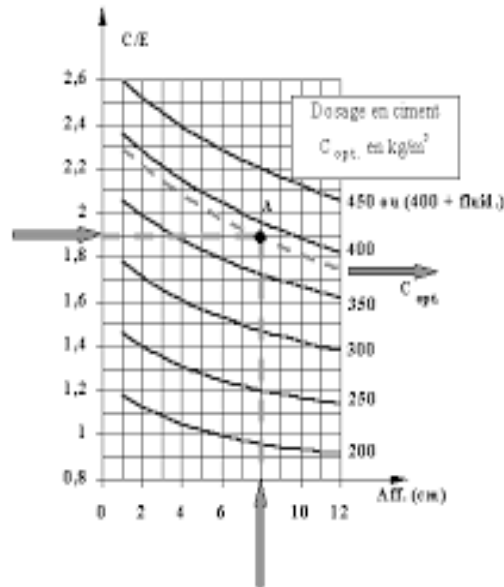


Figure III.24 : Abaque permettant la détermination de C.

b) **Dosage en eau :**

$$E = \frac{C}{1,97} = \frac{400}{1,97} = 203 \text{ Kg/m}^3$$

- **Correction du dosage en eau selon le diamètre maximal D du mélange granulaire :**

On a un **D max= 16 mm** qui correspond à une correction de **4%** en plus de la quantité d'eau calculée donc on obtient :

$$E = E_{calculée} + 0,04 \times E_{calculée} = 203 + 0,04 (203) = 211 \text{ Kg/m}^3$$

- E après correction = **211 Kg/m<sup>3</sup>**

### III.10.1.2. Détermination du mélange optimal à minimum de vides :

a) **Tracé de la droite de référence de Dreux :**

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides.

C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y :

-En abscisse :

$$D_{\max} \leq 20 \text{ mm} \quad X = D_{\max} / 2$$

$$15 \leq 20 \text{ mm} \quad X = 15 / 2 = 7,5$$

-En ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{1,25 (D_{\max})} + K' \quad \text{où } K' = K + K_s + K_p$$

$$K = +2$$

$$K_s = 6 \text{ MF-15}$$

$$K_s = (6 \times 1.8) - 15 = -4,$$

$$K_p = 7$$

$$K' = 2 + 7 - 4 = 5$$

$$Y = 50 - \sqrt{1,25(15)} + 5 = 50,67$$

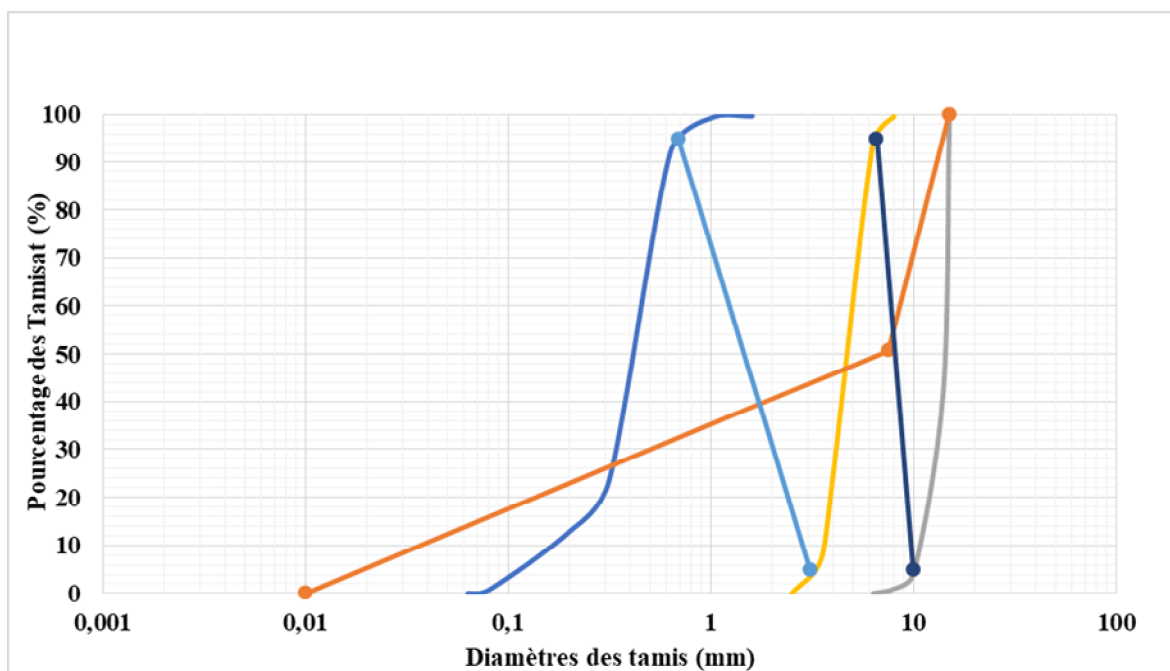


Figure III.25 : Les lignes de partage.

### b) Pourcentage des constituant :

- Le sable = 40 %
- Gravier 3/8 =  $55 - 40 = 15\%$
- Gravier 8/15 =  $100 - (40 + 15) = 45\%$

#### *III.10.1.3. Détermination de la compacité du béton :*

- La correction effectuée, on trouve  $\gamma = 0,815$
- Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendrad'apporter la correction suivante :

Sable et gravier concassé = **-0.03**

Alors :  $\gamma = 0.815 - 0.03 = 0.785$

#### *III.10.1.4. Détermination des masses de granulats :*

##### a) Volume absolu de ciment :

$$c = C/3,1 = 400/3,1 = 129,03 \text{ l/m}^3$$

##### b) Volume absolu de l'ensemble des granulats :

On a:  $V = (1000 \times \gamma) - c$

$$V = (1000 \times 0,785) - 129,03 = 655,97 \text{ l/m}^3$$

- Sable:  $V = 655,97 \times (40/100) = 262,4 \text{ l/m}^3$
- Gravier 3/8:  $V = 655,97 \times (15/100) = 98,4 \text{ l/m}^3$
- Gravier 8/15:  $V = 655,97 \times (45/100) = 295,2 \text{ l/m}^3$

##### c) Dosage des granulats en kg dans 1 m<sup>3</sup> :

- Sable =  $262,41 \times 2,6 = 682,3 \text{ Kg/m}^3$
- Gravier 3/8 =  $98,4 \times 2,7 = 265,7 \text{ Kg/m}^3$
- Gravier 8/15 =  $295,2 \times 2,7 = 797,04 \text{ Kg/m}^3$

### *III.10. Etude de béton :*

#### *III.10.1. Confection des cures des éprouvettes :*

Nous avons équipé des éprouvettes en fer avec des dimensions  $(16 \times 32) \text{ cm}^2$ .



**Figure III.26 :** Préparation des éprouvettes.

### ***III.10.2. Malaxage du béton :***

L'objectif du malaxage est de répartir dans l'espace de façon homogène, par l'action des outils des brassages, les éléments des constituants mis en présence dans le malaxeur.

La préparation du béton est faite par l'appareil appelé malaxeur, les étapes de préparation du béton sont.

Nous versons une certaine quantité de gravier, après la quantité de sable, puis la quantité de ciment nous allumons le malaxeur pour le mélange des particules, et enfin nous versons la quantité d'eau, après 3 min de malaxage, arrêtez le mélange et le test du cône d'Abrams a été effectué pour déterminer l'affaissement du béton préparé.

Dans notre cas nous avons préparé trois mélanges du béton :

- 1) Béton ordinaire : gravier + sable + ciment + l'eau.

- 2) Béton de granulats de caoutchouc : gravier + granulats de caoutchouc + sable + ciment + l'eau.



**Figure III.27** : Les particules secs.



**Figure III.28** : Le béton préparé.

### III.11. Programme des essais :

#### III.11.1. Mesure de la consistance :

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué grâce à l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui consiste à :

- Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige d'acier pointue de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche.
- Soulever le moule avec précaution et mesurer l'affaissement en cm.



**Figure III.29 :** l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.

- La class de béton S2 : 5 à 9 (cm).
- Affaissement = 7 cm, alors le béton est plastique.

#### III.11.2. Vibration :

La vibration est la méthode de compactage la plus populaire, et le degré auquel la vibration compacte le béton frais dépend de la fréquence et de la puissance de la vibration, ainsi que de la durée de la vibration.

- On commence par piqué de vibration qui utiliser pour vibrer le béton dans

l'éprouvette dans 3 étapes et 3 couches à chaque fois en frappe 25 frappes avec le même rythme à fin d'homogénéiser la forme de l'échantillon.

- On faire la vibration sur la table vibrante pendant 20s.



**Figure III.30 :** Vibration des éprouvettes.

- Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre ai laboratoire pendant 24h puis décoffréeset marquer par peinture et conserver dans l'eau.
- On a conservé les éprouvettes dans l'eau jusqu'a le moment de réalisation de l'essai de compression.



**Figure III.31 :** Les éprouvettes libre à l'air.





**Figure III.32 :** Conservation des éprouvettes dans l'eau.

### ***III.11.3. Essai de compression : [NEP 18 – 406]***

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme (NFP 18-406), sur des éprouvettes cylindriques de dimensions (16x32cm<sup>2</sup>) respectivement, mûries à l'eau (14 et 28 jours).



**Figure III.33 :** La machine pour essai de compression et affichage de la résistance (la machine de laboratoire de MDC).

### **III.12. CONCLUSION :**

Ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés pour fabriquer différents types de béton dans notre étude expérimentale. Nous proposons différents tests pour caractériser les matières premières utilisées dans notre étude ainsi que les méthodes de formulation et les quantités des différents composants du béton.

La partie expérimentale consiste à évaluer les granulats recyclés, puis à étudier les propriétés du béton frais et à évaluer les performances du béton durci.

Les résultats d'essais effectués sur du béton à l'état frais et durci sont présentés et discutés dans le chapitre suivant.



## ***CHAPITRE IV :***

### *Résultats & Interprétation*



### *IV.1. Introduction :*

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats la formulation d'un béton ordinaire à base des granulats de caoutchouc.

Les travaux ont donc contribué à l'amélioration des connaissances sur les propriétés physiques et mécaniques de ses différentes de composantes et leur influence sur le comportement du béton.

Il est à préciser que notre programme expérimental est réalisé sur des éprouvettes cylindriques (Diamètre 16 cm et hauteur de 32 cm).

Dans ce chapitre nous allons analyser les résultats obtenus après la fin des essais expérimentale sur l'influence de substitution des granulats en caoutchouc sur les masses volumiques ainsi que sur la résistance à la compression à l'âge de (14 et 28) jours, et nous avons donné les résultats obtenus A l'écrasement des éprouvettes.

### *IV.2. Résultats des essais menés sur les bétons (14 jours) :*

#### *IV.2.1. Résultats des masses volumiques des bétons durcis :*

Pour chaque béton, nous avons réalisé trois échantillons. Au 14 jour, avant tout broyage, les échantillons sont pesés systématiquement. Ensuite, nous avons calculé la densité pour différents bétons, utiliser la moyenne des poids. Celui-ci est calculé à l'aide de la formule Suivant :

$$X_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^3 X_i}{3}$$

✓ Avec : **X** correspond à la variable mesure.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans **le tableau IV.1**. Les pourcentages testés sont (0 % ; 05 % ; 10 %).



**Figure IV.1:** Les éprouvettes après la conservation dans l'eau (14 jour).

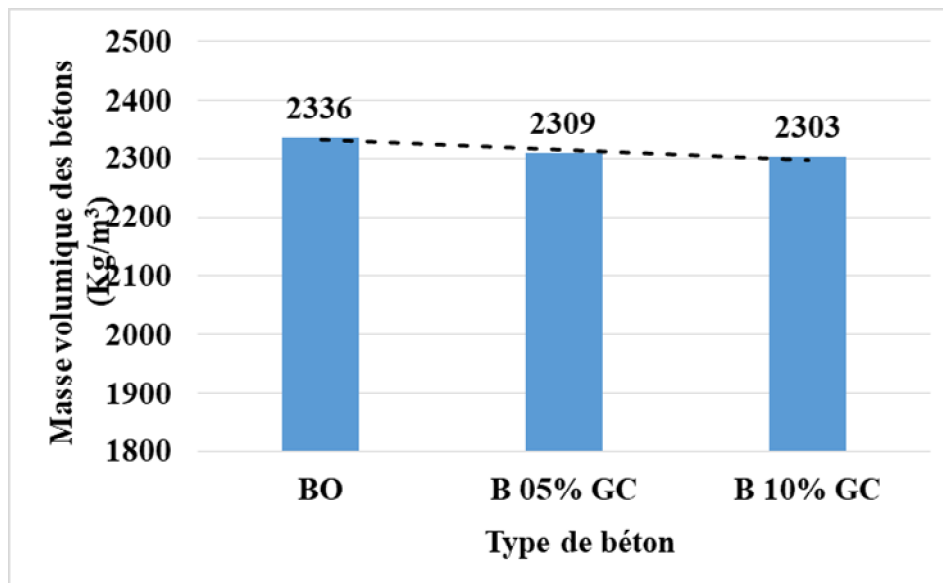
	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3	Moyenne (Kg)	Masse Volumique (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>BO</b>	14.93	14.95	14.97	14.95	2336
<b>B 05% GC</b>	14.78	14.76	14.80	14.78	2309
<b>B 10% GC</b>	14.75	14.76	14.70	14.74	2303

**Tableau IV.1:** Masses des éprouvettes (kg) et masses volumiques des bétons durcis (kg/m<sup>3</sup>).

La masse volumique est calculée en comparant la masse volumique de différents bétons avec celle du béton ordinaire BO.

Pour faciliter l'interprétation de ces résultats, nous les représentons dans **la figure IV.2.**

Nous traçons également graphiquement les courbes de tendance obtenues.



**Figure IV.2:** Masse volumique des bétons en fonction du pourcentage en GC.

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse unitaire d'une substance volume. **La figure IV.2.** Montre clairement que lorsque le pourcentage de GC augmente, masse volumique diminue et le béton devient plus léger.

Tel que représenté sur **la figure et IV.2**, on est passé d'un béton ordinaire BO à 100 % de GN de 2336 kg/m<sup>3</sup> à un béton de B 10%GC à 10 % du volume en GC à 2303 kg/m<sup>3</sup>, soit une baisse de masse volumique.

#### ***IV.2.2. Résultats des résistances à 14 jours :***

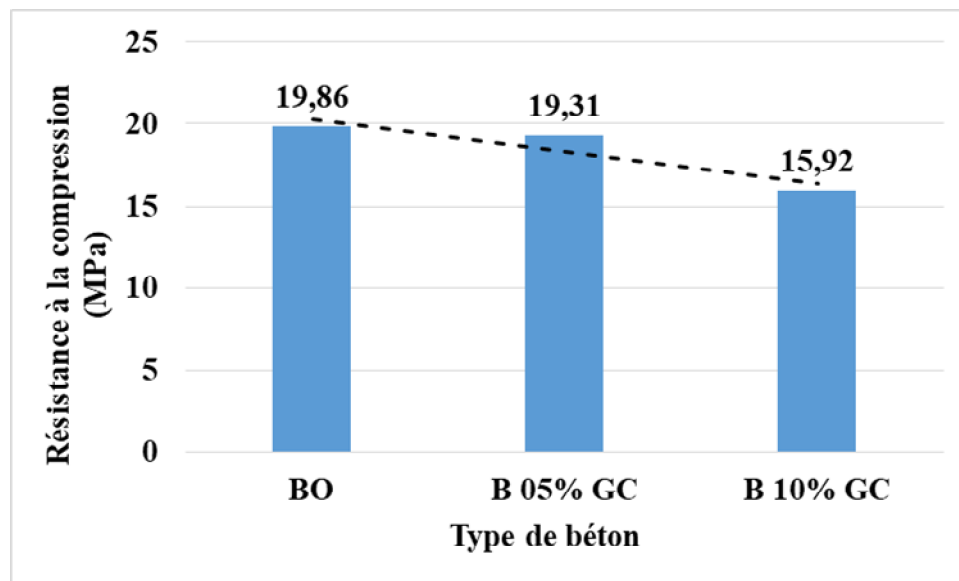
Les résistances obtenues à 14 jours pour les différentes formules de bétons testées, sur trois éprouvettes, sont données dans **le tableau IV.2**. Nous avons donné les résistances moyennes des trois mesures, pour chaque type de béton (BO, B 05% GC, B 10% GC).

	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3	Résistance Moyenne (MPa)
<b>BO</b>	17.31	24.24	18.04	19.86
<b>B 05% GC</b>	19.04	16.28	22.63	19.31
<b>B 10% GC</b>	14.37	16.42	16.98	15.92

**Tableau IV.2:** Résistance moyenne à la compression à 14 jours (MPa).

Pour mieux comprendre les résultats, nous représentons sur **la figure IV.3.**

La résistance moyenne basée sur le pourcentage de GN remplacé par GC. Le résultat est exprimé en forme d'histogramme.



**Figure IV.3.** Histogramme des résistances à la compression à 14 jours des bétons.

D'après les résultats de **la figure IV.3.** On constate que la résistance des bétons diminue proportionnellement avec l'augmentation du pourcentage en GC dans les bétons.

On passe d'une résistance à 14 jours de 19.86 MPa pour le béton à 100 % de GN à une résistance de 15,92 MPa pour le béton B 10% GC.

**IV.3. Résultats des essais menés sur les bétons (28 jours) :****IV.3.1. Résultats des masses volumiques des bétons durcis :**

Pour chaque béton, nous avons réalisé trois échantillons. Au 28 jour, avant tout broyage, les échantillons sont pesés systématiquement. Ensuite, nous avons calculé la densité pour différents bétons, utiliser la moyenne des poids. Celui-ci est calculé à l'aide de la formule Suivant :

$$X_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{3}$$

✓ Avec: X correspond à la variable mesure.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le **tableau IV.3**. Les pourcentages testés sont (0 % ; 05 % ; 10 %).



**Figure IV.4 :** Les éprouvettes après la conservation dans l'eau (28 jour).



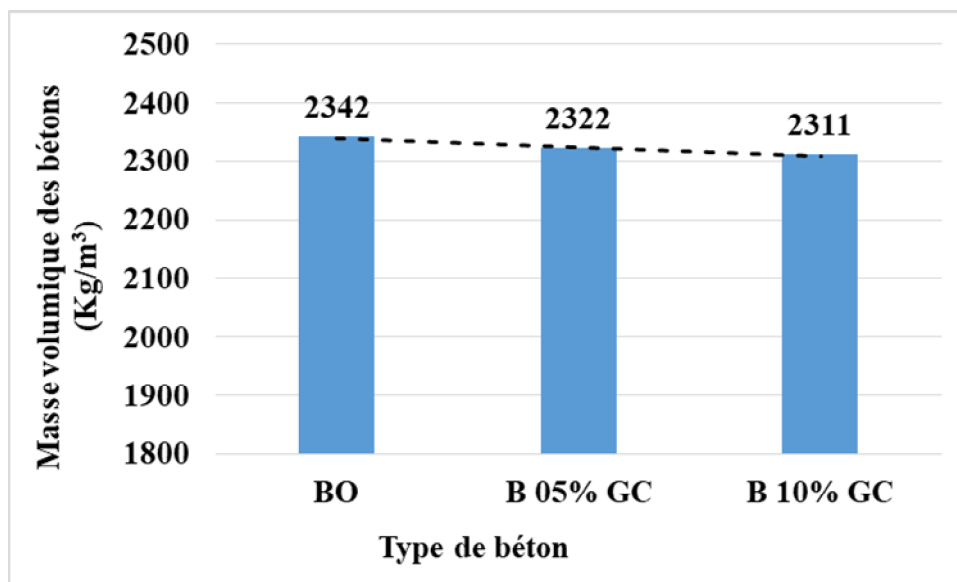
	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3	Moyenne (Kg)	Masse Volumique (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>BO</b>	15	15	14.98	14.99	2342
<b>B 05% GC</b>	14.77	14.93	14.90	14.86	2322
<b>B10% GC</b>	14.80	14.82	14.76	14.79	2311

**Tableau IV.3.** Masses des éprouvettes (kg) et masses volumiques des bétons durcis (kg/m<sup>3</sup>).

La masse volumique est calculée en comparant la masse volumique de différents bétons avec celle du béton ordinaire BO.

Pour faciliter l'interprétation de ces résultats, nous les représentons dans **la figure IV.5**

Nous traçons également graphiquement les courbes de tendance obtenues.



**Figure IV.5.** Masse volumique des bétons en fonction du pourcentage en GC.

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse unitaire d'une substance volume. **La figure IV.5.** Montre clairement que lorsque le pourcentage de GC augmente, masse volumique diminue et le béton devient plus léger.

Tel que représenté sur **la figure IV.5**, on est passé d'un béton ordinaire BO à 100 % de GN de 2342 kg/m<sup>3</sup> à un béton de B 10%GC à 10 % du volume en GC à 2311 kg/m<sup>3</sup>, soit une baisse de masse volumique.

#### *IV.3.2. Résultats des résistances à 28 jours :*

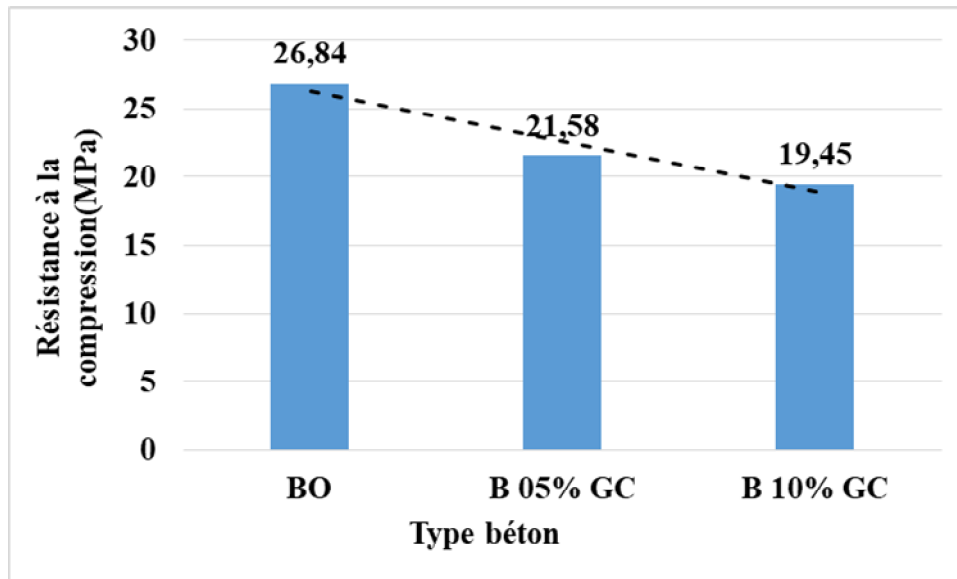
Les résistances obtenues à 28 jours pour les différentes formules de bétons testées, sur trois éprouvettes, sont données dans **le tableau IV.4**. Nous avons donné les résistances moyennes des trois mesures, pour chaque type de béton (BO, B 05% GC, B 10% GC).

	Eprouvette 1	Eprouvette 1	Eprouvette 1	Résistance Moyenne (MPa)
<b>BO</b>	28.85	24.85	26.83	26.84
<b>B 05% GC</b>	21.39	24.09	19.10	21.58
<b>B 10% GC</b>	20.78	18.96	18.62	19.45

**Tableau IV.4:** Résistance moyenne à la compression à 28 jours (MPa).

Pour mieux comprendre les résultats, nous représentons sur **la figure IV.6**

La résistance moyenne basée sur le pourcentage de GN remplacé par GC. Le résultat est exprimé en forme d'histogramme.



**Figure IV.6.** Histogramme des résistances à la compression à 28 jours des bétons.

D'après les résultats de **la figure IV.6.** On constate que la résistance des bétons diminue proportionnellement avec l'augmentation du pourcentage en GC dans les bétons. On passe d'une résistance à 28 jours de 26.84 MPa pour le béton à 100 % de GN à une résistance de 19.45 MPa pour le béton B 10% GC.

#### ***IV.4. Etat de dégradation des éprouvettes :***

Lors de l'écrasement des éprouvettes, nous avons constaté que plus la CG dans les éprouvettes est élevée, moins les éprouvettes sont dégradées. Éprouvettes pour lesquelles le pourcentage dans GC est sans fissures (moins abîmées).

**BO****B 5% GC****B 10% GC****Figure IV.7 :** Etat d'endommagement des éprouvettes de bétons après rupture.

10 % des échantillons de granulats de caoutchouc présentaient peu de fissures oculaires nues.

On pense que ce mode de rupture est influencé par les propriétés physiques de

l'agrégat Caoutchouc moins cassant que le béton. Il agit comme un amortisseur. à cet égard ce matériau, il y a donc quelque chose à découvrir.

#### ***IV.5. Conclusion :***

À la fin de cette étude, on peut conclure que l'introduction d'agrégats de caoutchouc dans le béton provoque une diminution de la masse volumique et la résistance mécanique du béton.

Ainsi pour 10 % de substitution en GC nous avons remarqué une diminution de la compression (14 jours) de 19.86 MPa à 15.92 MPa par rapport au béton ordinaire BO.

La diminution a été plus en 28 jours de 26.84 MPa à 19.45 MPa par rapport au béton ordinaire BO.

L'introduction des GC dans les bétons ordinaires une baisse des masses volumiques des bétons, plus le pourcentage en GC et important plus le béton est léger. Cette baisse est liée à la masse volumique des GC qui est plus petit dans celle des granulats naturels.

Baisse des résistances mécaniques et celui de baisse des masses volumiques n'évoluent pas de la même manière. La résistance baisse avec une tendance plus prononcée que les masses volumiques.



# *Conclusion Générale*



### *Conclusion générale*

Ce travail qui s'inscrit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux disponibles et facilement accessibles a pour but d'étudier l'effet de caoutchouc sur le comportement des bétons afin de valoriser ces déchets dans la confection du béton ordinaire et cela nous permet d'éliminer ces déchets par recyclage d'où protection de l'environnement.

L'objectif principale de ce travail est étudié les effets du déchet de granulats de caoutchouc sur la résistance mécanique (résistance de compression). Le choix de ce matériau est justifié par leur faible coût et par leur abondance en quantités importantes en Algérie, en plus d'être des déchets, donc son exploitation dans le domaine de la construction ou d'autres domaines en soi est un avantage.

Pour notre cas, nous avons cherché l'influence du pourcentage de substitution des granulats naturelle (GN, un gravier de classe 3/8) par des granulats de caoutchouc de même classe (GC) sur les paramètres d'étude. Sur l'ensemble des essais menés, nous avons fait une substitution des GN par les GC tout en maintenant les autres paramètres de composition constants (même quantité en ciment, eau, sable ...)

Sur la base des résultats de cette étude expérimentale, les conclusions suivantes peuvent être :

- L'utilisation des granulats en caoutchouc dans le béton provoque une baisse des résistances physique et mécanique des bétons résistance est inversement proportionnelle de substitution des GN par les GC une substitution de (5% et 10 %) en GC par GN, nous avons observé une baisse de la masse volumique et la résistance à la compression des bétons ordinaire.
- Aussi, on a constaté que plus les bétons sont riches en granulats en caoutchouc plus leur comportement devient ductile, l'éprouvette atteint sa limite de résistante mais ne se démolie pas.

Cette étude reste restreinte, en perspective, il sera intéressant de trouver des possibilités d'associer à ces études expérimentales un aspect modélisation pour d'éventuelles applications structurelles, mais aussi sur d'autres aspects comme l'isolation phonique, thermique, etc.



# *Référence bibliographique*





### *Référence bibliographique*

- [1] BRAHMA « Le béton, université de Blida Institut de Génie Civil ».
- [2] NEVILLA. Adam. M « Propriétés des bétons », Eyrolles 2000.
- [3] Dreux G., Festa J « Nouveau guide du béton » Eyrolles 1995.
- [4] Lafarge France « <https://www.lafarge.fr/fabrication-des-granulats> ».
- [5] <https://html.scribdassets.com/7wxr05sups6lt6y2/images/1-45852d95fd.jpg>.
- [6] Fali. I « Propriétés mécaniques des bétons à base de granulats en caoutchouc », mémoire de fin d'étude 2015-2016.
- [7] [https://mcours.net/cours/pdf/geniecivil/Composition\\_desbetons\\_00.pdf](https://mcours.net/cours/pdf/geniecivil/Composition_desbetons_00.pdf) « modifié le 28/12/2001 ».
- [8] [http://staff.univbatna2.dz/sites/default/files/bouglada\\_mohammedsalah/files/formulation\\_de-dreux-gorisse.pdf](http://staff.univbatna2.dz/sites/default/files/bouglada_mohammedsalah/files/formulation_de-dreux-gorisse.pdf) « modifié le 23/01/2021 ».
- [9] Le recyclage des déchets : approche économique d'une activité nouvelle.
- [10] Conception et réalisation d'une unité de récupération des PET (REC.ECO.PLAST) « modifié le 27/06/2021 ».
- [11] <https://www.cancer-environnement.fr/fiches/expositions-environnementales/dechets/>
- [12] Guide du traitement des déchets réglementation et choix des procédés (Alain Damien).
- [13] <https://nuclearsafety.gc.ca/fra/resources/infographics/waste/index.cfm#:~:text=Un%20d%C3%A9chet%20radioactif%20est%20toute,n'a%20aucune%20utilisation%20pr%C3%A9visible.>
- [14] <https://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-4152.html>
- [15] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/environnement-centre-stockage-dechets-16932/>
- [16] <https://reduiremesdechets.com/guidebottin/le-recyclage-comme-gage-de-developpement-durable/>
- [17] <https://eaueska.ca/limportance-du-recyclage-et-comment-le-faire-correctement/>
- [18] <https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-du-batiment-et-des-travaux-publics#:~:text=L'essentiel%20de%20ces%20d%C3%A9chets,sauvages%20constitue%20une%20pollution%20visuelle>

- [19] <https://batiadvisor.fr/dechets-du-batiment/>
- [20] <https://core.ac.uk/reader/78386600>
- [21] <https://www.infociments.fr/enjeux-societe/un-beton-caoutchouc-anti-bruit-et-anti-vibrations>
- [22] Effet des conditions climatiques sur le comportement des mortiers géo polymères à base de matériaux locaux
- [23] <https://www.batiactu.com/edito/des-pneus-recycles-en-parements-acoustiques-routie-39556.php#:~:text=Le%20b%C3%A9ton%20de%20caoutchouc%20incorpore,autres%20b%C3%A9tons%20!%C3%A9gers%20actuellement%20employ%C3%A9s.>
- [24] [nkore.co/blogs/infos/caoutchouc#:~:text=Le%20caoutchouc%20synthétique%2C%20aussi%20appelé,%2C%20résistance%20à%20l'abrasion.](http://nkore.co/blogs/infos/caoutchouc#:~:text=Le%20caoutchouc%20synthétique%2C%20aussi%20appelé,%2C%20résistance%20à%20l'abrasion.)
- [25] <https://www.wedressfair.fr/matieres/caoutchouc-recycle.>
- [26] Hamlaoui Ammar (influence des granulats de déchet de caoutchouc sur les propriétés physico -mécaniques et durabilité de brique de terre crue) Mémoire demister.
- [27] [2003] [https://www.wipo.int/wipo\\_magazine/fr/2021/04/article\\_0006.html](https://www.wipo.int/wipo_magazine/fr/2021/04/article_0006.html).
- [28] loukriz seddik (caracterisation d'un composite prepare a base de platre ) Mémoire demister.
- [29] Fiche technique <http://amoudacement.com/produits/al-esses/>
- [30] <https://pin.it/wOk2MWe>
- [31] [https://ft.univtlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/tp/masse\\_volumiques\\_granulats.pdf](https://ft.univtlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/tp/masse_volumiques_granulats.pdf) « le dernier modification 02/12/2007 06:23:15 ».
- [32] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Test\\_de\\_Blaine#cite\\_note-1](https://fr.wikipedia.org/wiki/Test_de_Blaine#cite_note-1) « La dernière modification de cette page a été faite le 8 janvier 2023 à 20:22 ».