



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET**  
**POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**  
**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES**

**MEMOIRE DE MASTER ACADEMIQUE**

**Filière : Génie Civil**

**Spécialité : Matériaux en Génie Civil**

**Thème**

***Recyclage du déchet de pneus pour la confection de béton léger***

**Réalisé par :**

M<sup>me</sup>: IGUEDERZENE Amel

M<sup>elle</sup> : LAIB Nadia

Soutenues publiquement le 01/07/2018 devant le jury composé de :

M <sup>me</sup> : RABEHI Bahia	MCA	UMBB	Promo trice.
M <sup>r</sup> : GHERNOUTI Youcef	Professeur	UMBB	President.
M <sup>r</sup> : BOUCHUIKA Abdennour	MAA	UMBB	Examineur.
M <sup>r</sup> : TAZROUT Mansour	MCA	UMBB	Examineur.

**PROMOTION : 2017-2018**

## *Remerciement*

Une mention spéciale revient à notre promotrice **M<sup>eme</sup>. RABEHI B** pour sa disponibilité et ses conseils qui nous ont permis toujours de poser des nouvelles questions et ainsi d'avancer dans notre projet.

Nous ne manquerons pas d'adresser nos remerciements à monsieur **AKSAS H**, chef département génie des procédés (**FSI**) et sa secrétaire **M<sup>elle</sup>. DIGUER M** pour ses aides.

Nos remerciements sincères vont à l'entreprise Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction / Groupe **L.N.H.C** Oued Smar, à tous les employés qui y travaille, de nous avoir permis d'effectuer notre projet de fin d'études et de nous avoir confié des responsabilités pour cette étude qui nous a permis de continuer notre formation.

Nous tenon à remercier monsieur **DRISS.M** chef département matériaux(**L.N.H.C**), pour sa disponibilité et ses conseils pour avancer dans notre projet.

## *Dédicaces*

Nous dédions ce modeste travail avec grand amour, sincérité et fierté :

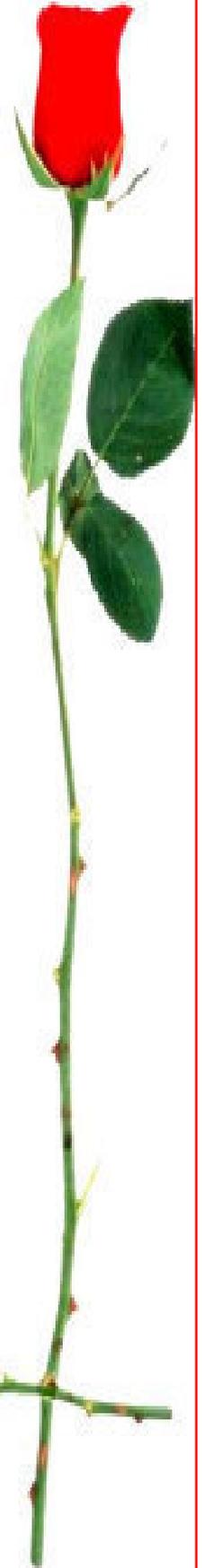
- A nos chères familles
- A nos chers professeurs en témoignage de la fraternité, nos souhaits de bonheur, de santé et de succès.
- A tous nos amis.
- A Tous ceux qui ont contribué à sa réalisation de près ou de loin.

Tout les étudiant de département génie des procédés et plus particulièrement le groupe MMGC 16

*Lynda*

*ET*

*Nadia*



## Liste des photos

<b>Photo I.01</b>	Granulats concassés	08
<b>Photo I.02</b>	Granulats roulés	08
<b>Photo II.01</b>	Une décharge d'ordures à l'ouest d'Alger 30/04/2013	18
<b>Photo.III.01</b>	Malaxeur du béton	42
<b>Photo IV.01</b>	Essai d'affaissement au cône d'Abrams	44
<b>Photo IV.02</b>	Essai de la masse volumique du béton à l'état frais	46
<b>Photo IV.03</b>	Essai de surfacage et de la résistance à la compression	49
<b>Photo IV. 04</b>	Essai de la résistance à la traction par flexion	50
<b>Photo IV. 05</b>	Appareil à ultrason	53
<b>Photo IV. 06</b>	Préparation de l'éprouvette	53
<b>Photo IV. 07</b>	Essai la vitesse ultra son	53

## Liste des tableaux

<b>Tableau III.01</b>	Caractéristique physique du ciment CEM II 42.5	31
<b>Tableau III.02</b>	La composition chimique ciment CEM II 42.5	31
<b>Tableau III.03</b>	La composition minéralogique du ciment CEM II 42.5	32
<b>Tableau III.04</b>	Caractéristiques mécaniques du ciment CEM II 42.5	32
<b>Tableau III.05</b>	Analyse granulométrique du sable de 0/1 BOUSSAADA	33
<b>Tableau III.06</b>	Analyse granulométrique du sable 0/4 BOUZEGZA	33
<b>Tableau III.07</b>	Valeur de module de finesse	34
<b>Tableau III.08</b>	Valeurs des équivalents des sables&du bleu de Méthylène	35
<b>Tableau III.09</b>	Valeurs des masses volumiques	35
<b>Tableau III.10</b>	Valeurs de Friabilité	35
<b>Tableau III.11</b>	Analyse granulométrique du gravillon 3/8 BOUZEGZA	36
<b>Tableau III.12</b>	Analyse granulométrique du gravillon 8/15 BOUZEGZA	36
<b>Tableau III.13</b>	Valeurs Des masses volumiques	36
<b>Tableau III.14</b>	Propretés des gravillons	37
<b>Tableau III.15</b>	Coefficient D'aplatissement	37
<b>Tableau III.16</b>	Coefficient LA (Los-Angeles)	37
<b>Tableau III.17</b>	Analyse granulométrique du recyclât	38
<b>Tableau.III.18</b>	la composition chimique de recyclât des pneus	39
<b>Tableau III.20</b>	L'influence de la température sur le déchet	40
<b>Tableau III.21</b>	Composition du mélange	41
<b>Tableau IV.01</b>	Affaissement de différente composition de béton	44
<b>Tableau IV.02</b>	Masse volumique de différente composition de bétons à l'état frais	46
<b>Tableau IV.03</b>	Masses volumiques de différente composition de béton à l'état durci	47
<b>Tableau IV.04</b>	Résistance à la compression	49
<b>Tableau IV.05</b>	Résistance à la traction par flexion	51
<b>Tableau IV.06</b>	Vitesse ultra sonique a28 jours	54
<b>Tableau. IV.07</b>	L'effet de la température sur le béton	56
<b>Tableau. IV.08</b>	L'effet du milieu agressif sur le béton	60
<b>Tableau. IV.09</b>	la perte de masse	61

## Liste des figures

<b>Fig I.01</b>	Schéma représentatif d'un béton frais	3
<b>Fig I.02</b>	Les constituants du béton	11
<b>Fig I.03</b>	Préparation du béton	12
<b>Fig II.01</b>	La chaîne du recyclage du produit au produit en passant par le déchet	18
<b>Fig II.02</b>	Schéma représentatif d'un pneu	20
<b>Fig III.01</b>	Fuseaux granulaire des différents types de sable	34
<b>Fig III.02</b>	Courbe d'analyse granulométrique de différents granulats	38
<b>Fig.III.03</b>	La composition minéralogique de recyclât des pneus	39
<b>Fig IV.01</b>	Influence de pourcentage de GC sur l'Affaissement	45
<b>Fig IV.02</b>	Influence de pourcentage de GC sur de la masse volumique à l'état frais	46
<b>Fig IV.03</b>	Influence de pourcentage de GC sur la masse volumique à 7 jours	47
<b>Fig IV.04</b>	Influence de pourcentage de GC sur la masse volumique à 28 jours	48
<b>Fig IV.05</b>	Influence de pourcentage de GC sur la résistance à la compression à 7j	49
<b>Fig IV.06</b>	Influence de pourcentage GC sur la résistance à la compression à 28j	50
<b>Fig IV.07</b>	Influence de pourcentage GC sur la résistance à la traction par flexion à 7j	51
<b>Fig IV.08</b>	Influence de pourcentage GC sur la résistance à la traction par flexion 28 j	52
<b>Fig IV.09</b>	Influence de pourcentage GC sur la vitesse ultra sonique a28 jours	54

## **LISTE DES ABRIVIATIONS**

**DMA** : Déchets ménagers et assimilés

**DAE** : Déchets des Activités Economiques

**DD** : Déchets dangereux

**DI** : Déchets inertes

**ANDRA** : Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs

**PUR** : Pneus usagés réutilisables

**PUNR** : Pneus usagés non réutilisables

**SRP** : Les broyeurs de petite capacité

**MTB**: Mor Thane Business

**BAT**: Type de granulateur

**EHP**: Heath Perspectives

**BO** : Béton ordinaire

**MF**: Module de finesse

**ACCP**: L'association canadienne du ciment portland

**GC** : granulat du caoutchouc

# TABLE DES MATIERES

Remerciements

Dédicaces

Liste des photos

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

## PREMIERE PARTIE-RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

### CHAPITRE I : APERÇU SUR LE BÉTON ORDINAIRE

I.1. Béton .....	4
I.2. Définition d'un béton .....	4
I.3. Les constituants des bétons .....	5
I.3.1. Le ciment .....	5
I.3.1.1. Définition .....	5
I.3.1.2. Les états de ciment .....	5
I.3.1.3. La fabrication et les constituants de ciment .....	5
I.3.2. Les granulats .....	6
I.3.2.1. Définition .....	6
I.3.2.2. Familles des granulats .....	6
I.3.2.3. Caractéristique recherchés pour les granulats .....	9
I.3.3. Les adjuvants .....	9
I.3.3.1. Définition .....	9

I.3.3.2.Rôle des adjuvants .....	9
I.3.3.3.Les types des adjuvants .....	10
I.3.4.Eau de gâchage.....	10
I.3.4.1.Types d'eau.....	10
I.3.4.2.Qualité de l'eau requise pour la confection des pâtes de ciment.....	11
I.3.5.Propriétés de béton ordinaire .....	11
I.3.5.1.A l'état frais .....	11
I.3.5.2.A l'état durci.....	12
I.3.6.Formulation des bétons .....	12
I.3.7.L'impact du béton ordinaire sur l'Environnement.....	12
I.3.8.Classification des bétons .....	12
I.3.8.1.Selon la masse volumique .....	12
I.3.8.2.Selon la résistance mécanique .....	14
I.3.8.3.Autre classement.....	15
I.3.9.Les avantages du béton .....	15
I.3.10.Les inconvénients des béton.....	15
I.3.11.Domaine d'application des bétons .....	15
I.3.12.Conclusion.....	16

## **CHAPITRE II : RECYCLAGE DE DÉCHET DE PNEAUS**

II.1.Introduction .....	17
II.2.Définitions .....	17
II.2.1. Recyclage.....	17
II.2.2.Déchets .....	18
II.2.2.1.Calcification des déchets .....	19
II.2.3.les pneus.....	20
II.2.3.1.Définition de pneu .....	20

II.2.3.2. Recyclage des pneus.....	21
II.2.3.3. Type des pneus usages .....	21
II.2.3.4. La valorisation des pneus usagés.....	22
II.2.3.5. Domaine d'application des matières au recyclage des pneumatiques usagés .....	22
II.4. La taille des granulats des pneus .....	23
II.5. Les machine pour le recyclage pneu.....	23
II.6. Avantages du recyclage .....	23
II.6.1. Protection de l'environnement.....	24
II.6.2. Préservation des ressources.....	24
II.6.3 Une question d'image.....	24
II.6.4. Soutenir l'économie locale .....	24
II.7. Inconvénients du recyclage.....	24
II.7.1. Coût du recyclage .....	25
II.7.2. Prix des matières .....	25
II.7.3. Épuisement des ressources.....	25

## DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

### CHAPITRE III : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPRMENTALES

III .1. Objectif du travail.....	2	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III .2. Méthodologie pratique .....	29	
III .2.1. Etape 1 .....	29	
III .2.2. Etape 2 .....	29	
III .2.3. Etape 3 .....	30	
III .2.4. Etape 4.....	30	
III .3. Caractérisation des matériaux.....	30	
III .3.1. Caractéristiques des constituants .....	30	

III .3.1. 1. Le ciment .....	30
III .3.1. 2. Identification des granulats .....	33
III .4.Caractéristiques de recyclât des pneus .....	37
III .4.1.Analyse granulométrique.....	37
III .4.2.la composition chimique.....	39
III .4.3.la composition minéralogique (DRX) .....	39
III .4.4.Essais thermiques .....	40
III.5 .Interprétations des résultats .....	41
III.6.Formulation des différents bétons.....	41
III.6.Formulation des différents bétons.....	

## **TROISIEME PARTIE : EXPLOITATION DES RÉSULTATS**

### **CHAPITRE IV : RESULTATS ET INTREPRETATIONS**

IV. Propriété des bétons.....	44
IV.1 Résultats à l'état frais.....	44
IV. 1.1. Affaissement au cône d'Abrams (NF EN 12350-2).....	44
IV. 1.2.Masse volumique (NF EN 12350-6) .....	45
IV.2.Résultats à l'état durci à 7 et 28 .....	47
IV.2.1.Masses volumiques.....	47
IV.2.2. Résistance à la compression .....	48
IV.2.3. Résistance à la traction par flexion.....	50
IV.2.4. Auscultation sonore .....	53
IV.2.5. L'effet de la température sur le béton .....	55
IV.2.5.1.La résistance au feu .....	55
IV.2.5.2.l'effet de la température sur la microstructure du béton.....	55
IV.2.6.Essai de durabilité chimique .....	59
IV.2.6.1.Les attaques acides des bétons .....	59

IV.2.6.2.Examen visuel.....	60
IV.2.6.3.Perte de masse.....	61
Conclusion générale.....	64
Recommandation et Perspectives.....	65

*Introduction*

*Générale*

# Introduction générale

---

## Introduction générale

La première utilisation du béton (au sens large) remonterait aux premières cités de l'ancienne Mésopotamie (à partir de 3000 avant J.-C). Ce béton est composé essentiellement d'argile, de sable, de gravier et d'eau. Il est connu sous le nom de béton de terre. Mais ce premier béton se dégrade plus rapidement que la pierre, c'est pourquoi les vestiges de cette époque sont rares.

En 1818, le français Louis Vicat obtient une chaux artificielle supérieure en faisant calciner de la craie ou de la chaux pure avec de l'argile. La chaux hydraulique artificielle est née. Sous cette impulsion, l'usage du béton se généralise et de nombreuses avancées successives scellent son succès.

Entre 1867 et 1891, Joseph Monier dépose plusieurs brevets et invente le "ciment armé", amenés à devenir le béton armé sous l'impulsion de François Hennebique ou encore d'Auguste Perret au début du XXème siècle.

Aux alentours de l'Ier siècle après J.-C, les romains s'emparent de cette technique en l'améliorant. Ils ajoutent à la chaux de la pouzzolane ou des tuileaux concassés et obtiennent un béton extrêmement résistant. [1]

Dans les pays en développement bien que l'épuisement de ressource naturel de granulats ne se pose pas actuellement, l'accumulation de déchets non biodégradables (pneus usagés, bouteilles et ciment durci) constitue une source potentielle de problèmes environnementaux et économiques majeurs. Cette accumulation est liée à l'explosion démographique des pays en voie de développement accompagnée d'une urbanisation incontrôlée qui favorisent une production importante de déchets (pneus usagés, bouteilles, bidons, récipients divers retenant de l'eau stagnante) qui représentent aussi un danger sanitaire. 2

L'Algérie importe en moyenne 49,62 milliers de tonnes de pneumatiques en caoutchouc, selon l'Agence Nationale de Promotion du Commerce Extérieur (2004). Ces déchets issus du développement économique notamment des secteurs industriels et de transport peuvent être restitués sous une autre forme sans les abandonner dans la nature. Il convient de valoriser ces déchets lorsque le recyclage provoque une pollution de

# Introduction générale

---

l'environnement moindre qu'un autre mode d'élimination. Ainsi renoncera-t-on à valoriser les pneus usagés non réutilisables dans le béton. [2]

Pour atteindre ce but, nous avons divisé le présent travail en quatre parties comme il est indiqué ci-dessous :

- ✚ La première partie traite une synthèse bibliographique elle se présente en deux chapitres, un chapitre sur le béton ordinaire et l'autre chapitre sur le recyclage de déchet des pneus.
- ✚ la deuxième partie concerne la caractérisation des matériaux utilisés (ciment, sable, gravier, recyclât) pour la confection d'un béton ordinaire à base de déchet des pneus et procédures expérimentales de différents dosages.
- ✚ la troisième partie c'est l'exploitation des résultats.
- ✚ En fin une conclusion générale et perspective clôturant notre travail.

# *Chapitre I*

*Aperçu générale sur le béton  
ordinaire*

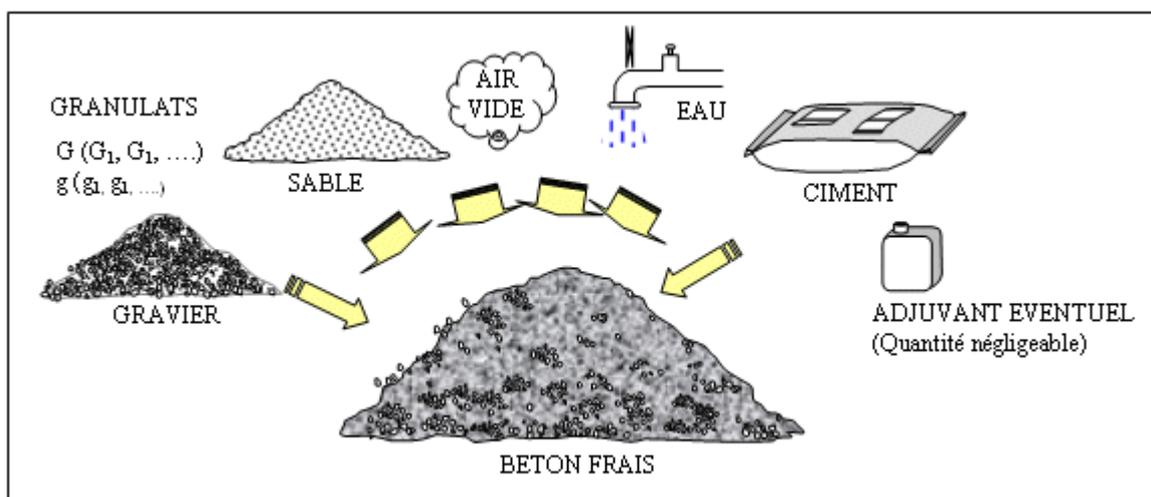
Le béton c'est le matériau le plus utilisé dans les voies, et la construction, grâce à ses propriétés à savoir la facilité de moulage, la rigidité, la résistance à la compression et la tenue au feu. Il existe plusieurs types de béton tel que: béton hydraulique, béton de fibre, béton précontraint...etc. Le béton est un matériau hétérogène, à des caractéristiques physicochimiques et mécaniques assez complexe. Il est composé essentiellement de: granulats, ciment et d'eau de gâchage. Chacun de composants joue un rôle bien précis dans le mélange.

Les granulats, le sable et le gravier constituent les composants inertes du béton. Ils contribuent à l'amélioration de la compacité, de l'homogénéité, de l'ouvrabilité et de la résistance du béton. Notre choix doit s'orienter vers des granulats durs, propres, de granulométrie continue. [3]

## I.1. Béton

### I.2. Définition d'un béton

Le béton est un matériau obtenu en gâchant dans un malaxeur des proportions convenables de ciment, d'eau et de granulats avec éventuellement un ou plusieurs adjuvants. Les différents granulats ( $D > 4\text{mm}$ ) forment le squelette granulaire du béton. Le ciment, l'eau et les adjuvants forment la pâte liante. Lorsqu'il n'y pas de squelette granulaire, on parle de «pâte pure de ciment». [4]



**Fig I.1.** Schéma représentatif d'un béton frais.

### I.3. Les constituants des bétons [5]

#### I.3.1. Le ciment

##### I.3.1.1. Définition

Les ciments usuels sont appelés aussi liant hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau.

##### I.3.1.2. Les états de ciment

###### ❖ Ciment anhydre

La poudre de ciment avant son gâchage avec l'eau.

###### ❖ Ciment hydraté

Les composés insolubles dans l'eau.

###### ❖ Pâte fraîche de ciment

Le mélange d'eau et de ciment anhydre avant que l'hydratation n'ait conduit à en faire un solide appelé ciment durcie.

##### I.3.1.3. La fabrication et les constituants de ciment

Calcaire (80%) + argile (20%) → clinker + gypse (5%) → ciment

Ciment :

- Le silicate tricalcique :  $3\text{CaO SiO}_2$       C3S      50 à 70% du clinker
- Le silicate bicalcique :  $2\text{CaO SiO}_2$       C2S      10 à 30% du clinker
- L'aluminate tricalcique :  $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$       C3A      2 à 15% du clinker
- L'alumino-ferrite tétra calcique :  $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$       C4Af      5 à 15% du clinker

### I.3.2. Les granulats

#### I.3.2.1. Définition

Ensemble de grains minéraux ou de petits morceaux de roches de dimensions comprises entre 0 et 125 mm destinés à réaliser des ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Leur nature et leur forme varient en fonction des gisements et des techniques de production. Ils peuvent être mis en œuvre, soit directement sans liant : ballast des voies de chemin de fer, couches de fondation des routes, remblais soit en les solidarissant avec un liant : ciment pour le béton, bitume pour les enrobés.

#### I.3.2.2. Familles des granulats

##### ❖ Selon les dimensions

La norme expérimentale XP18-540 distingue six familles de granulats caractérisées par les dimensions extrêmes  $d$  et  $D$ .

- **Les fillers**

$0/D$  avec  $D < 2\text{mm}$  et au moins 70 % de passant à 0.063mm.

- **Les sablons**

$0/D$  avec  $D < 1\text{mm}$  et au moins 70 % de passant à 0.063mm.

- **Les sables**

$0/D$  avec  $1 < D \leq 6,3\text{ mm}$ .

- **Les graves**

$0/D$  avec  $D > 6,3\text{ mm}$ .

- **Les gravillons**

$d/D$  avec  $d \geq 1\text{mm}$  et  $D \leq 125\text{ mm}$ .

- **Les ballasts**

d/D avec  $d \geq 25\text{mm}$  et  $D \leq 50\text{ mm}$ .

- ❖ **Selon la nature**

Il existe plusieurs types de granulats, qui se différencient par leur composition chimique et physique, en particulier la granulométrie et la dureté géologie locale détermine les types de granulats disponibles sur un marché donné.

- **Granulats naturelles**

Les granulats sont extraits dans des carrières et se partagent en deux grandes familles :

- ✓ les roches meubles qui proviennent de la sédimentation de dépôts fluviaux ou glaciaires. Elles peuvent être exploitées hors d'eau, en gradins de 5 à 8 mètres de hauteur, ou alors en eau en utilisant des dragues. Ces granulats nécessitent moins de concassage mais doivent être criblés afin d'obtenir les granulométries souhaitées.
- ✓ Les roches massives qui sont abattues à l'explosif, avant d'être concassées, criblées puis parfois lavées. Ces granulats sont ensuite principalement destinés au terrassement, à la fabrication d'enrobés, de blocs ou de parpaings, mais aussi de plus en plus à l'élaboration du béton.

- **Granulats artificielles**

Le recyclage des démolitions du BTP (asphalte ou bétons recyclés) devient une source importante de matériaux bruts. Ainsi, la gamme des produits proposés dépend de la nature géologique des matériaux extraits (alluvionnaire ou roche massive) puis du type de traitement opéré, roulé ou concassé. Les granulats sont ensuite utilisés à diverse fins. [6]

- ❖ **Selon la forme**

- **Les granulats concassés**

Les carrières de roches massives se trouvent généralement à flanc de collines. L'exploitation consiste à avancer dans le gisement à l'horizontale. Le traitement des roches se fait essentiellement par concassage et criblage suivant des coupures normalisées.



**Photo I.1.** Granulats concassés.

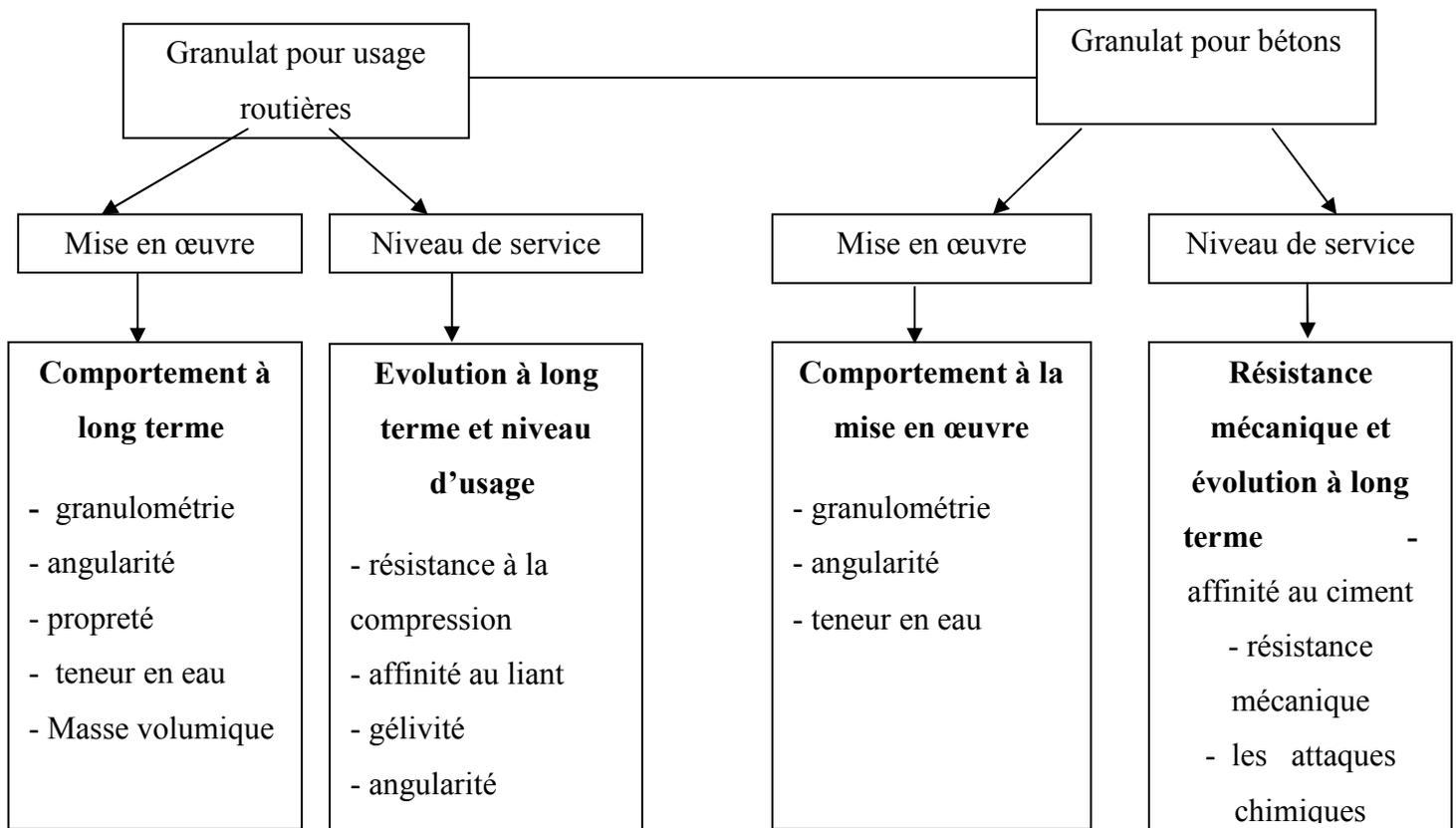
- **Les granulats roulés**

Les granulats alluvionnaires roulés de formes généralement arrondies, proviennent d'anciens lits de rivières. Pour ce qui nous concerne c'est L'Agout, le Dadou et le Tarn. Le gisement est généralement peu profond et son exploitation va consister à extraire une couche d'une épaisseur prédéfinie. Le traitement des matériaux extraits se fait par débouillage, lavage et criblage suivant des coupures normalisées.



**Photo I.2.** Granulat roulé.

### I.3.2.3 Caractéristiques recherchées pour les granulats



### I.3.3. Les adjuvants

#### I.3.3.1. Définition (EN 934-2)

Sont des produits solubles dans l'eau qui, incorporé au béton à des doses qui doivent être inférieures ou égales 5% du poids de ciment, permettent d'améliorer certaines de ses propriétés.

#### I.3.3.2. Rôle des adjuvants

Ce sont les adjuvants les plus utilisés. Ils permettent, à ouvrabilité équivalente, de diminuer la quantité d'eau de gâchage des bétons et d'améliorer ainsi les qualités du béton durci.

#### I.3.3.3. Les types des adjuvants

- ❖ **Les accélérateurs ou retardateurs de prise et les accélérateurs de durcissement**

Ils agissent, comme leur nom l'indique, sur la vitesse de réaction d'hydratation.

**❖ Les entraîneurs d'air**

Qui ont pour fonction de modifier la teneur en air du béton durci et sont utilisés pour prévenir les effets du gel.

**❖ Les hydrofuges de masse**

Qui améliorent l'étanchéité du béton en bouchant les pores créés par l'air occlus.

**❖ Les rétenteurs d'eau**

Qui réduisent la perte d'eau en diminuant le ressuage.

**I.3.4.Eau de gâchage**

Associée au ciment, l'eau remplit deux fonctions : d'une part elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pâte.

**I.3.4.1.Types d'eau****❖ Eau liée****▪ Eau liée chimiquement**

Elle entre dans la composition chimique de l'hydrate. C'est ainsi que le C3S s'hydrate en présence d'eau pour donner un hydrate de composition  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  noté en industrie cimentière C-S-H.

**▪ Eau liée physiquement**

Elle est piégée à l'intérieur des pores de l'hydrate.

Ces deux types d'eau sont nécessaires à la constitution de l'hydrate.

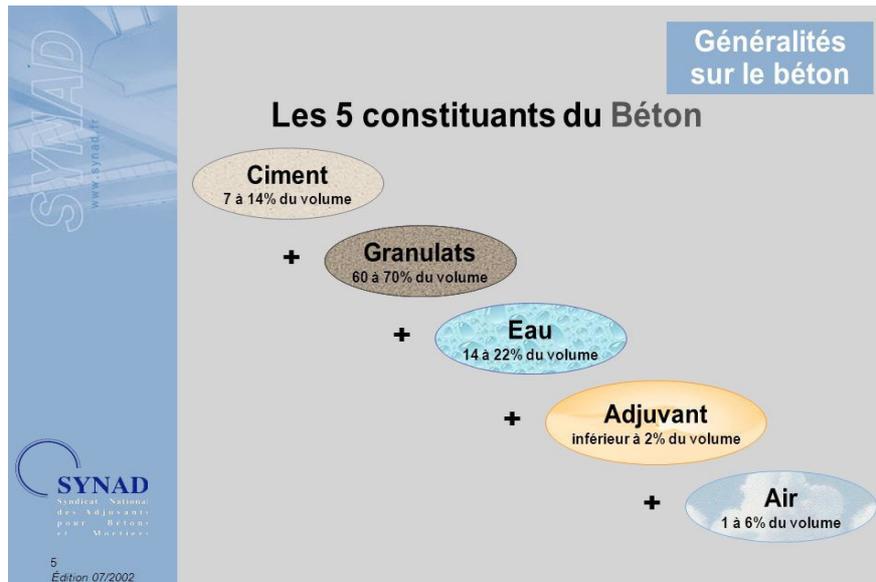
**❖ Eau libre**

Cette eau n'ayant pas participé à la réaction d'hydratation.

L'eau libre est cependant susceptible de migrer à l'intérieur de la pâte de ciment et de certaines conditions, de s'évaporer.

### I.3.4.2. Qualité de l'eau requise pour la confection des pâtes de ciment

L'eau potable convient pour la confection des pâtes de ciment .s'il n'est pas possible d'utiliser de l'eau potable, il faut vérifier que l'eau disponible remplit les prescriptions de la norme EN 1008 : concentration en matière en suspension et sels dissous.



**Fig I.2.**Les constituants du béton.

## I.3.5. Propriétés de béton ordinaire [7]

### I.3.5.1.A l'état frais

- Masse volumique
- Essai d'affaissement
- Temps d'écoulement
- Pourcentage d'air occlus
- Essai Vébé

### I.3.5.2.A l'état durci

- Résistance à la compression

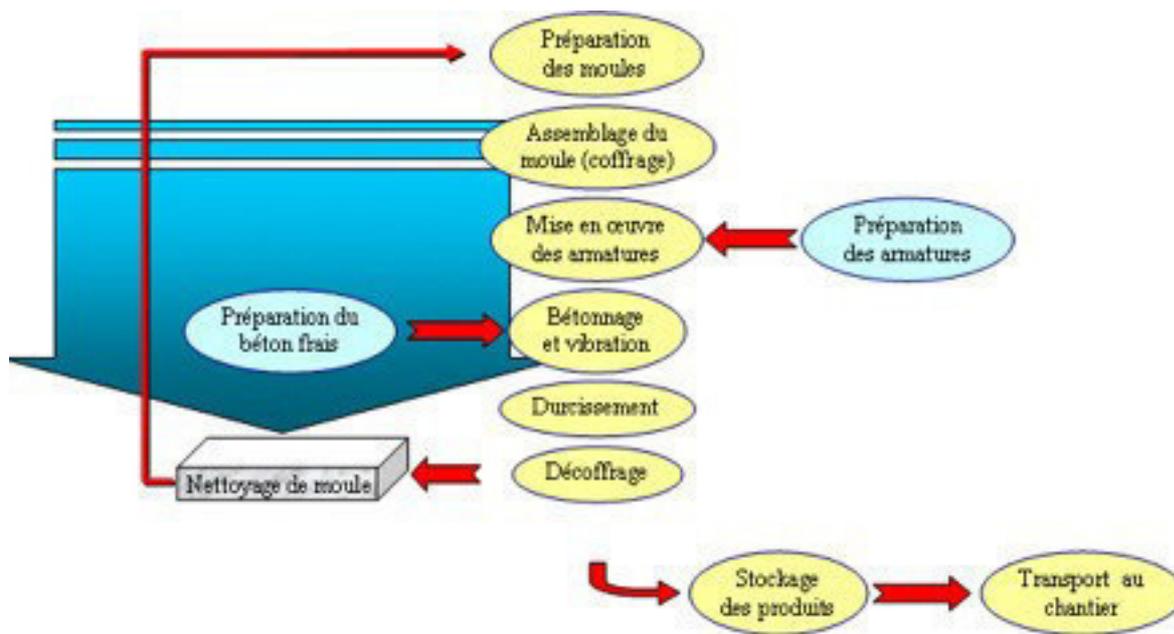
- Résistance à la flexion
- Résistance à la traction par fendage
- Mesure de la dureté de surface
- Auscultation sonique

### I.3.6. Formulation des bétons [8]

La formulation du béton doit permettre de respecter les exigences de consistance adaptée à sa Des qualités de résistance à différentes échéances, les plus souvent 28 jours.

Au moindre cout, le plus souvent donc à partir d'un dosage en ciment le plus faible possible tout en vérifiant que le dosage minimal est atteint.

Il existe des logiciels qui permettent de traiter tout la partie non expérimentale du travail de formulation. même avec de tels outils, il est indispensable de comprendre comment les différents paramètres sont trop nombreux et trop variables pour qu'ils puissent être pris en compte dans toute leur complexité (sans compter que des produits comme les adjuvants sont constantes évolution). c'est l'objet des paragraphes qui suivent de présenter ces paramètres de manière à rendre d'autant plus efficaces les outils de calcul et les essais qui demeurent incontournables pour celui qui cherche à résoudre un problème de formulation de béton.



**Fig I.3.**Préparation du béton.

### I.3.7.L'impact du béton ordinaire sur l'Environnement

Environ 80% des émissions de CO<sub>2</sub> d'un bâtiment proviennent de son exploitation tout au long de sa durée de vie, a expliqué Christophe Lévy, directeur de la Recherche Granulats et Bétons de Lafarge lors d'un point presse. Il est donc nécessaire de repenser les systèmes constructifs pour concevoir des bâtiments moins consommateurs d'énergie. Néanmoins, la fabrication elle-même du béton et en particulier du ciment requière une quantité d'énergie non négligeable.

La principale utilisation d'énergie vis-à-vis du béton vient d'une part, de son acheminement (transport en camion du béton ou des matières premières) et d'autre part de sa confection (mazout ou autre combustible pour cuire la roche en ciment). À cela s'ajoute de la consommation électrique pour brasser mécaniquement de grandes quantités de bétons. Toutes ces consommations d'énergies induisent donc une production plus ou moins forte de CO<sub>2</sub>. En outre, les réactions chimiques au sein des composés de la roche calcaire (le fameux carbonate de calcium, nécessaire à la fabrication du ciment) produisent également du CO<sub>2</sub> selon la réaction suivante :

Carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) → chaux (CaO) + dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

Voyons cela de plus près :

- 1 mol de CaCO<sub>3</sub> produit par calcination 1 mol de CO<sub>2</sub>.
- Ce qui nous donne en masse : 40 + 12 + 3×16 = 100 g de CaCO<sub>3</sub> → 12 + 2×16 = 44 g de CO<sub>2</sub>.
- Si l'on suppose, comme matière première, un calcaire contenant 80% de carbonate de calcium (le CaCO<sub>3</sub>) on aura alors :

100 g de calcaire → 44×80/100 = 35,2 g de dioxyde de carbone donc 1 kg de calcaire → 0,35 kg de CO<sub>2</sub>.

La fabrication du ciment rejette donc des quantités non négligeables de dioxyde de carbone : la production d'une tonne de ciment entraîne déjà l'émission d'environ 0,35 tonnes de CO<sub>2</sub> rien que par la calcination des matières premières. Et c'est ne pas compter la pollution atmosphérique par les poussières de ciment et l'énergie nécessaire à son élaboration. Alors, écologique le béton ? Un petit schéma pour illustrer :

La fabrication du ciment est une importante source de gaz à effet de serre; elle est à l'origine d'environ 7 à 8 % des émissions totales de CO<sub>2</sub> à l'échelle du globe ! En effet, chaque tonne de ciment produite requiert l'équivalent de 60 à 130 kg de fuel (ou son équivalent) et une moyenne de 210 kWh. D'un pays à l'autre, la consommation de ciment par habitant varie fortement en fonction des profils géographiques (tunnels et ponts dans les zones montagneuses), des contraintes sismiques (Grèce, Turquie) et atmosphériques (autoroutes en béton dans les pays du nord), des habitudes locales, des densités de population et du cycle de croissance. La moyenne européenne était en 2004 (source Cembureau) de 528 kg par habitant, avec des pics à 1221 kg pour le Luxembourg, 1166 kg pour l'Espagne et 963 kg pour la Grèce et des plus bas pour la Suède (192 kg), la Lettonie (200 kg) et le Royaume Uni (216 kg).

De plus, à l'aube du XXIème siècle, le Béton comme matériau de construction s'avère inadaptée, tant en termes de respect de l'environnement qu'en termes de confort et d'agrément. En tant que matériau de construction, son défaut le plus important est sans aucun doute son vieillissement. Il entraîne des altérations nombreuses et parfois importantes, qui peuvent nuire à la stabilité du béton. [9]

### **I.3.8.Classification des bétons**

#### **I.3.8.1.Selon la masse volumique**

- ❖ Béton très lourd > 2500 Kg/ m<sup>3</sup>
- ❖ Béton lourd 2000 – 2500 Kg/ m<sup>3</sup>
- ❖ Béton léger 500-2000 Kg/ m<sup>3</sup>

#### **I.3.8.2.Selon la résistance mécanique**

- ❖ Béton ordinaire < 50 MPa
- ❖ Béton à haute performance 50- 80 MPa
- ❖ Béton très haute performance 80-150 MPa
- ❖ Béton exceptionnel > 150 MPa

#### **I.3.8.3.Autre classement**

- ❖ Les colorants
- ❖ Le type d'adjuvant

- ❖ La nature de granulat
- ❖ Les exigences de réalisation

### **I.3.9. Les avantages du béton [10]**

- ✓ Plus faible empreinte carbone sur le cycle de vie d'une structure ou d'un pavage
- ✓ Résistance, durabilité, longévité et résilience sans égal.
- ✓ Efficacité énergétique maximisée grâce à sa masse thermique.
- ✓ Durabilité dans tout environnement.
- ✓ Un matériau de construction qui ne brûle pas, ne rouille pas ou ne pourrit pas.
- ✓ Sûreté et sécurité.
- ✓ Il peut être moulé sous toutes formes, couleurs et motifs imaginables.
- ✓ N'émet pas de gaz.
- ✓ Excellente isolation aux vibrations et aux sons.
- ✓ Faibles coûts d'entretien.
- ✓ 100% recyclable; de plus, les matériaux nécessaires pour fabriquer le béton sont abondants dans presque toutes les régions de la planète.
- ✓ Fort durabilité et de faible entretien.

### **I.3.10. Les inconvénients béton**

- ✓ Sa masse volumique est élevée peut atteindre jusqu'à 2600 Kg/m<sup>3</sup>.
- ✓ Elle peut être améliorée facilement son isolation thermique en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux.
- ✓ Dans le cas de modification d'un ouvrage, il aura un prix plus élevé.
- ✓ Risque de ségrégation lors le transport.

### **I.3.11. Domaine d'application des bétons**

Le domaine d'application des bétons est très vaste selon l'endroit et le type de béton, on peut citer :

- ✓ Domaine de génie civil et de travaux publics.
- ✓ Les ponts.
- ✓ La construction maritime.
- ✓ Les centres nucléaires.

**I.3.12. 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.

Cette approche consiste à optimiser l'utilisation des ajouts cimentaires des résidus industriels, afin de remplacer le ciment dans le béton, et d'utiliser les matériaux recyclés pour la réalisation des bétons, ce qui permettra d'augmenter la production de ce dernier à un coût compétitif, et protéger la nature des stocks grandissants des résidus industriels.

# *Chapitre II*

*Récyclage de déchet de pneus*

## **II.1.Introduction**

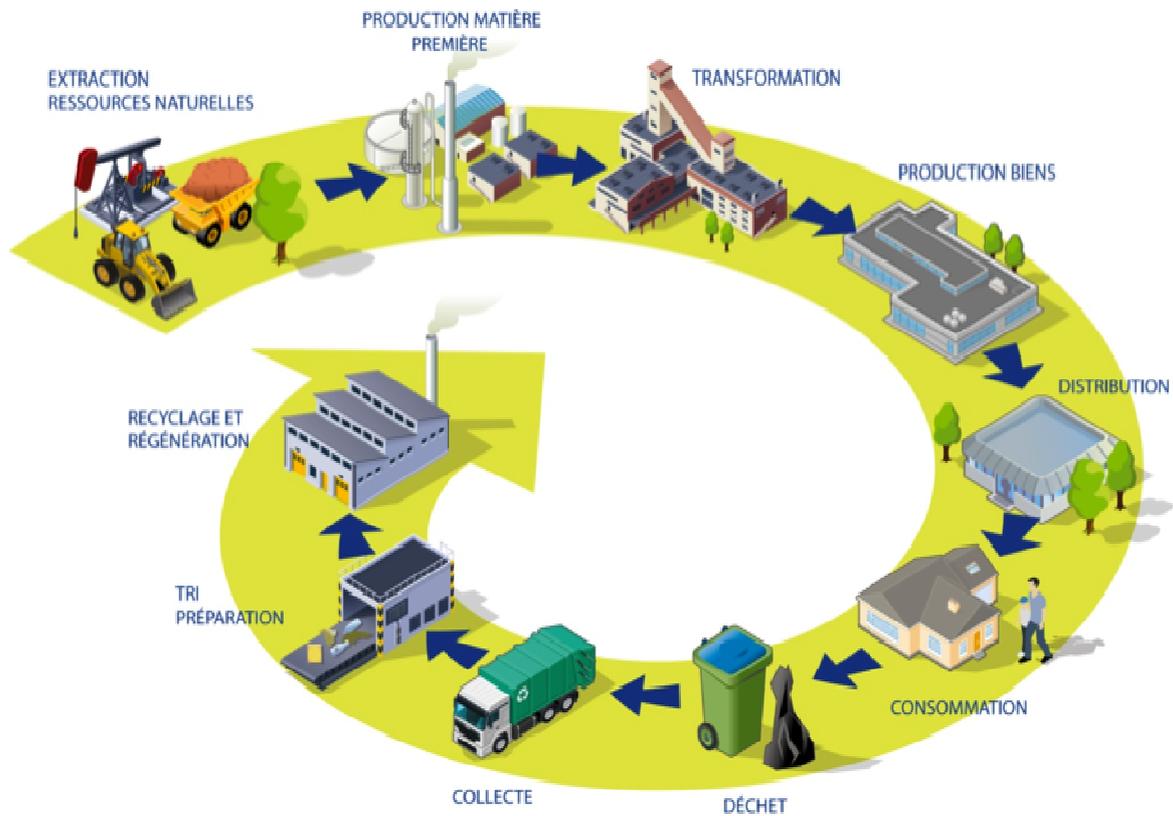
L'évolution des mentalités et de la technique, avec les exigences en termes de protection de l'environnement de plus en plus contraignantes ainsi que la révision des repères économiques inspirés du développement durable font que le recyclage et la valorisation de sous produits industriels constituent désormais un souci qui s'impose à la planète entière.

Ainsi, avec l'ambition du gouvernement Ivoirien de fait de la Côte d'Ivoire un pays émergeant à l'horizon 2020. Cette émergence ne peut se faire sans le développement des infrastructures d'où une exploitation abusive des granulats naturels. En prévision de l'épuisement de ces gisements donc à la pérennisation de cette ressource naturelle et à l'assainissement du cadre de vie et de l'environnement, l'incorporation des déchets non biodégradable (ciment durci, bouteille, pneu usagé et retour de toupie) a été envisagée. De plus, cette valorisation offrira dans un futur proche un débouché économique intéressant pour Les entreprises fabricant ces produits. Cette approche qui participe au processus de développement durable fait partie des thématiques de recherche en cours de développement de deux laboratoires μ Le laboratoire de Géo matériaux et Technologie de l'Habitat de l'UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières de l'université de FELIX Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire) et l'Institut Mécanique et d'Ingénierie –département Génie Civil environnemental (I2M-GCE) de l'université de Bordeaux (France). [11]

## **II.2.Définitions**

### **II.2.1. Recyclage**

Le « recyclage » est la création de nouvelles matières, ou le renouvellement des matières initiales, par le biais du traitement des déchets, (cela comprend le recyclage organique mais pas le recyclage énergétique). Le recyclage des produits en fin de vie passe par l'organisation de filières spécialisées permettant à toutes les entreprises et/ou tous les particuliers de permettre la récupération des déchets. Ci-dessous est représenté un schéma simplifié du processus de recyclage, qui va de la collecte à la fabrication d'un nouveau produit issu des déchets. [12]



**Fig II.1.** La chaîne du recyclage du produit au produit en passant par le déchet.

### II.2.2. Déchet

Est un déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit...etc que son détenteur destine à l'abandon. [13]



**Photo II.1.** Une décharge d'ordures à l'ouest d'Alger 30/04/2013.

### II.2.2.1. Calcification des déchets

#### ❖ Déchets ménagers et assimilés (DMA)

Ce terme regroupe l'ensemble des déchets produits dans le cadre de notre vie quotidienne, emballages, restes, électroménagers, vieux meubles, déchets verts, vieux vêtement

#### ❖ Déchets des Activités Economiques (DAE)

Il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, aux déchets ménagers.

La loi considère qu'ils sont “assimilables aux déchets ménagers“ et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme tels.

#### ❖ Déchets dangereux(DD)

Ils contiennent des éléments toxiques et représentent un réel danger pour la santé et l'environnement. Ce sont les solvants, les vernis, les colles, les goudrons...etc.

Ils font l'objet d'une réglementation particulière et suivent des filières de collecte et de traitement spécifiques.

#### ❖ Déchets inertes (DI)

Ces déchets n'évoluent pas, ne se décomposent pas et ne se dégradent pas. Ce sont les gravats issus de travaux de démolition : briques, béton, terre, vitres...

Ils ne sont pas dangereux, mais compte tenu de leurs volumes et de leurs quantités, ils sont stockés dans des centres spécialisés.

#### ❖ Les autres catégories de déchets

- Déchets d'activités agricoles

Qui proviennent des élevages ou des cultures

- **Déchets d'activités de soins**

Dont certains sont considérés comme à risques

- **Déchets nucléaires**

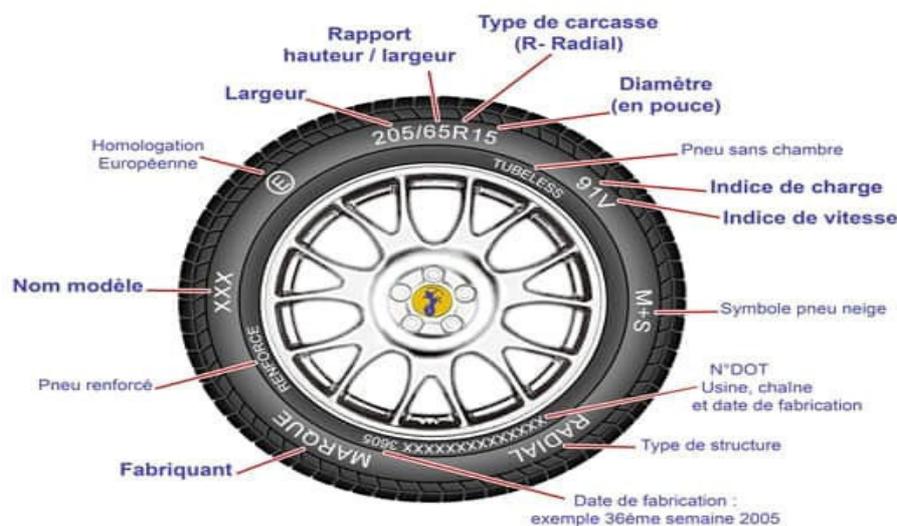
Qui sont placés sous la responsabilité d'un organisme public : l'Andra (Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs). [14]

## II.2.3.les pneus

### II.2.3.1.Définition de pneu

Un pneumatique, ou plus vulgairement un pneu, est composé de gomme de caoutchouc (à base de polymère d'isoprène), d'acier, de textiles et de divers éléments qui renforcent la résistance de la gomme.

Près de 300 milliards d'unités sont produites par an et finissent, plus ou moins vite selon les conditions d'utilisation (kilométrage, vitesse, pression...), par être trop usées pour assurer la sécurité des véhicules. On parle alors de pneus usagés réutilisables (PUR) ou non réutilisables (PUNR) dans le jargon du pneumatique. Se pose alors la question de leur fin de vie. [15]



**Fig II.2.** Schéma représentatif d'un pneu.

### **II.2.3.2. Recyclage des pneus**

Depuis 2003, une directive européenne interdit leur mise en décharge dans le but de favoriser leur valorisation et leur recyclage. De plus, il est bien entendu interdit d'abandonner les vieux pneus dans la nature, où ils défigurent le paysage et, entre-autres, offrent aux moustiques des lieux de développement favorables.

En France, le recyclage des pneus usagés est de la responsabilité des producteurs, rassemblés au sein de l'organisme de valorisation Aliapur. Ainsi, lorsque l'on achète de nouveaux pneus, les garages et centres de pneus sont tenus de récupérer les anciens.

Il en est de même lorsque des pneus usagés sont apportés à ces acteurs, qui peuvent toutefois demander une contribution environnementale. Celle-ci peut varier de quelques dizaines de centimes d'euros (deux-roues) à une centaine d'euros (engin de génie civil). Une fois collectés, les pneus usagés réutilisables sont rechapés.

Le rechapage consiste à remplacer la bande de roulement usagée du pneu pour restaurer ses capacités et permettre sa réutilisation. Cette pratique est surtout utilisée pour les pneus de poids-lourds. [16]

### **II.2.3.3. Type des pneus usages [17]**

Les professionnels du secteur du pneumatique distinguent deux types de pneus usagés

#### **❖ Pneu Usagé Réutilisable (PUR)**

Sous cette dénomination, se cachent tous les pneus usagés pouvant être :

- ✓ Rechapés (concerne surtout les pneus de poids lourds et d'engins de chantier) ;
- ✓ Commercialisé sur le marché de l'occasion ou de l'export (le cas des pneus n'ayant pas atteint la limite d'usure autorisée).

#### **❖ Pneu Usagé Non Réutilisable (PUNR)**

Ce terme désigne un pneu qui ne peut plus assurer la mobilité d'un véhicule en respectant les normes de sécurité.

#### II.2.3.4. La valorisation des pneus usagés

Actuellement, 25% du gisement du caoutchouc et des pneumatiques sont valorisés. Il existe de nombreux modes de traitement :

##### ❖ **Méthodes de valorisation des pneus réutilisables**

Une fois collectés, les pneus usagés réutilisables sont rechapés. Le rechapage des pneus est une opération qui consiste à remettre un pneumatique en état, soit par remplacement de la bande de roulement usée, soit par le remplacement de la bande de roulement et des flancs. Cette opération permet d'augmenter la durée

##### ❖ **Méthodes de valorisation des pneus non réutilisables**

Les pneus usagés non réutilisables ne peuvent pas être rechapés. Mais il est possible de les valoriser de différentes manières :

##### ▪ **Fabrication de poudrette de caoutchouc**

Les pneus sont broyés mécaniquement pour obtenir des granulés. Ces derniers sont ensuite utilisés dans la fabrication de revêtements de sols industriels et sportifs, d'écrans antibruit.

##### ▪ **Fabrication de caoutchouc régénéré**

Les pneus usagés sont soumis à des traitements mécaniques, chimiques et thermiques de façon à obtenir une matière première secondaire de qualité. Elle est ensuite introduite dans des mélanges neufs de caoutchouc.

#### II.2.3.5. Domaine d'application des matières au recyclage des pneumatiques usagés [18]

- ✓ Bassins de rétention ;
- ✓ Câbles ;
- ✓ Ecrans antibruit ;
- ✓ Matériau pour l'étanchéité des sols ;

- ✓ Matériau pour l'isolation phonique ;
- ✓ Matériau pour le renforcement de terrains ;
- ✓ Membranes anti-fissures (usage routier) ;
- ✓ Membranes anti-vibrations (usages ferroviaires) ;
- ✓ Remblais légers ;
- ✓ Revêtements de routes ;
- ✓ Revêtements de sols industriels ;
- ✓ Sols de sécurité pour aires de jeux ;
- ✓ Sols sportifs ou récréatifs ;

#### **II.4. La taille des granulats des pneus**

Production de granulats de taille 0,5 mm à 2,5 mm et des granulats de 2,5 mm à 4 mm et de la poudre de caoutchouc 80 mesh à 120 mesh issue des pneumatiques usagés non réutilisable. Les granulats sont d'une pureté de 99,9% et la poudre de caoutchouc sont d'une pureté de 99,99%. [19]

#### **II.5. Les machine pour le recyclage pneu**

Toute une gamme de machines est disponible pour le recyclage des pneus.

Vous trouverez ainsi la cisaille rotative CRX 2000 pour une réduction de taille allant jusqu'à 50mm. Cette machine permet un traitement simple et aisé des pneumatiques pour un coût à la tonne très économique.

Les broyeurs de petite capacité, modèle standard, renforcé, universel, heavy duty ou SRP conçus par MTB permettent également de traiter un grand nombre de déchets, dont les pneumatiques. Ces machines permettent une réduction de 100 mm à 10 mm en une seule étape selon le type de machine et de grille sélectionnée.

Enfin, pour la granulation et l'affinage des pneus, le granulateur pneu de type BAT permet d'obtenir une granulométrie homogène des pneus pré-broyés, garantissant ainsi une granulation de qualité optimale. [20]

## **II.6. Avantages du recyclage [21]**

### **II.6.1. Protection de l'environnement**

En triant vos déchets, vous devenez le premier maillon de la chaîne du recyclage et contribuez activement au développement durable : le processus de recyclage implique en effet l'utilisation de matières premières secondaires issues de déchets et permet ainsi d'éviter toutes les phases d'extraction et de transformation de la matière première naturelle qui sont polluantes et coûteuses en énergie.

### **II.6.2. Préservation des ressources**

Le recyclage permet de briser la chaîne immuable des ressources transformées en produits qui, en fin de vie, deviennent des déchets qu'il faut éliminer. Une boucle vertueuse est ainsi créée par l'utilisation de matière première issue de déchets à la place de matière première naturelle. Par exemple, une tonne de plastique permet d'économiser 800 kilos de pétrole brut. A une époque où la pénurie des ressources pétrolifères se dessine à moyen terme, une telle économie prend toute son importance.

### **II.6.3 Une question d'image**

Il est avéré que les entreprises œuvrant dans le respect de l'environnement sont perçues beaucoup plus favorablement. La pratique du recyclage permet donc d'améliorer l'image de votre société auprès de vos clients comme du grand public.

### **II.6.4. Soutenir l'économie locale**

Le recyclage favorise l'économie locale et contribue par conséquent à la création d'emplois. Actuellement, quelques 15 entreprises genevoises employant plus de 300 personnes sont actives dans le domaine de la gestion des déchets.

## **II.7. Inconvénients du recyclage [22]**

Nous entendons toujours que nous devons recycler pour aider à sauver la planète, et tout le monde a toujours explique les avantages de jeter ces bouteilles en plastique dans un conteneur de recyclage plutôt que dans la poubelle. Mais personne ne parle jamais vraiment

l'inconvénient du recyclage. Bien qu'il y a des avantages importants à réutiliser nos déchets, il y a quelques inconvénients aussi bien.

### **II.7.1. Coût du recyclage**

Le coût du recyclage est beaucoup plus élevé que de jeter tous les déchets dans une décharge. Selon le San Jose, en Californie, liaison du gouvernement, il en coûte la ville seulement 28 \$ par tonne de déchets à mettre en décharge, tandis que le recyclage coûte près de 150 \$ par tonne. La différence de coût est stupéfiante, et il n'est pas la ville ramassé l'onglet ; C'est les contribuables. La ville doit également payer des entreprises privées à venir prendre des matériaux recyclés de leurs mains.

### **II.7.2. Prix des matières**

Matériaux recyclés coûtent plus cher que des matériaux « vierges »--qui n'ont pas encore été recyclés. Il a également causé les prix de ces matières vierges d'augmenter. Étant donné que les matériaux recyclés sont devenues facilement disponibles et les techniques deviennent plus raffinés, le prix du papier est passée de 10 \$ à 15 \$ par tonne à partir de 100 \$ à 200 \$ la tonne, soit une hausse de près de 1000 pour cent dans le prix, selon l'Environmental Health Perspectives (EHP). Plastique et l'aluminium ont vu des gains similaires dans le prix, en hausse de 100 \$ à 150 \$ par tonne à près de 200 \$ à 300 \$ / tonne pour les matières plastiques et de 640 \$ à 740 \$ par tonne de 840 \$ à 1060 \$ par tonne d'aluminium.

### **II.7.3. Épuisement des ressources**

Les plus grands gens déclarent pour recyclage, c'est qu'il nous sauve de nos ressources naturelles. Toutefois, les éléments nous sommes recyclage--papier, verre, acier, aluminium et plastique--se trouvent dans aucun danger de manquer n'importe quand bientôt. Éléments tels que le papier proviennent d'arbres, qui est une ressource renouvelable, et verre provient de sable, qui est une des ressources plus abondantes sur la planète, selon envirovaluation.org. Ainsi, le recyclage de ces matériaux, compte tenu du coût de le faire, peut être peu judicieux. Le seul élément que nous pourrions être en danger de la course d'est en plastique, parce qu'elle est faite d'huile, et chaque jour notre alimentation est voie d'épuisement.

*Etude  
expérimentale*

# *Chapitre III*

### III .1.Objectif du travail

L'objectif de notre travail est de valoriser, recycler et confiner un déchet ayant un impact environnemental important si il est rejeter dans la nature .La valorisation de ce déchet dans ce travail sera par son incorporation dans le béton ordinaire, en substitution des granulats.

### III .2. Méthodologie pratique

Dans cette partie, nous avons étudié les caractéristiques du béton ordinaire (BO) à l'état frais et à l'état durci avec l'utilisation du recyclât (déchets des pneus) en faisant varier le pourcentage de ce recyclât par substitution du granulats. Les BO sont confectionnées avec des matériaux locaux : ciment CEM II 42.5, recyclât des pneus, sable fin, sable grossier, gravier de différente granulométrie et d'adjuvant.

Après formulation, les bétons élaborés sont caractérisés par des essais recommandés par la normalisation en vigueur ;

- ✓ A l'état frais : affaissement au cône d'Abrams, masse volumique.
- ✓ A l'état durci : résistances mécaniques à la compression, traction par flexion, masse volumique, ultra son, essais thermiques, essais chimiques

Pour réaliser notre objectif, nous avons passé par les étapes suivantes :

#### III .2.1.Etape 1

Analyses physico-chimiques et mécaniques des différents constituants.

Nous avons procédé à la caractérisation de toutes les matières utilisées à savoir :

- ✓ Le sable (BOUZEGZA) ;
- ✓ Le sable(BOUSSAADA) ;
- ✓ Les graviers (BOUZEGZA) ;
- ✓ Le ciment (MEFTAH) ;
- ✓ Recyclât des pneus (SETIF) ;
- ✓ Un superplastifiant haut réducteur d'eau, MasterGlenium SKY 841, fourni par l'entreprise BAF construction Chemicals Alegria ;
- ✓ Eau potable d'Oued Semar ;

#### III .2.2.Etape 2

Formulation des différents bétons.

Consacrée à la formulation de six (6) compositions en utilisant la méthode: Dreux Goriss.

- ✓ Béton ordinaire de référence.
- ✓ Un BO avec 10% du recyclât des pneus et 90 % de granulats.
- ✓ Un BO avec 20 % du recyclât des pneus et 80 % de granulats.
- ✓ Un BO avec 40% du recyclât des pneus et 60 % de granulats.
- ✓ Un BO avec 60 % du recyclât des pneus et 40 % de granulats.
- ✓ Un BO avec 80 % du recyclât des pneus et 20 % de granulats.

### III .2.3.Etape 3

Préparation des gâchages selon la méthode Dreux Goriss.

### III .2.4.Etape 4

Interprétation des résultats et conclusion.

## ➤ Première partie

### III .3. Caractérisation des matériaux

Dans ce chapitre, nous exposons les différentes caractéristiques des constituants ainsi que les étapes que nous avons suivies pour la détermination de la composition d'un BO. Les matières premières utilisées sont d'origine locale.

#### III .3.1. Caractéristiques des constituants

La connaissance des caractéristiques des différents constituants entrant dans la composition du béton est impérative à toute recherche ou étude d'investigation, puisque chacune pourrait influencer considérablement sur les résultats d'étude. C'est pour cette raison qu'on procède à la caractérisation de chaque constituant de béton.

##### III .3.1. 1. Le ciment

Le ciment utilisé est un ciment composé CEM II 42.5, il provient de la cimenterie de MEFTAH. Les résultats des essais physiques et chimiques de ce ciment sont inscrits dans les tableaux ci-dessus :

##### ❖ Caractéristiques physiques

**Tableau III.01.** Caractéristiques physiques du ciment CEM II 42.5.

Caractéristique		Résultats	Unités	Normes
Surface spécifique(SSB)		4227	cm <sup>2</sup> /g	NF EN 196-6
Poids spécifique		3.01	g/cm <sup>3</sup>	NF EN 196-5
Consistance normale		27.4	%H <sub>2</sub> O	NF EN 196-3
Temps	Début de prise	165	Mn	NF EN 196-3
	Fin de prise	235	Mn	NF EN 196-3
Retrait à 28 jours		≤1000	µm/m	NF EN 197-7

D'après ces résultats nous remarquons que les valeurs obtenus sont compatibles avec les exigences des normes correspondantes.

#### ❖ Composition chimique

**Tableau III.02.** La composition chimique ciment CEM II 42.5 .

Eléments	%
CaO	60.4
SiO <sub>2</sub>	20.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.36
Mg O	2.15
SO <sub>3</sub>	2.37
K <sub>2</sub> O	0.65
Na <sub>2</sub> O	0.23
Chlorures	0.07
PAF	4.28

### ❖ Composition minéralogique

**Tableau III.03.** La composition minéralogique du ciment CEM II 42.5.

Minéraux	%
C3S	52
C2S	22
C3A	03
C4AF	18
CaOL	01
Gypse	04

D'après ces résultats nous remarquons que la composition minéralogique du ciment est conforme aux exigences demandées (voir partie théorique).

### ❖ Caractéristiques mécaniques

**Tableau III.04.** Caractéristiques mécaniques du ciment CEM II 42.5.

Resistance (MPa)	Age (J)	
	07jours	28jours
Compression	40.4	48.85
Flexion	4.63	8.39

## III .3.1. 2. Identification des granulats

### ❖ Caractéristiques des sables

- **Analyse granulométrique (NF P18-560)**

**Tableau III.05.** Analyse granulométrique du sable de 0/1 BOUSSAADA.

Ouverture des tamis [mm]	Poids [gr]		Pourcentage [%]	
	Refus partiels	Refus Cumulés	Refus Cumulés	Passants
<b>0,315</b>	500,00	500,00	50,00	50,00
<b>0,160</b>	440,00	940,00	94,00	6,00
<b>0,080</b>	40,00	980,00	98,00	2,00
<b>0,063</b>	20,00	1000,00	100,00	00,00

**Tableau III.06.** Analyse granulométrique du sable 0/4 BOUZEGZA.

Ouverture des tamis [mm]	Poids [gr]		Pourcentage [%]	
	Refus partiels	Refus Cumulés	Refus Cumulés	Passants
<b>4,00</b>	120,00	120,00	12,00	88,00
<b>2,500</b>	120,00	240,00	24,00	76,00
<b>1,250</b>	220,00	460,00	46,00	54,00
<b>0,630</b>	200,00	660,00	66,00	34,00
<b>0,315</b>	160,00	820,00	82,00	18,00
<b>0,160</b>	140,00	960,00	96,00	4,00
<b>0,080</b>	40,00	1000,00	100,00	0,00
<b>0,063</b>	0,00	1000,00	100,00	0,00

On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamisas sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

- **Module de finesse MF (NF P18-560)**

**Tableau III.07.** Valeur de module de finesse.

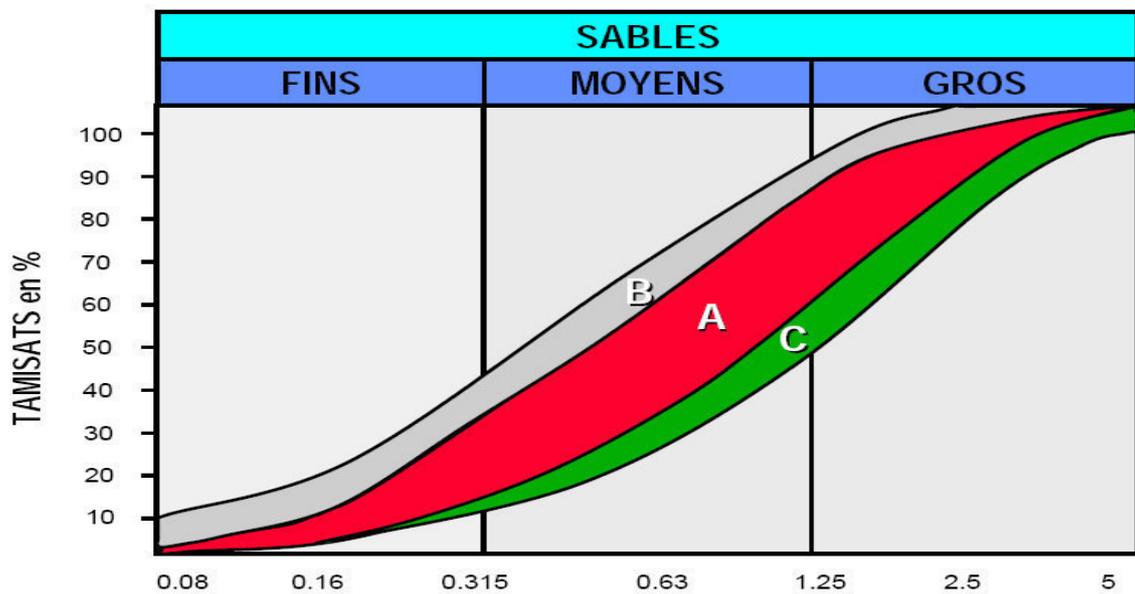
Classe Granulaire	Module de Finesse MF	Valeur spécifiée
SABLE BOUZEGZA 0/4	3.14	MF > 2.8
SABLE BOUSSADA 0/1	0.72	MF < 2.2
Mélange de sable (26.44% 0/1+73.55 %0/4)	2.5	/

Selon la norme précédente le module de finesse est indiqué comme de suit :

Sable Grossier(C) :  $2.8 < MF < 3.2$

Sable préférentiel (A) :  $2.2 < MF < 2.8$

Sable fin (B):  $1.8 < MF < 2.2$



- **Equivalent de sable SE (NF EN 933-8)**

**Tableau III.08.** Valeurs des équivalents des sables & du bleu de Méthylène.

Granulats	Provenance	SE %
Sable 0/4	BOUZEGZA	76
Sable 0/1	BOUSSAADA	75

- **Masse volumique (NF EN 1097-3 - NF EN 1097-6)**

**Tableau III.09.** Valeurs des masses volumiques.

Classe Granulaire	Masse volumique Absolue (t/m <sup>3</sup> )	Masse volumique Apparente (t/m <sup>3</sup> )
Sable 0/1 BOUSSAADA	2.50	1.52
Sable 0/4 BOUZEGZA	2.52	1.50

- **Résistance à la fragmentation de sable (Friabilité) (NF P 18-576)**

**Tableau III.10.** Valeurs de Friabilité.

Classe Granulaire	FS	VSS	Catégorie
Sable 0/1 BOUSSAADA	38	<60 (Catégorie B)	FS <sub>B</sub>
Sable 0/4 BOUZEGZA	40	< 60 (Catégorie B)	FS <sub>B</sub>

❖ **Caractéristiques des gravillons**

- **Analyses granulométriques et classes granulaires réelles (NF EN 933-1)**

**Tableau III.11.**Analyse granulométrique du gravillon 3/8 BOUZEGZA.

Ouverture des tamis [mm]	Poids [gr]		Pourcentage [%]	
	Refus partiels	Refus Cumulés	Refus Cumulés	Passants
6,30	40,00	40,00	2,00	98,00
5,00	940,00	980,00	49,00	51,00
4,00	620,00	1600,00	80,00	20,00
2,500	200,00	1800,00	90,00	10,00
1,250	300,00	1900,00	95,00	5,00
0,630	100,00	2000,00	100,00	0,00

**Tableau III.12.**Analyse granulométrique du gravillon 8/15 BOUZEGZA.

Ouverture des tamis [mm]	Poids [gr]		Pourcentage [%]	
	Refus partiels	Refus Cumulés	Refus Cumulés	Passants
12,5	200,00	200	6,67	93,33
10,0	420,00	620	20,67	79,33
8,00	1380,00	2000	66,67	33,33
6,30	840,00	2840	94,67	5,33
5,00	140,00	2980	99,33	0,67
4,00	20,00	3000	100,00	0,00

- Masse volumique (NF EN 1097-3 - NF EN 1097-6)

**Tableau III.13.**Valeurs Des masses volumiques.

Classe Granulaire	Masse volumique Absolue (t/m <sup>3</sup> )	Masse volumique Apparente (t/m <sup>3</sup> )
3/8 BOUZEGZA	2.62	1.41
8/15 BOUZEGZA	2.68	1.43
RECYCLAT	/	0.33

- **Propreté superficielle des gravillons (f)**

**Tableau III.14.**Propretés des gravillons.

Classe Granulaire	f (%)	VSS
8/15 BOUZEGZA	0.3	1.5
8/15 BOUZEGZA	0.7	

- **Coefficient D'aplatissement (FI)**

**Tableau III.15.**Coefficient D'aplatissement.

Classe Granulaire	FI	VSS	Catégorie EN	Code
8/15 BOUZEGZA	08	20	FI 20	A <sub>A</sub>

- **Essai de Dureté (NF EN 1097-2)**

**Tableau III.16.**Coefficient LA (Los-Angeles).

Classe Granulaire	LA	VSS	Catégorie EN	CODE
BOUZEGZA (8/15)	21	15	LA <sub>15</sub>	LA <sub>A</sub>

### III .4.Caractéristiques de recyclât des pneus

#### III .4.1.Analyse granulométrique

Tableau III.17. Analyse granulométrique du recyclât.

Ouverture des tamis [mm]	Poids [gr]		Pourcentage [%]	
	Refus partiels	Refus Cumulés	Refus Cumulés	Passants
5,00	73	73	4.86	95.14
4,00	235	308	20.53	79.47
2,500	476	784	52.26	47.74
1,250	651	1435	95.66	4.33
0.63	40	1475	98.33	1.67
0.315	8	1483	98.86	1.14
0.16	7	1490	99.33	0.67
0.08	5	1495	99.66	0.34
FT	5	1500	100	00.00

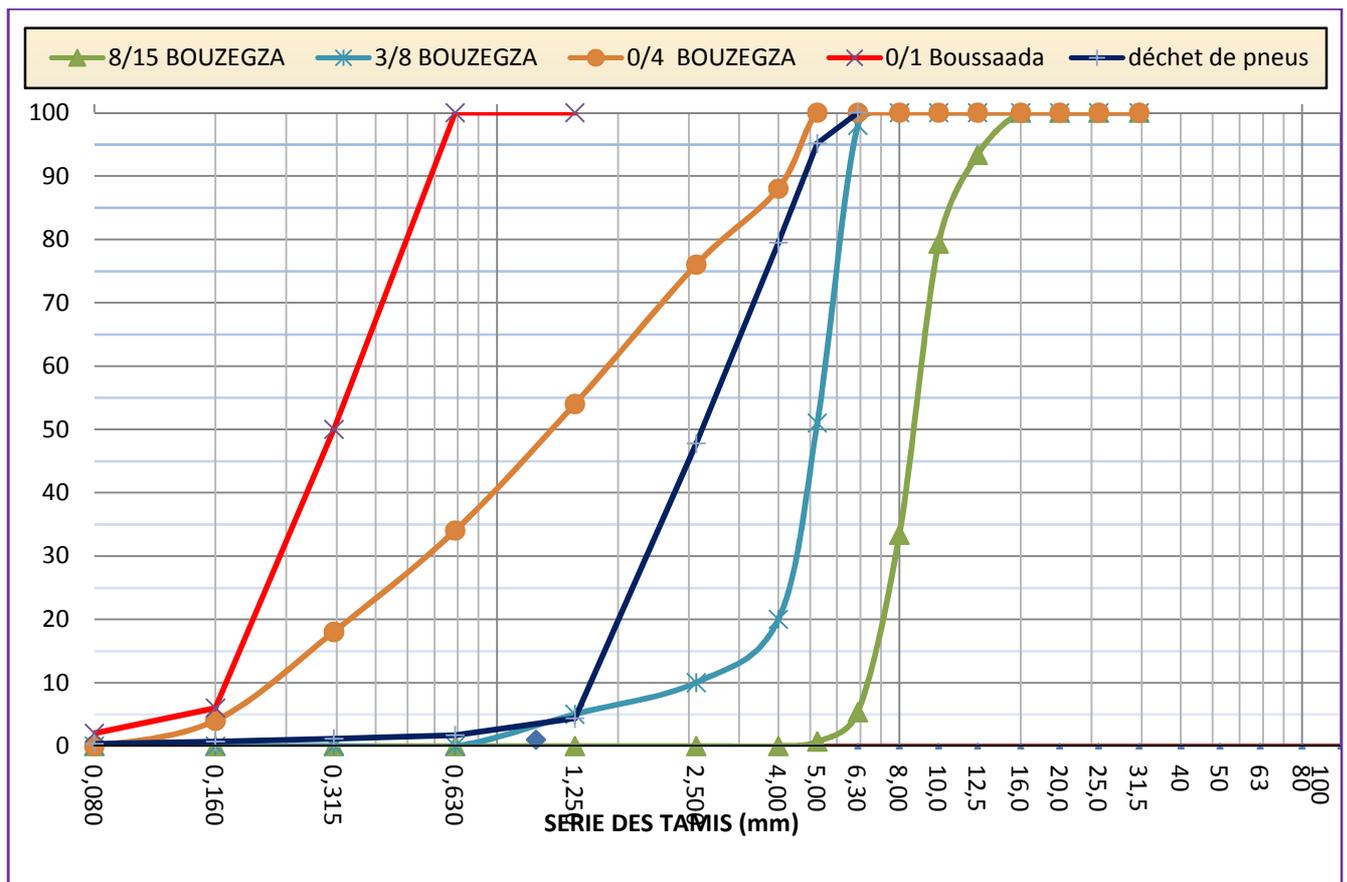


Fig III.2. Courbe d'analyse granulométrique de différents granulats.

### III .4.2.la composition chimique

Tableau.III.18. la composition chimique de recyclât des pneus.

Composent	Pourcentage %	Composent	Pourcentage %
C	85.5	S	0.169
O	12.4	Cl	0.0405
Mg	0.175	K	0.0156
Al	0.0645	Ca	1.44
Si	0.194	Fe	0.0427
P	0.0103	Zn	0.0037

### III .4.3.la composition minéralogique (DRX)

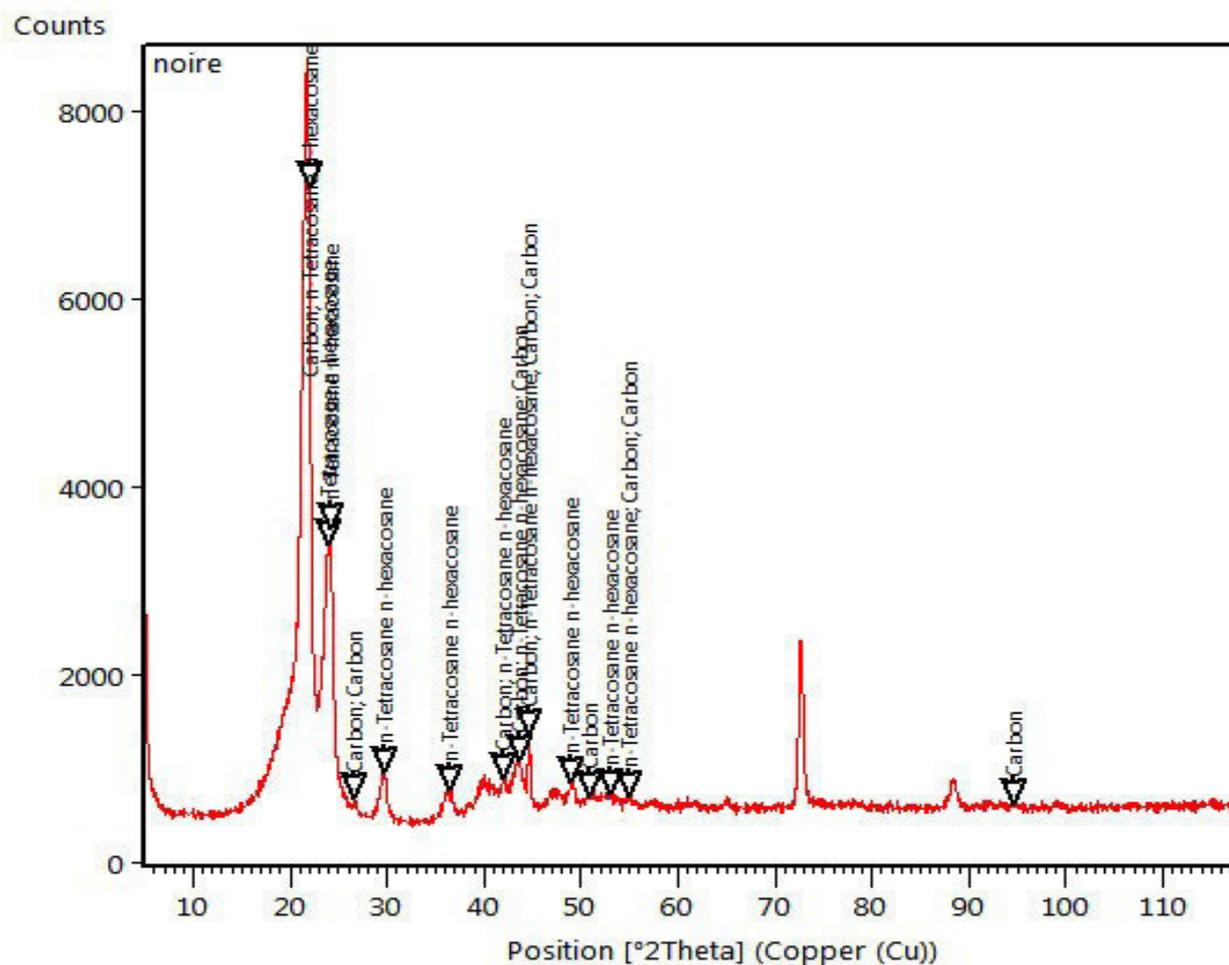


Fig.III.3. La composition minéralogique de recyclât des pneus.

### III .4.4.Essais thermiques

Tableau III.20.L'influence de la température sur le déchet.

Températures C°	100	200	250	300
Etat du caoutchouc	aucun	Aucun	Début de ramollissement	Ramollissement
Examen Visuel				

### III.5 .Interprétations des résultats

En règle générale les caractéristiques des granulats utilisée pour la fabrication des produits en béton doivent répondre aux spécifications des normes NF EN 12620 complétée par XP P18-545.

Un granulat est désigné par le code A, B, C et D lorsque toutes ses caractéristiques sont de Code indicé A, B, C et D. La catégorie A correspond à des spécifications plus serrées sur Certaines caractéristiques.

A la lumière des résultats des essais réalisés sur les fractions des agrégats de provenances De BOUZEGZA il ressort que :

- ✓ Le sable de provenance de BOUSSAADA est un granulat courant (densité de  $2\div 3$  t/m<sup>3</sup>)de granularité 0/1 ayant un module de finesse(MF<sub>1</sub> = 0.72 ) ce qui correspond à un sable grossier propre (SE= 75 %).
- ✓ Le sable de provenance de BOUZEGZA est un granulat courant (densité de  $2\div 3$  t/m<sup>3</sup>)de granularité 0/4 ayant un module de finesse(MF<sub>1</sub> = 3.14 ) ce qui correspond à un sable grossier propre (SE= 76 %)

Les gravillons de BOUZEGZA sont des granulats propres, et denses de granularités réelles 3,8 ,8/15 et acceptables et satisfaisantes vis à vis des spécifications de la norme.

NF EN 12620 (Aout 2002) (Granulats pour béton hydraulique complétée par la norme XP P18-545 à condition de veiller à la régularité des classes granulométriques et de la propreté.

Le recyclât des pneus est de pourcentage très élevé de carbone par rapport à des autres composants (70%) par contre Halogènes présente l'élément le plus faible à un pourcentage presque négligeable (0.1%).

D'après la figure N° fig.III.3 de l'analyse granulométrique se montre une bonne continuité de tous les types des granulats utilisés pour notre étude.

### ➤ Deuxième partie

#### III.6. Formulation des différents bétons

La deuxième partie de notre travail est consacré la formulation de différents bétons par la variation des pourcentage de déchet des pneus (10-20-40-60-80)% ainsi sa caractérisation à l'état frais (masse volumique, l'affaissement au cône d'Abrams) et à l'état durci (la résistance à la compression, à la flexion), ultra son, en fin les essais thermiques.

Pour réaliser tout ça nous avons résumé, l'application de la méthode de Dreux-Gorisse fait aboutir aux différentes proportions indiquées dans les tableaux suivant qui représente la composition pour 1 m<sup>3</sup> de béton.

✚ Formulation N°01 : BR

**Tableau III.21.** Composition du mélange.

CONSTITUANT	PROVENANCE	QUANTITE EN KG/M <sup>3</sup>
GRAVIER 8/15	BOUZEGZA	717
GRAVIER 3/8	BOUZEGZA	210
SABLE 0/4	BOUZEGZA	730
SABLE 0/1	BOUSSAADA	277
CIMENT: 42.5	MEFTAH	430
Eau	Potable OUAD SEMAR	157 (l)
Adjuvant	MasterGlenuim SKY 841	1.2 (%)

✚ Formulation N°02 : B10P

✚ Formulation N°03- B20P

✚ Formulation N°04- B40P

✚ Formulation N°05- B60P

✚ Formulation N°06- B80P

**Remarque :** le malaxage a été effectué dans un malaxeur de capacité 50 litre.



**Photo.III.1.** Malaxeur du béton.

# *Chapitre IV*

## IV. Propriété des bétons

### IV. 1. Résultats à l'état frais

#### IV. 1.1. Affaissement au cône d'Abrams (NF EN 12350-2)

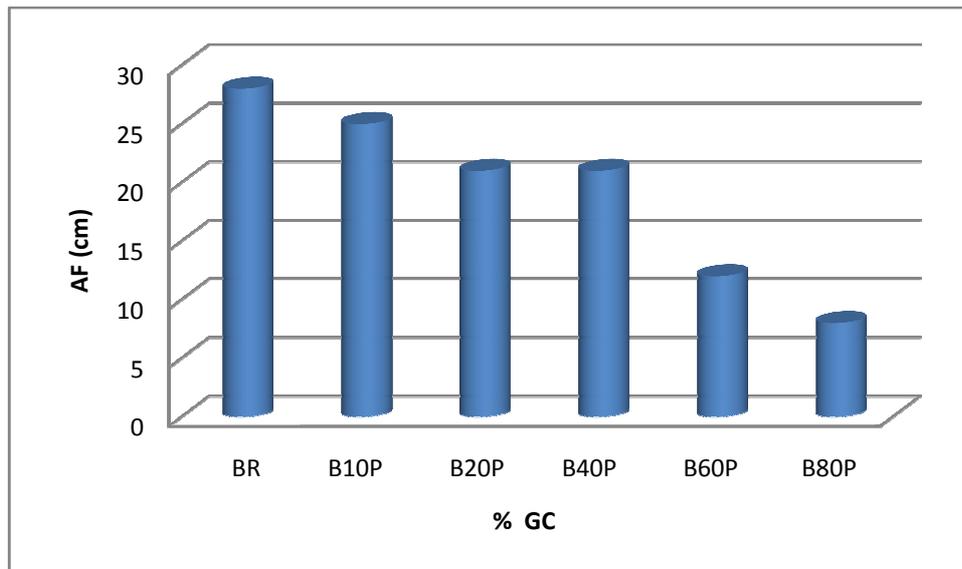
Le cône d'Abrams permet de contrôler la classe de consistance du béton que l'on s'apprête à utiliser en mesurant l'affaissement d'un échantillon.



Photo IV.1. Essais d'affaissement au cône d'Abrams.

Tableau IV.1. Affaissement de différentes compositions de béton.

Caractéristique	BR	B10P	B20P	B40P	B60P	B80P
affaissement (cm)	28	25	21	21	12	08



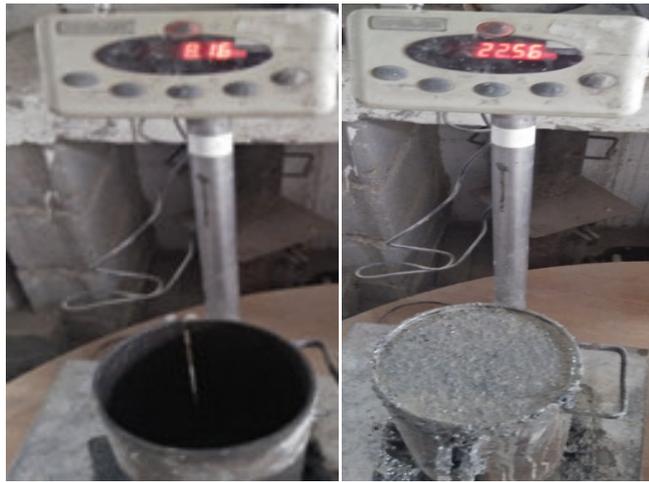
**Fig IV.1.** Influence de pourcentage des GC sur l’Affaissement.

D’après la figure on constate une diminution de l’affaissement pour les différents pourcentages de substitution commençant par le BR (28cm) qu’on remarque un affaissement proche de celui de 10% (25 cm), une stabilité d’ouvrabilité entre 20 %, 40% (21 cm) et à 60% l’ouvrabilité s’abaisse (12 cm) et à 80% elle été réduite jusqu’à 8cm ce qui correspond a un béton ferme.

On peut tirer que plus le pourcentage de déchet des pneus dans le béton augmente plus l’affaissement est réduit. Sur la base des résultats obtenus, la teneur des granulats des pneus dans ces bétons a modifié leur maniabilité en réduisant leur ouvrabilité dû à la substitution des granulats qui a réduit la surface spécifique provoquant l’abaissement l’affaissement.

#### **IV. 1.2.Masse volumique (NF EN 12350-6)**

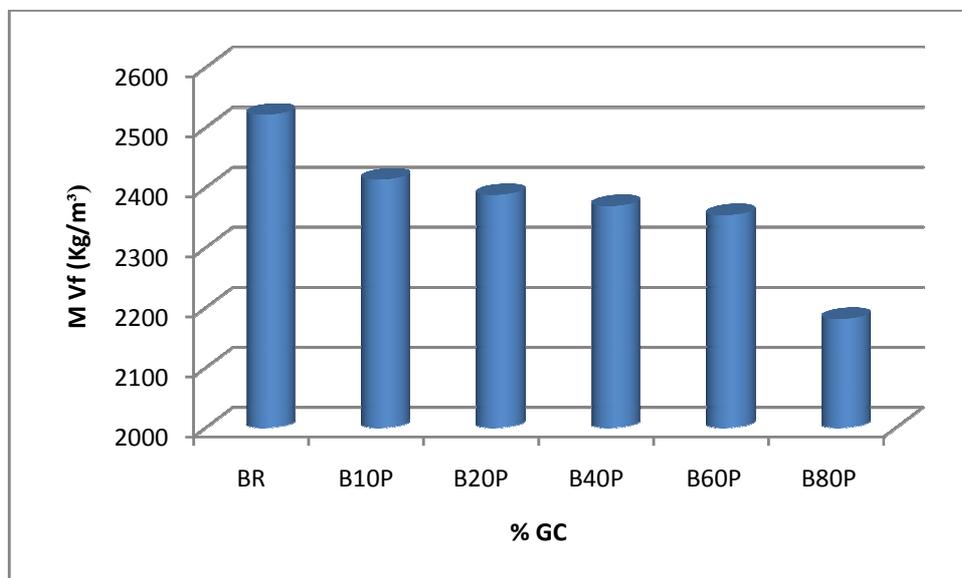
La masse volumique du béton frais permet d’obtenir rapidement des indications sur la qualité du béton.



**Photo IV.2.**Essai de la masse volumique du béton à l'état frais.

**Tableau IV.2.** Masses volumiques de différente composition de béton à l'état frais.

Caractéristique	BR	B10P	B20P	B40P	B60P	B80P
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2521	2413	2387.5	2369	2354	2181



**Fig IV.2.** Influence de pourcentage de GC sur de la masse volumique à l'état frais

Les masses volumiques des bétons présentées dans la fig IV.2 ont été mesurées tout de suite après le malaxage dans l'ensemble elles se situent entre 2521 et 2181 Kg/m<sup>3</sup>.

## IV.2. Résultats à l'état durci à 7 et 28

## IV.2.1. Masses volumiques

Tableau IV.03. Masses volumiques de différente composition de béton à l'état durci.47

Caractéristiques	jours	BR	B10P	B20P	B40P	B60P	B80P
Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	7	2410	2392	2375	2359	2343	2123
	28	2398	2363	2312	2292	2112	1895

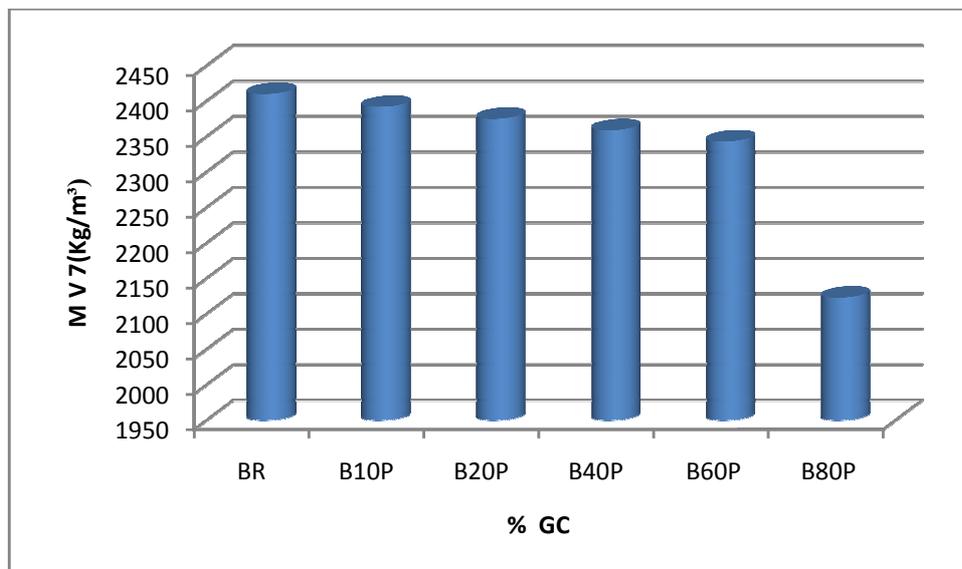
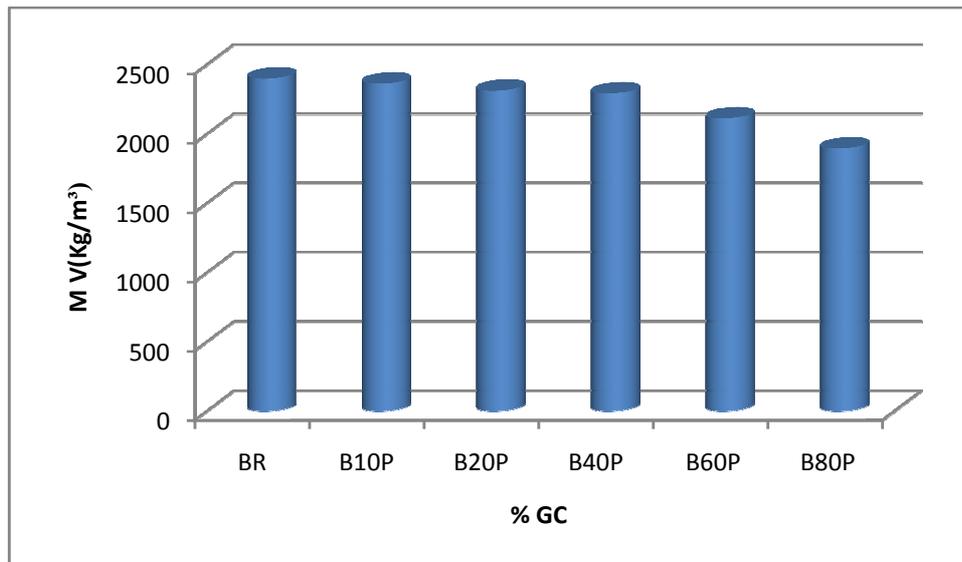


Fig IV.03. Influence de pourcentage de GC sur la masse volumique à 7 jours



**Fig IV.04.** Influence de pourcentage de GC sur la masse volumique à 28 jours

Selon les fig IV.03 et fig IV.04 les masses volumiques des bétons ayant muris dont l'âge de 7 et 28 jours ont été mesuré sur des éprouvettes cylindriques de diamètre  $\varnothing$  16x32 cm, séchées à l'air ambiant jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

Dans l'ensemble, ces masses volumiques a 7 jours varient de 2410 et 2123  $\text{kg/m}^3$  et a 28 jours varient de 2398 et 1895  $\text{kg/m}^3$  l'allure des courbes ci dessous montre la décroissance régulière de la masse volumique partant d'un béton ordinaire arrivant a un béton léger de structure.

Plusieurs recherches sur les bétons caoutchoutés ont trouvés les mêmes résultats (Moh12). [23]

En Allemagne fédérale la norme DIN1042.Parue en 1972, limite la masse volumique apparente d'un béton léger à 2000  $\text{Kg/m}^3$ .

La variation de la masse volumique est proportionnels avec l'âge et sa réduction est liés aux propriétés physiques du déchet de pneus ; ils sont plus légers et occupent un plus grand volume par rapport aux granulats naturels.

#### **IV.2.2. Résistance à la compression**

Le but de l'essai de la résistance a la compression pour connaitre la capacité du béton à supporter les charges qui tendent à réduire sa taille par écrasement.



Photo IV.03. Essai de surfaçage et de la résistance à la compression.

Tableau IV.04. Résistance à la compression.

caractéristiques	jours	BR	B10P	B20P	B40P	B60P	B80P
Résistance à la Compression MPa	7	42	37.75	32.50	30.8	20.88	10.68
	28	45.35	54.15	44.60	37.8	34.2	16

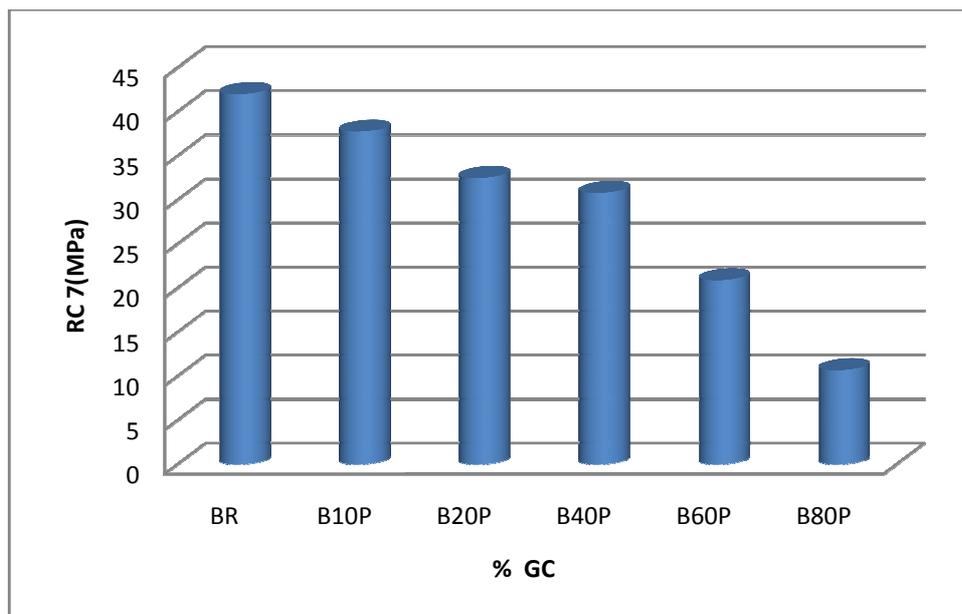
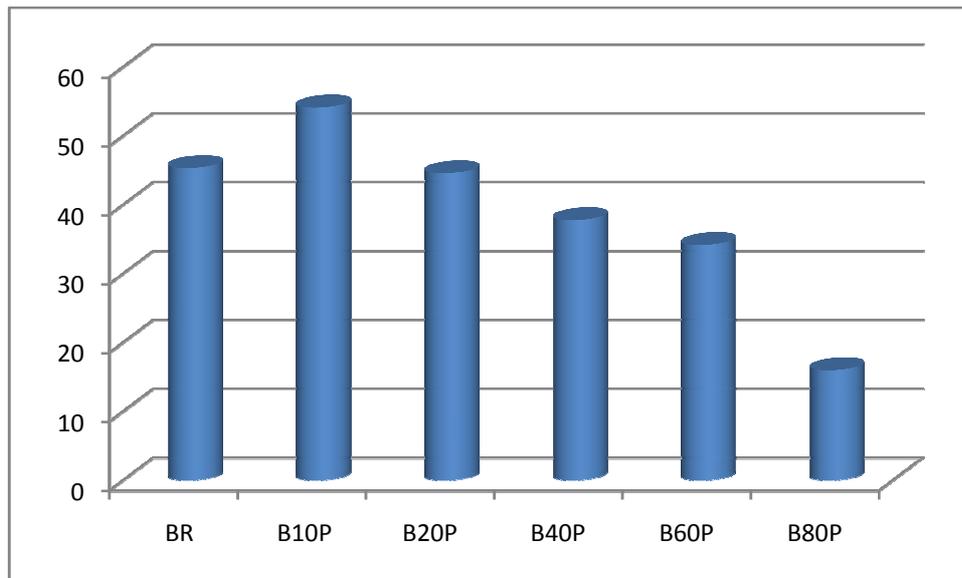


Fig IV.05. Influence de pourcentage de GC sur la résistance à la compression à 7j.



**Fig IV.06.** Influence de pourcentage de GC sur la résistance à la compression à 28j.

Le remplacement des granulats naturels par des granulats de déchet des pneus avec les pourcentages 10, 20, 40,60 et 80% a provoqué une diminution de la résistance mécanique à la compression.

Dans les travaux de plusieurs chercheurs ; tel que Skripkiuna il rapporte une diminution de la résistance a la compression du béton. [24]

L'association canadienne du ciment portland (ACCP) définit le béton léger structural comme un béton ayant une résistance à la compression à 28 jours supérieur à 15MPa.

#### **IV.2.3. Résistance à la traction par flexion**

Les éprouvettes prismatiques sont soumises jusqu'à la rupture à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. la charge maximale atteinte au cours de l'essai est enregistrée, et la résistance à la flexion est calculée.



**Photo IV.0 4.**Essai de la résistance à la traction par flexion.

Tableau IV.05. Résistance à la traction par flexion.

caractéristiques	Jours	BR	B10P	B20P	B40P	B60P	B80P
Résistance à la traction par flexion MPa	7	1.92	1.95	1.35	11.18	1.07	1.00
	28	18.24	17.20	16.04	19.88	13.62	10.35

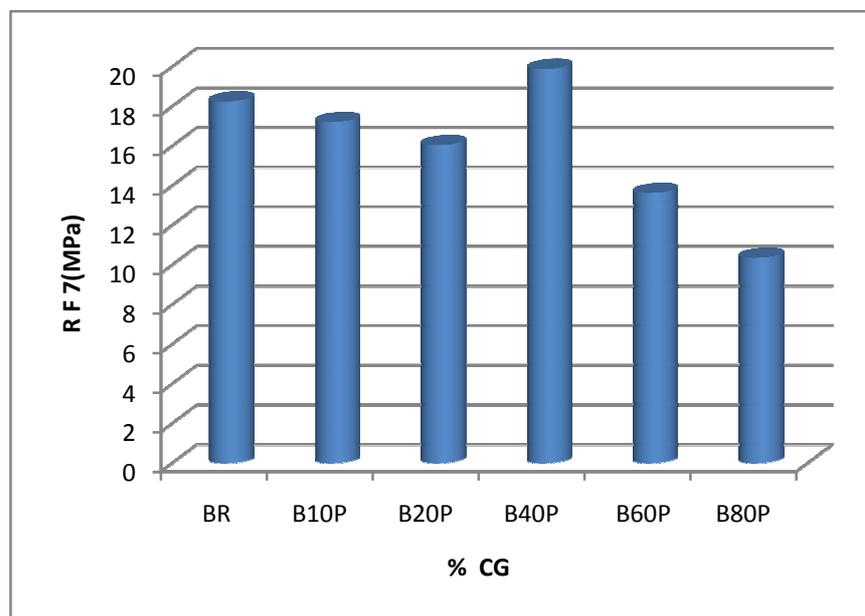
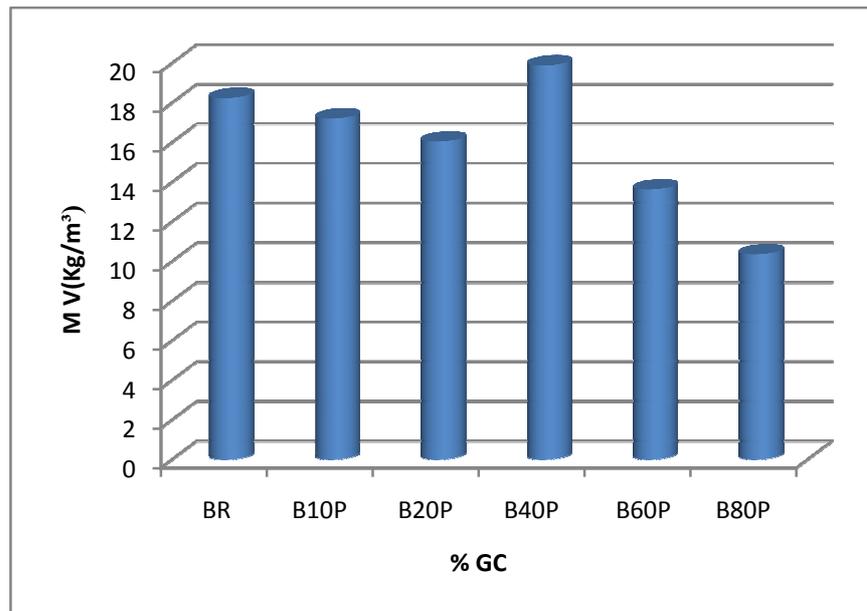


Fig IV.07. Influence de pourcentage GC sur la résistance à la traction par flexion à 7j.



**Fig IV.08.** Influence de pourcentage GC sur la résistance à la traction par flexion 28 j.

Les essais de traction par flexion, sont utilisés pour considérer la fissuration toute en indiquant la résistance a la traction par flexion ils permettent aussi de contrôler la qualité de béton et de prévoir les déformations avant l'apparition des premiers fissures.

Sur la base des résultats obtenus une diminution de la résistance a la traction a été signalé des pourcentages 10% et 20% (18.24 a ,17.20 MPa) et une augmentation de la résistance a 40% jusqu'à (19.88 MPa ) qui montre une bonne aptitude du béton aux sollicitations à la traction par flexion ,et au 60% ( 13.62 MPa) 80% (10.35 MPa) la résistance rechute .

**IV.2.4. Auscultation sonore**

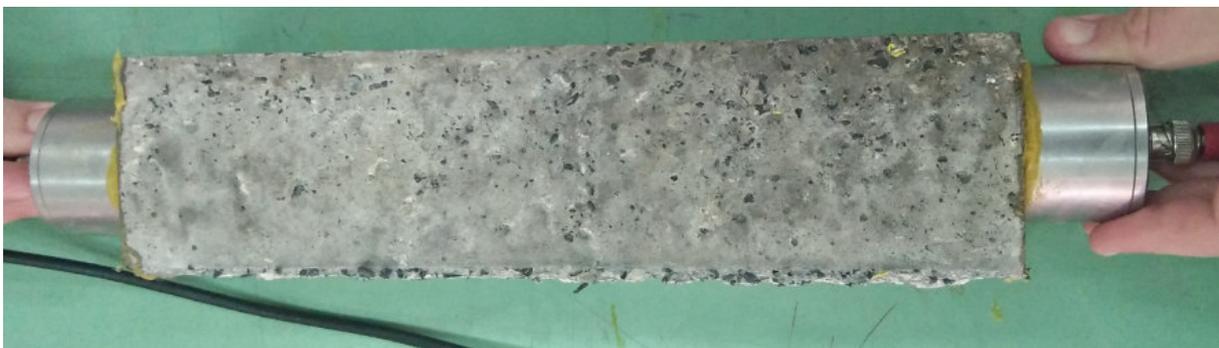
Cet essai est non destructif et permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales à travers un élément en béton.



**Photo IV. 05.** Appareil à ultrason.



**Photo IV.0 6.** Préparation de l'éprouvette.



**Photo IV. 07.** Essai de la vitesse ultra son.

Tableau IV.06. Vitesse ultra sonique a28 jours.

caractéristique	paramètre	BR	B10P	B20P	B40P	B60P	B80P
Vitesse Ultra son m/s	Vitesse m/s	4597	4800	4765	4415	3840	3780

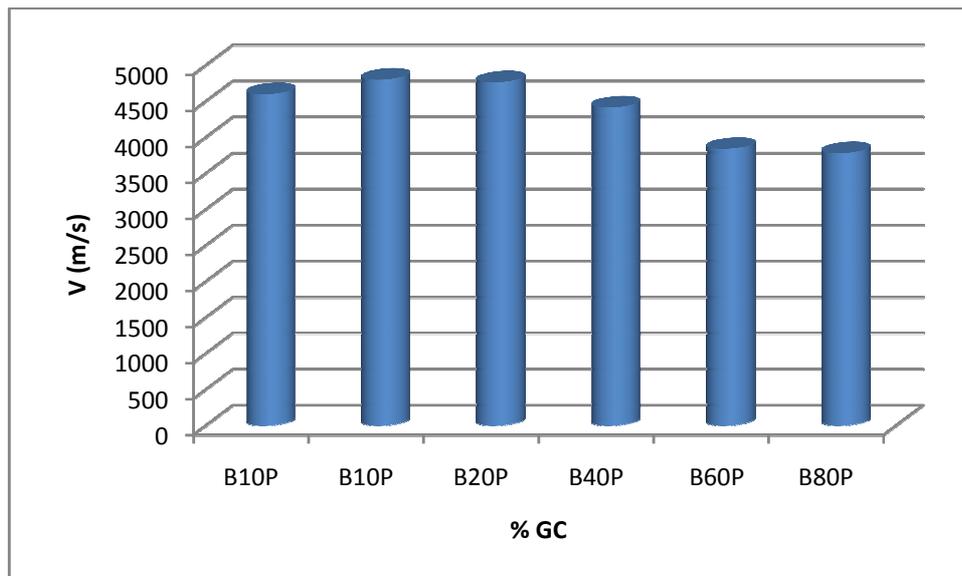


Fig IV.09. Influence de pourcentage GC sur la vitesse ultra sonique a28 jours

Les mesures de la vitesse d'impulsion ultrasonore, dans le béton permet d'évaluer sa résistance et sa microstructure de manière non destructive, ils sont aussi très utiles lorsque il s'agit d'un contrôle d'ouvrage ou dans le suivi de l'évolution d'un béton dans le temps.

L'évaluation de la vitesse d'impulsion ultrasonore dans notre étude était mesurée à 28 jours.

Les résultats présentés sur la fig IV.09 montre que la vitesse varie entre 4597 m/s, pour le béton de référence et 4800 m/s pour 10% ,4765 m/s pour 20%, 4415 m/s 40% 3840 m/s 60% et 3780 m/s pour 80% respectivement.

Selon la publication CNRC – IRC CANADA:

- $V > 4572$  m/s est excellente.
- $3658 \text{ m/s} \leq V < 4572$  m/s bonne.

- $3048 \text{ m/s} \leq V < 3658 \text{ m/s}$  douteuse.
- $2134 \text{ m/s} \leq V < 3048 \text{ m/s}$  mauvaise qualité.
- $V < 45722134 \text{ m/s}$  très mauvaise qualité

### IV.2.5. L'effet de la température sur le béton

#### IV.2.5. 1. La résistance au feu

Le béton étant un matériau hétérogène composé de plusieurs formes d'agrégats et de l'eau, sa tenue au feu diffère et dépend de la nature de ces derniers, et aussi du feu lui-même : vitesse de montée en température, température maximale atteinte et la durée d'exposition à cette température. [25]

La matrice cimentaire et les granulats subissent au cours du chauffage des modifications essentielles opposées : une fois la température dépasse  $105^{\circ}\text{C}$ , les granulats du béton subissent une expansion ; alors que la matrice cimentaire subissent un retrait lors du premier chauffage.

Ce comportement d'incompatibilité thermique des constituants induit des microfissurations au sein de la microstructure du composite suite à la création de contraintes internes causées par le changement thermique. [26]

#### IV.2.5. 2. L'effet des températures sur la microstructure du béton

- ✓ Entre  $30^{\circ}\text{C}$  et  $120^{\circ}\text{C}$  : l'eau libre et une partie de l'eau adsorbée s'échappent du béton, si la vitesse de la montée de la température est lente à  $120^{\circ}\text{C}$  l'eau libre est complètement éliminée et dans le cas contraire l'évaporation peut se prolonger au-delà de  $200^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ De  $120^{\circ}\text{C}$  à  $300^{\circ}\text{C}$  : un croissement de la perte de poids des bétons est observé ; à  $180^{\circ}\text{C}$  la déshydratation du gel de ciment C-S-H se produit et se poursuit jusqu'à  $300^{\circ}\text{C}$ . [27], l'eau liée chimiquement commence à s'échapper du béton.
- ✓ De  $300^{\circ}\text{C}$  à  $600^{\circ}\text{C}$  la déshydratation du béton ralentit, au tour de  $450^{\circ}\text{C}$  et  $550^{\circ}\text{C}$  la portlandite ( $\text{CaOH}_2$ ) se déshydrate [28], de  $600^{\circ}\text{C}$  à  $700^{\circ}\text{C}$  l'eau liée chimiquement continue à s'évacuer, le CSH se décompose et c'est la seconde étape de la déshydratation des hydrates de calcium.
- ✓ De  $700^{\circ}\text{C}$  à  $900^{\circ}\text{C}$  les granulats de calcaire qui se décomposent.

✓ A partir de 1100°C la fusion de la pâte et les agrégats s’amorce.

Pour avoir l’effet de la température sur le béton caoutchouté, nos béton sont soumis a un chauffage graduelle a les températures suivantes 400°C ,500°C ,600°C ,700°C ,800°C ,900 °c, 1000°C pendant 45 min.

**Tableau. IV.07.** L’effet de la température sur le béton

T°C	BR	B10P	B20P	B40P	B60P	B80P
400	/	 Fissuration	 Fissuration	 Fissuration	 Fissuration	 Fissuration
500	/	 Fissuration	 Fissuration	 Fissuration	 Fissuration	 Effritement partiel
600	 Microfissures	 Fissuration	 Début d’éclatement	 Fissuration	 Eclatement	 Effritement totale
700	 Microfissures	 Eclatement	 Eclatement	 Eclatement	/	/
800	 Fissuration	/	/	/	/	/

900	 Effritement partiel	/	/	/	/	/
1000	 Effritement total	/	/	/	/	/

**100°C-200°C** au dessus de 100°C, l'eau retenue par la capillarité libre à l'intérieur de béton commence à s'évaporer à 170 °c.

**200°C -300°C** : la perte de masse devient un peu plus significative ; on constate l'apparition des fissures aux surface des éprouvettes ; les fissures sont provoquées par l'accumulation des pressions internes et la disparition des joints de dilatation dans les bétons exposes a la température entrainant des déformations dans leurs différents parties chauffées.

Le coefficient de dilatation de la matrice et les granulats de déchet des pneus :

- Le coefficient de dilatation de la matrice cimentaire est  $7.4 \times 10^{-6}$  à T= 13°C.
- Le coefficient de dilatation de déchets des pneus est  $10^{-4}$  à 13°C.

Et la plupart des agrégats ont un coefficient de dilatation thermique entre  $4$  et  $13 \times 10^{-6}$  .

Et à partir de là on peut tirer qu'il y a une grande différence entre la dilatation thermique de la pâte de ciment et le déchet des pneus .ce qui explique l'apparition des fissures dans les éprouvettes des pourcentages de 10% , 20% ,40%, 60%, 80 % a partir de 400°C , contrairement au béton témoin qui montre une résistance a cette température et qui commence a être fissure a 600°C .

**600°C -700°C** : les dégradations observe sont plus importante à ce stade suite à la modification de la structure du béton.

**a700°C** : dans ce stade on a constaté un ramollissement du déchet des pneus puis une disparition laissant des trous, suite à ça les fissures deviennent profondes et on a un effritement total des éprouvettes du pourcentage et **80 %** du déchet des pneus et le béton témoin, ce qui a été prouvé selon le chercheur Barluenga. [29]

10% ; 20 % ; 40 % ; 60% ont subi un éclatement et des écaillages remarquables par rapport au béton témoin qui résiste avec une apparition des fissures à la surface.

**900°C** : un effritement partiel du témoin qui montre une résistance thermique meilleure

**1000°C**: l'éprouvette du béton témoin un effritement total.

L'éclatement est les résultats de perte totale des propriétés liantes (due aux processus chimiques, thermiques, hydriques et mécaniques).

Les caractéristiques microstructurales évoluent au cours de la sollicitation thermique ; avec l'augmentation de la température passant par les sept (07) cycles (200°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C, 1000°C).

La résistance au traitement thermique des éprouvettes est proportionnelle au pourcentage du déchet des pneus ce qui est clairement indiqué dans les résultats de notre travail les pourcentages de 10% 20% 40% 60% et 80%, et à la distribution des granulats du déchet des pneus et leur contact au feu, même observation a été faite par **Cuong** et **Fattuhi** ces derniers ont vérifié le risque de l'inflammabilité des granulats de déchet des pneus « teste à l'aide d'un chalumeau » .

Et par là on peut conclure que l'inflammabilité des granulats du déchet des pneus est réduite par leur enrobage dans le béton, et si le liant résiste au feu plus que le granulat de déchet des pneus on peut l'utiliser pour améliorer la résistance au feu de ce dernier.

Les essais au chauffage graduel indiquent que l'inflammabilité du déchet des pneus dans un béton a diminué significativement par la présence du ciment et des granulats, et ces bétons aux déchets ont montré une résistance thermique satisfaisante. Le déchet a été confiné dans le béton.

### IV.2.6. Essai de la durabilité chimique

#### IV.2.6. 1. Les attaques acides des bétons

D'après les chercheurs telle que Kumar et Planel qui se sont concentrés sur l'attaque acide, les mécanismes fondamentaux d'altération des bétons par réaction chimiques ainsi que leur effet et les conclusions qui ont été tirées sont l'existence de deux réactions :

- ❖ l'hydrolyse des hydrates de la pâte de ciment durci.
- ❖ les réactions entraînant la formation des produits expansifs.

A l'échelle macroscopique et d'après, il est observé la formation d'un hydrate expansif, modification de la porosité fissuration et la déformation du matériau à la fin et une chute de résistance et de rigidité. [30]

Les conséquences de la pénétration des sulfates dans le béton sont les désordres qui trouvent leur origine dans la cristallisation des espèces sulfatées secondaire comme l'ettringite.

Le gonflement entraîne par conséquent un produit avec une perte de résistance et une altération de la surface du béton. L'intensité du mécanisme de l'expansion par sulfates, est influencée directement par :

- ✓ La qualité du béton (composition du ciment ; mode de fabrication ; la cure, l'état de l'endommagement du béton avant l'attaque).
- ✓ La concentration en sulfates (quantité et type).
- ✓ Les conditions environnementales et atmosphériques (taux d'humidité cycles d'humidification séchage).
- ✓ la température de la surface exposée.
- ✓ durée de l'essai.
- ✓ le PH de la solution de l'immersion.

#### IV.2.6.2. Examen visuel

Afin de bien mener l'étude de la durabilité on a utilisé le H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> acide sulfurique comme milieu agressif pour notre béton contenant le déchet des pneus.



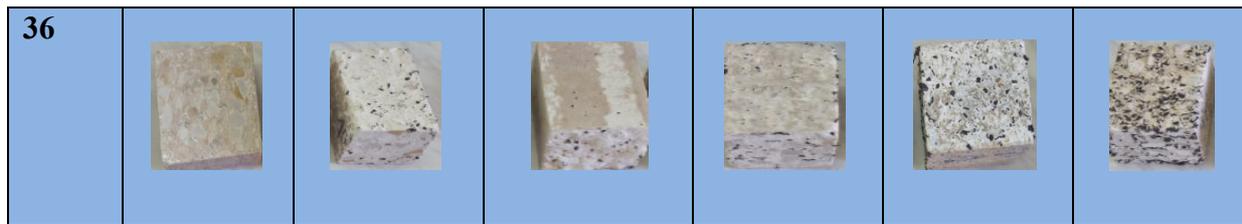
Les éprouvettes sont mises dans des solutions d'acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> préparé avec une concentration massique de l'ordre 10% dans une température 23°C (selon les exigences de la norme ASTM C 64 ) avec un PH =1.06 .

L'essai nécessite l'immersion totale des éprouvettes dans la solution acide sulfurique pendant une période de 36 jours, en mesurant les masses a 03, 07,14 et 36 jours.

Avec un procédé de mouillage – séchage après chaque retrait des éprouvettes de la solution, elles sont rincées a l'eau de robinet jusqu'à ce que la partie altérée soit éliminée, ensuite elles sont égouttées pendant ½ heure à l'air libre pour sécher les échantillons ont été périodiquement prélevés et pesés puis remis dans la solution.

**Tableau. IV.08.** L'effet du milieu agressif sur le béton

Jours	BR	B10P	B20P	B40P	B60P	B80P
0						
3						
7						
14						



#### IV.2.6.3. Perte de masse (%)

La résistance à l'agression par attaque des acides est vérifiée en suivant leur perte de masse qui est l'indicateur de mesure de l'attaque et cela peut dépendre de la taille des éprouvettes et du type de ciment ainsi que de la sévérité de l'acide. Elle est calculée par :

$$\Delta ms = \frac{M_t - M_i}{M_i} \times 100 (\%)$$

$M_t$  : poids après immersion dans l'acide.

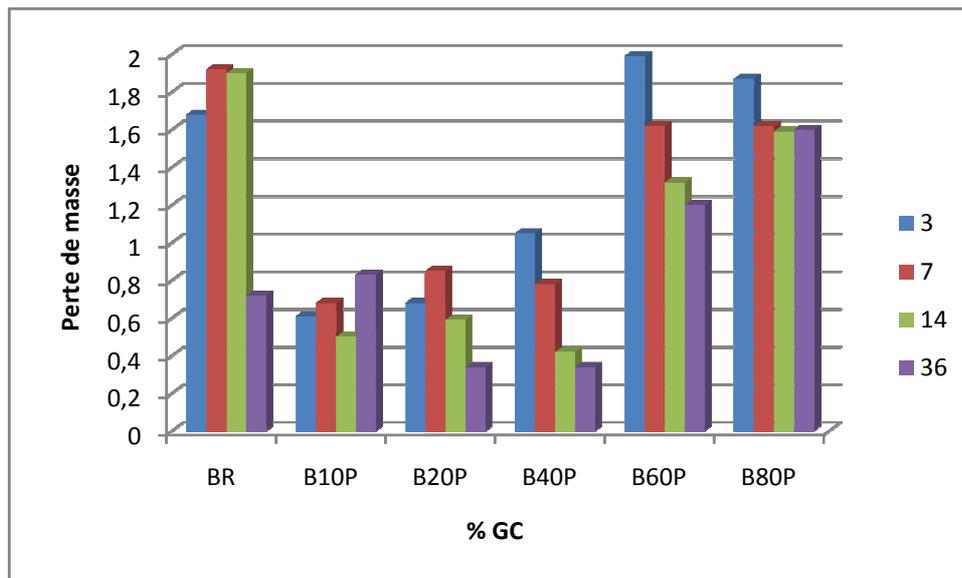
$M_i$  : poids avant immersion dans l'acide.

Les pesées sont effectuées à l'aide d'une balance de précision de l'ordre de 0.01g.

**Tableau. IV.09.** la perte de masse.

Jours	BR	B10P	B20P	B40P	B60P	B80P
3	1.68	0.61	0.68	1.05	2.17	1.87
7	1.92	0.68	0.85	0.78	1.92	1.59
14	1.67	0.46	0.59	0.35	1.68	0.94
36	0.72	0.67	0.44	0.31	0.20	0.6

Les réactions chimiques sont :



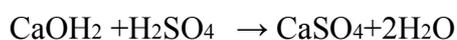
**Fig IV.10.** Influence des GC sur la perte de masse.

Après une période de 36 jours d'immersion des éprouvettes de bétons de déchets des pneus de différent pourcentage on remarque :

- ✓ une perte de masse légère.
- ✓ une surface rigoureuse
- ✓ avec apparition de couches blanches due a l'accumulation du sel a la surface

L'ajout des granulats de déchet des pneus est efficace pour réduire la perte de masse des éprouvettes exposés a l'attaque en raison de minimise le contact des granulats naturels avec l'acide.

- ✓ l'examen visuel la surface est jaunâtre est due a la formation de l'ettringite dans l'épaisseur dégradé présence de fer [31].



*Conclusion*  
*Générale*

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

Cette étude est principalement basée sur la valorisation de déchet de pneus par son application sur la formulation des bétons ordinaire dans le but d'alléger les structures du béton et confiner le déchets abandonné sachant que l'Algérie importe au moyenne 49.62 milliers de tonne de pneumatique .

Dans notre partie pratique, on a confectionné des bétons ordinaires à base de déchet de pneus introduits pour se substituer aux granulats.

Les résultats obtenus par les compositions élaborées à base de déchets des pneus avec différents pourcentages, sont satisfaisants et offrent de bonnes performances.

✚ Les caractéristiques du béton à l'état frais sont :

- un bon affaissement jusqu'à 80 % de déchets qui permet l'obtention un béton ferme (08 cm).
- une masse volumique à l'état frais plus légère.

✚ Les caractéristiques à l'état durci :

- Une diminution de la masse volumique on se retrouvant avec un béton léger de structure  $1895\text{kg/m}^3$  avec un pourcentage de 80%de déchet (en Allemagne Fédérale la norme DIN 1042 parue en 1972) limite la masse volumique apparente d'un béton léger a  $2000\text{ kg/m}^3$ .
- La résistance a la compression a 28 jours présente de bonne résultats allant jusqu'à 54.15 Mpa pour la composition 10% de déchet.
- Le béton montre une bonne aptitude du béton aux sollicitation à la traction par flexion a 40% de déchet des pneus (19.88 Mpa).
- Le résultat ultrasonique montre qu'on a bon béton avec une compacité assez importante pour tout les compositions..
- Une bonne résistance thermique.
- Une bonne résistance au milieu agressif (acide).

Enfin, on peut conclure que l'utilisation de déchets de pneus dans le domaine de construction, nous a permis non seulement de récupérer et de recycler un déchet, donc de contribuer à la résolution d'un problème écologique, mais aussi d'obtenir un béton léger de structure, avec des performances remarquables et intéressantes .

# Recommandations et Perspectives

---

## **Recommandations**

A la lumière des résultats obtenus, il est recommandé d'introduire le déchet des pneus dans la confection des bétons jusqu'à 80%.

Vu leurs performances, intéressante et leur coût réduit en termes de production et de réalisation, il faut faire des efforts pour intégrer l'idée de l'utilisation des granulats de caoutchouc dans les composites cimentaires en Algérie afin d'avoir des matériaux durables

## **Perspectives**

Notre travail ouvre la porte pour d'autres recherches, a fin d'exploité ces résultats dans le but d'optimiser les procédures expérimentales.

Concernant l'étude de la microstructure et son évolution avec le temps, il serait intéressant d'effectuer des analyses plus poussée sur les bétons caoutchouté a fin de développer les prévisions plus précise sur leur comportement.

Et pour le cycle de vie du béton les résultats sont satisfaisantes mais reste être confirmé par d'autres analyses.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] sit web le béton histor.html.

[2] HANI Awda « Etude de Comportement d'un Béton Hydraulique Modifié (déchet des pneus) » Mémoire de Master 2016

[3] HANI Awda « Etude de Comportement d'un Béton Hydraulique Modifié (déchet des pneus) » Mémoire de Master 2016.

[4] R.Dupain-R.Lanchon-J.-C.Saint-Arroman

GRANULATS, SOLS, CIMENTS ET BETONS

Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire

Nouvelle édition conforme aux normes européennes

[5] R.Dupain-R.Lanchon-J.-C.Saint-Arroman

GRANULATS, SOLS, CIMENTS ET BETONS

Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire

Nouvelle édition conforme aux normes européennes

[6] Sit Web : granulats naturels et artificiels.html

[7] R.Dupain-R.Lanchon-J.-C.Saint-Arroman

GRANULATS, SOLS, CIMENTS ET BETONS

Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire

Nouvelle édition conforme aux normes européennes

[8] T.Baste -M.Bouffard-C.Horlait-R .Lacroix-S.Marcellin-T.Oliveira

Projet IFIPS S2 2008.

[9] Projet IFIPS S2 : Thibault Baste, Marc Bouffard, César Horlait, Rémi Lacroix, Simon Marcellin, Thibault Oliveira 2008

[10] site web redécouvrir le béton.

[11] Thèse doctorat « Béton à base de recyclats : influence du type de recyclats et rôle de la formulation » SERIFOU MAMRY 2013

[12] Projet tutoré Le recyclage Mirakof Allexandra, Eberlin Ludovic, Gesnel, Messaraa Cyrif 2007/2008.

[13] Article 1de la loi du 15 juillet 1975, modifié par la loi n°92-646 du 13 juillet 1992.

[14] Article 1de la loi du 15 juillet 1975, modifié par la loi n°92-646 du 13 juillet 1992.

[15] Information et articles recyclage et valorisation des pneus usagés Franchisé CLIKECO 2018

[16] Information et articles recyclage et valorisation des pneus usagés Franchisé CLIKECO 2018

[17] Information et articles recyclage et valorisation des pneus usagés Franchisé CLIKECO 2018

[18] Information et articles recyclage et valorisation des pneus usagés Franchisé CLIKECO 2018

[19] Annonces granulats pneus 16/07/2012

[20] Site web : [www. Rrecyclage-pneu-solution.html](http://www.Rrecyclage-pneu-solution.html)

[21] Site web: [www.reflexe-sagex.ch/pages/avantages.html](http://www.reflexe-sagex.ch/pages/avantages.html)

[22] Site web: [www.kriegerdental.com/inconvenients-du-recyclage.html](http://www.kriegerdental.com/inconvenients-du-recyclage.html)

[23] Mohammed B.S., Hossain K.M., Anwar S., Jackson T.E., Wong . (2012).propriétés du poudrette de caoutchouc dissimulé dans les blocs de béton. Journal Cleaner Production Vol .32, pp.57-67.[en Anglais].

[24] MEDIN Malika «Etude expérimentale des bétons légers Incorporant des granulats issu du broyage des pneus usés» Thèse de Doctorat /2018.

[25] F.Robert, H.Colina, G.Debiki, (2008). La durabilité des bétons, chapitre 13: la durabilité des bétons face aux incendies, presse de l'école nationale des ponts et chaussées.

[26] Blundell R., Diamond C., Browne R.G., (1976). Les propriétés du béton soumis à de hautes températures de, Impérial College (London) : CIRIA Under water Groupe, 1976. 20. Technical note n° 9,1976. [En Anglais].

[27] Gawska H., (2004) .Comportement à haut température des bétons à haute performance – évolution des principales propriétés mécaniques. Thèse doctorat, Ecole Nationale des ponts et de chaussées et l'Ecole Polytechnique de Cracovie.

[28] khory G.A., (1992). Resistance à la compression du béton à des températures élevées : une réévaluation.Résistance à la compression du béton de recherche, Vol.44.291. [En Anglais]

[29] Barluenga .G. F.Hernandez –olveres, (2004).comportement au feu du BHP incorporant du caoutchouc. Cément and Concret Research, Vol.34, pp ; 109-117. [En Anglais]

[30] Planel D.,Sercombe J. ,Le Bescop P.,Adenot F.,Torrenti J.M. , (2006).La performance à long terme de la pate de ciment lors de la combinaison du calcaim lixiviation-sulfate attaque :cinétique et effet de taille ,cement and concrete Research Vol.36 ,pp.137. [En Anglais]

[31] A.Macias ,S.Goni ,J.Madride ,Limite de test de Koch-Steinegger pour évaluer la durabilité des pates de ciment en milieu acid.Cement and concret Research.Vol.29, n°1999 ,2005-2009.

# *Annexes*

## Caractérisation des constituants

### 1. Le ciment

#### Masse volumique

On utilise un pycnomètre afin de travailler à volume constant. Le liquide utilisé est non réactif avec le ciment : toluène ou cyclohexane.

La masse volumique des ciments varie de 2,85 à 3,21 g/cm<sup>3</sup>

#### Détermination de la consistance normale

##### Mode opératoire

La quantité de ciment qui doit être pesé est de 500g, une certaine quantité d'eau, par exemple 125g doit être introduite à partir d'un verre gradué

- ✓ Ajouter les 500g de ciment pesé à l'eau et ceci soigneusement afin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment.
- ✓ la durée de cette opération ne doit pas être inférieure à 5min ni supérieure à 10min.
- ✓ Mettre le malaxeur en route immédiatement à vitesse lente pendant 60 secondes.
- ✓ Tourner à vitesse rapide pendant 2 minutes, au bout de 3 minutes arrêter la machine pendant 15 secondes racle la pâte adhérente à la cuve. Remettre alors la machine à vitesse rapide.
- ✓ Introduire la pâte malaxée dans le moule tronconique (préalablement placé sur une plaque de verre légèrement graissée).
- ✓ Régler préalablement l'appareil de VICAT muni de la sonde.
- ✓ abaisser la sonde avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive contact de la pâte, observer une pose de 01 à 02 secondes à cette position de manière à éviter une vitesse initiale ou une accélération forcée des parties mobiles.
- ✓ Lâcher alors rapidement les parties mobiles, la sonde doit pénétrer verticalement au centre de la pâte. Lâcher la sonde de 4 minutes après l'instant (zéro) effectuée la lecture de l'échelle à la fin de la pénétration ou 30 secondes après la libération de la sonde.

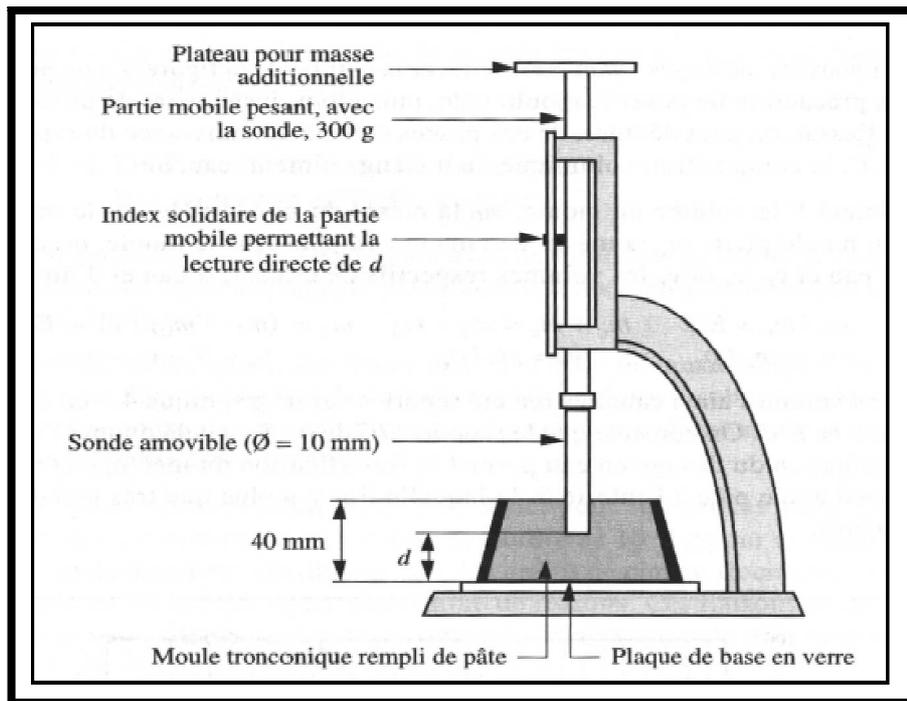
La consistance normale est donnée par la formule suivante :

$$CN = \frac{V_e}{P_c}$$

Où :

$V_e$  : volume d'eau de gâchage.

$P_c$  : poids de ciment



**Figure :** Appareil de Vicat

### Détermination du temps de prise

#### Principe d'essai

Remplir le moule de l'appareil de VICAT de pâte de consistance normale et arasé, abaisser l'aiguille avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact de la pâte, lâcher alors rapidement la partie mobile, l'aiguille doit pénétrer verticalement dans la pâte répéter l'essai de pénétration sur la même éprouvette à des position convenablement espacés à plus de 10 mm du bord de moule.

#### Début de prise

L'aiguille de VICAT descendue perpendiculairement à la surface de la pâte est immobilisée pendant un court arrêt quand elle entre en contact avec cette surface est abandonnée à elle-même sans vitesse initiale.

Le temps mesuré, depuis l'instant 0, au bout duquel distance entre l'aiguille et la plaque de base est entre 0 et 1mm est le temps de début de prise de ciment.

#### Fin de prise

C'est le temps, mesuré depuis l'instant 0, au bout duquel l'aiguille ne pénètre plus la l'ère fois qu'à 1mm dans l'éprouvette.

**Remarque :** pour la détermination de temps de prise on utilise le même appareil utilisé pour la détermination de la consistance normal « appareil de VICAT » sauf on remplace la cendre par une aiguille de 1 mm.

### Détermination de la surface spécifique de Blaine NF EN 196-6

La surface spécifique d'un liant est calculée en fonction du temps que met un volume d'air constant, sous une pression déterminée et la température connue, à traverser une couche tassée de liant.

#### Mode opératoire

La surface spécifique est déterminée avec le perméabilémètre de Blaine.

- On place un papier filtre sur la plaque inférieure de la cellule.
- On introduit l'échantillon de ciment et on égalise en secouant légèrement la cellule.
- On place ensuite un papier-filtre au-dessus de l'échantillon et on comprime ce dernier en tournant légèrement le piston jusqu'à ce que son col se supporte par le bord supérieur de la cellule.

Après compression de l'échantillon dans la couche soumise à l'essai et le papier filtre.

- ✓ On relie la cellule du tube du manomètre et on s'assure de la parfaite étanchéité du raccord.
- ✓ On ferme le robinet monté sur le tube manomètre, on comprime la poire en caoutchouc.
- ✓ Le relâchement simultané de la pression sur la poire et l'ouverture du robinet d'aspiration ont pour effet, l'air est lentement aspiré du tube du manomètre et le liquide est refoulé vers le haut, lorsque le niveau du liquide atteint le repère supérieur.
- ✓ On ferme le robinet on met le chronomètre en marche lorsque la surface inférieure du ménisque franchisse le 2<sup>ème</sup> trait annulaire depuis le sommet du tube.
- ✓ On arrête le chronomètre.

#### ➤ Expression des résultats

- La surface spécifique est calculée par la formule suivante :

$$S = K \frac{\sqrt{e^3 t}}{\rho (1 - e) \sqrt{\eta}}$$

- Dans laquelle :

S : surface spécifique (cm<sup>2</sup>).

K : constant de l'appareil, égale à 28,26.

E : porosité de la couche tassée, égale à 0,5.

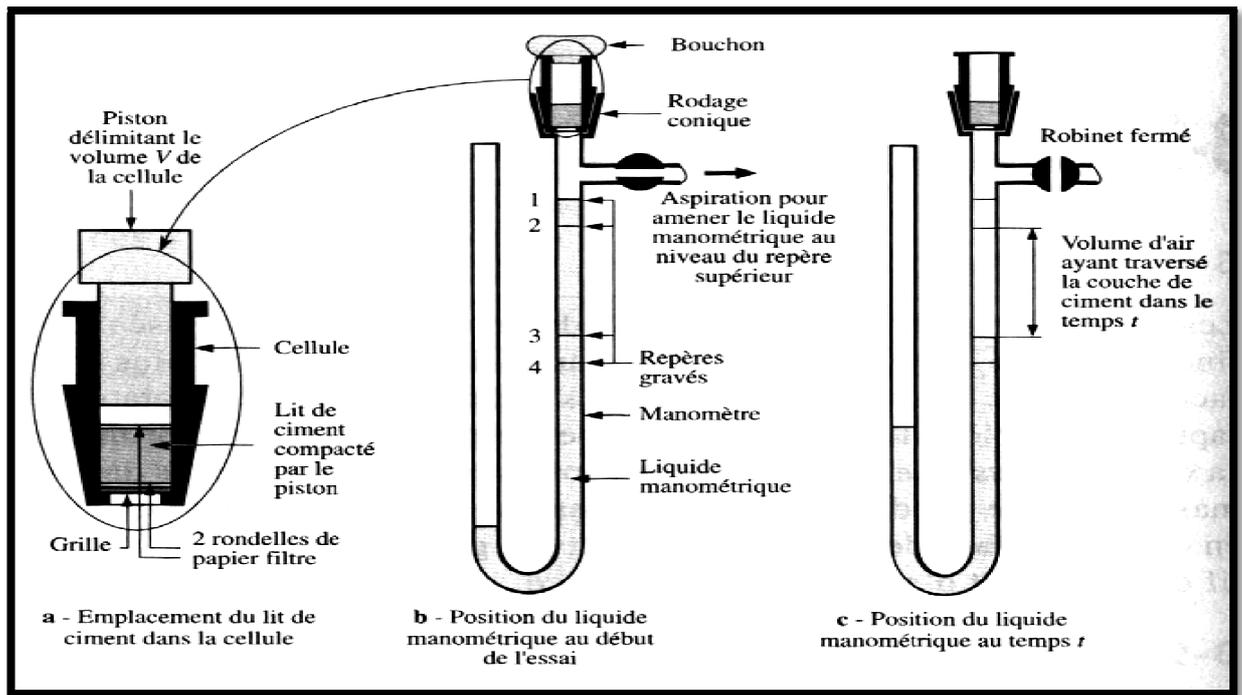


Figure : La surface spécifique de Blaine

## 2. Les sables

### Masse volumique

La masse volumique d'un matériau est la masse de ce matériau par unité de volume. son symbole est désigné par  $M_v$ , comme on distingue le volume absolu et le volume apparent

### Détermination de la masse volumique absolue.

#### Définition

La masse volumique absolue  $\rho_s$  est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Les masses volumiques s'expriment en  $t/m^3$ , en  $kg/dm^3$ , ou en  $g/cm^3$ . La masse volumique absolue moyenne des granulats silico-calcaires est prise égale, en première approximation, à  $2,65 t/m^3$  ou  $2,65 g/cm^3$ .

#### But de l'essai

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

### Méthode de l'éprouvette graduée

Cette méthode est très simple et très rapide. Elle utilise du matériel très courant de laboratoire. Toutefois sa précision est faible.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume  $V_1$  d'eau.
2. Peser un échantillon sec  $M$  de granulats (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume  $V_2$ .

La masse volumique est alors:

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Pour opérer dans de bonnes conditions, utiliser une éprouvette graduée en verre de 500 cm<sup>3</sup> de volume. La lecture des niveaux  $V_1$  et  $V_2$  doit se faire en bas du ménisque formé par l'eau. En effet, celle-ci a tendance à remonter sur les bords de l'éprouvette sur une hauteur de 1 à 2 mm, ce qui fausse bien sûr la lecture des volumes si la lecture est effectuée en haut du ménisque.

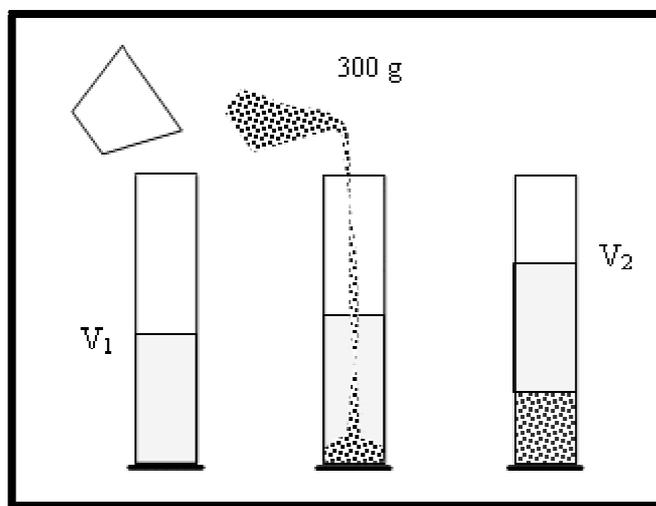


Figure : Méthode de l'éprouvette

### Mesure la propreté de sable (NF EN 933-8)

La propreté des granulats peut s'apprécier de différentes façons telles que l'essai au bleu de méthylène, d'équivalent de sable à 10 % de fines etc., mais dans ce cours, on va présenter seulement l'essai d'équivalent de sable.

### But de l'essai

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

### Principe de l'essai

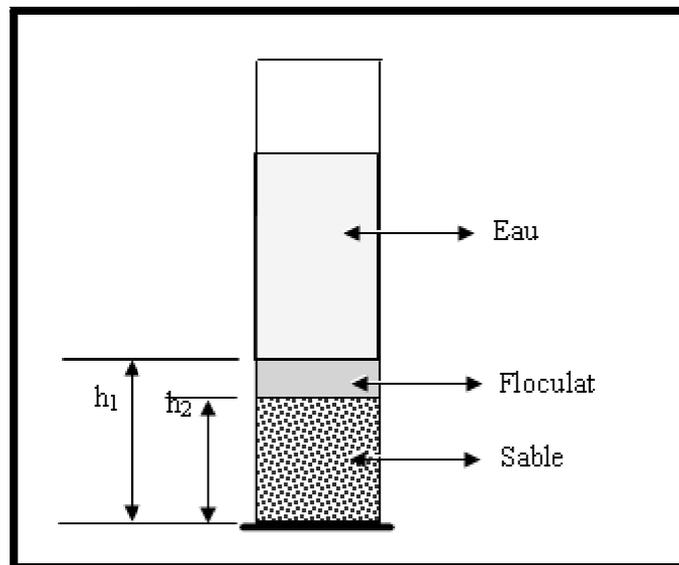
On agite une quantité de sable dans une solution lavante dans un récipient, on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- ✓ hauteur  $h_1$  : sable propre + éléments fins,
- ✓ hauteur  $h_2$  : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention est (a). L'essai dit d'équivalent de sable - permet de déterminer le degré de propreté du sable :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} 100$$

Selon que la hauteur  $h_2$  est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine **ESV** (équivalent de sable visuel) et **ES** (équivalent de sable au piston)



**Figure:** Définition de l'équivalent de sable

**Tableau : Equivalent de sable**

<b>E.S.V</b>	<b>E.S.P</b>	<b>Types de sable</b>	<b>Influence</b>
<65	<60	Argileux	Risque de retrait ou de gonflement
>65	<75	Très argileux	Retrait assez fort
75-85	70-80	Bon sable	Bon béton : haute qualité
>85	>80	Manque de fine d'argile	Manque de plasticité

**Analyse granulométrie**

**Préparation de prise d'essai**

Séchage la prise d'essai en la portant à une température de  $(110 \pm 5)$  °C jusqu'à masse constante, laisse à refroidir, peser et inscrire le résultat, soit M1

### Essais mécaniques

L'éprouvette utilisée dans l'essai de flexion est une éprouvette prismatique  $7 \times 7 \times 28$  cm en mortier . La rupture est effectuée sous charge concentrée dans une machine munie d'un dispositif à trois rouleaux

### Dispositif de l'essai

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à rouleau de 10 mm de diamètre, distant de 210

mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une face latérale de moulage, et un troisième rouleau de même diamètre, équidistant des deux premiers, et transmettant la charge  $F$ .

Pour transmettre une répartition uniforme des efforts sur l'éprouvette, deux rouleaux doivent pouvoir osciller légèrement de leur centre dans le plans vertical perpendiculaire au grand axe de l'éprouvette.



**Figure :** Essai mécanique de rupture par flexion

## Résistance mécanique à la compression (NF P 15-471)

L'essai de compression est exécuté sur une presse pour matériaux durs, sur les demi-éprouvettes provenant de l'essai de flexion. Si la compression a lieu plus de 20mm après celui de la flexion, il faut conserver les demi éprouvettes dans l'armoire humide.

### Dispositif de l'essai :

Chaque demi prisme est essayé en compression sur ses faces de moulage, sous une section de  $40 \times 40$  mm, entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur, de  $40 \pm 10,1$ mm de largeur, de longueur supérieur à 40mm et dont la tolérance de plénitude est de 0,01mm. Ces plaques sont en acier dur d'une dureté Vickers d'au moins 600, ou de préférence en carbure de tungstène.

Le demi-prisme est placé entre elles de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1cm. (voir figure 65)

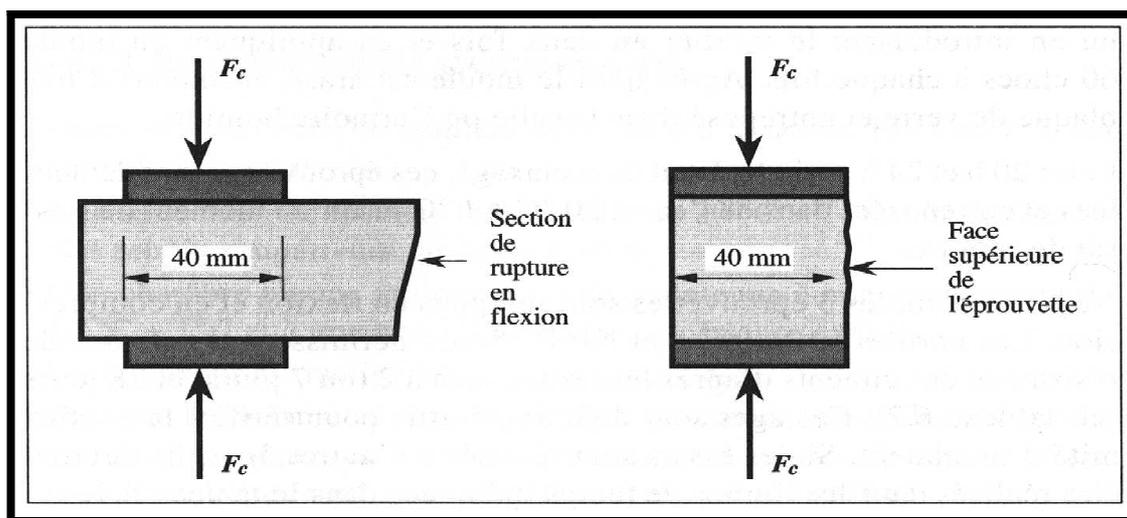


Figure 22 : Résistance mécanique à la compression

$$R_f = \frac{F_c}{b^2}$$

L'ensemble du dispositif et de l'éprouvette est placé entre les plateaux d'une presse répondant aux spécifications du fascicule de documentation FD P n°18-308 « Spécification de construction, d'emploi et de contrôle des presses destinées à l'essai de compression des matériaux durs ».

### Los Angeles

#### Préparation de l'échantillon

- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand.
- Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à une masse constante.
- la masse d'échantillon pour l'essai sera de 500g ±5g

#### Mode opératoire.

- Introduire avec précaution la charge de boulet correspondant à la classe granulaire choisie puis l'échantillon pour essai.
- Faire effectuer à la machine 500 rotation à une vitesse régulière 30 à 33 tr/ min.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm
- Laver le refus au tamis de 1.6 mm, égoutter et sécher à 105 °C jusqu'à masse constante.
- Peser ce refus une fois sécher, soit m1 le résultat de la peser.

#### 4-1-3-expression des résultats.

Le coefficient Los Angeles (LA) est par définition le rapport

$$LA = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Où :  $M_i$  : c'est la masse initial 5000g

$M_f$  : c'est la masse sèche de la fraction du matériau après l'essai au tamis de 1.6 mm, en gramme.



L'appareil de los-Angeles

### Micro-Dévale et friabilité de sable

#### 4-2-1- Préparation de l'échantillon.

L'essai doit être effectué sur un lot de granulats ayant une granularité conforme à l'une des trois classes granulaires suivantes :

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
10-14	5000 ± 5
6.3-10	4000 ± 5
4-6.3	2000 ± 5

Pour effectuer un essai sec ou un essai en présence de l'eau :

- Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à obtention d'une masse constante.
- Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie.
- La masse de l'échantillon pour essai sera de 500g ± 2g.

#### 4-2-2-Modes Opératoires.

Introduire dans le cylindre d'essai, disposé ouverture vers le haut, la charge abrasive puis les 500 g de matériau préparé.

Pour effectuer un essai en présence d'eau on ajoutera 2.5litre.

- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de (100 ± 5) tr/min pendant 2 heures ou 12000 tr.
- Après essai, recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes de granulat. Laver soigneusement l'intérieur de cylindre.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6mm.
- Laver l'ensemble sous un jet d'eau et retirer la charge abrasive.
- Sécher le refus à 1.6mm à 105°C jusqu'à masse constante.
- Peser ce refus au gramme près ; soit m0 le résultat de la pesée.

### Expression des résultats.

Le coefficient Micro Deval est par définition le rapport

$$MDE = \frac{M_i - M_f}{5} \times 100$$

Où :  $M_i$  : c'est la masse initial 500 g

$M_f$  : c'est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis



L'appareil de micro-dévale

### Les essais pour le béton frais

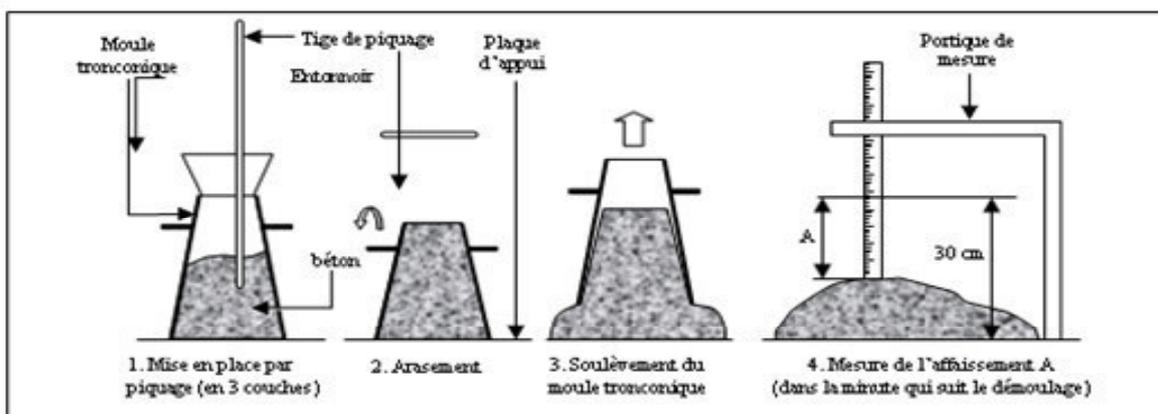
- **Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS**

L'essai d'affaissement est le plus couramment employé pour le béton sur chantier. Cet essai est cependant très pratique pour détecter des variations de l'homogénéité d'un béton donné. On utilise un moule normalisé de 300 mm de hauteur, placé sur une surface lisse, la petite ouverture vers le haut, le cône est rempli de béton en trois couches. Chacune des couches est compactée par 25 coups d'une tige métallique normalisée.

Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse. La différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est l'affaissement ; il est mesuré à 5 mm près (voir figure 1).

**Tableau :** Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide F1	≥ 16	



**Fig.01 :** Mesure de l'affaissement au cône d'ABRAMS

**Tableau des normes**

<i>ESSAIS</i>	<i>NORME DE REFERENCE</i>
<b>• Essais physico-mécaniques</b>	
<i>Analyses granulométriques, (Teneur en fine)</i>	<i>NF P18-560</i>
<i>Masse volumique apparente et absolue des granulats. (<math>\rho_{ab}</math>), (<math>\rho_{ap}</math>)</i>	<i>NF EN 1097-3 - NF EN 1097-6</i>
<i>Equivalent de sable (SE)</i>	<i>NF EN 933-8.</i>
<i>Essai de friabilité des sables. (<math>F_s</math>)</i>	<i>NF P 18-576.</i>
<i>Essai de fragmentation (Los-Angeles). (LA)</i>	<i>NF EN 1097-2.</i>
<b>• Essai sur béton frais</b>	
<i>Plasticité au cône d'Abrams (slump.test)</i>	<i>NF EN 12350-2.</i>
<i>Densité du béton frais.</i>	<i>NF EN 12350-6</i>
<b>• Essai sur béton durci</b>	
<i>Essai de compression sur les cubes 15X15X15 cm</i>	<i>NF EN 12390-3 (Avril .2012)</i>

# Acide sulfurique

Note établie par les services techniques et médicaux de l'INRS

$H_2SO_4$

Numéro CAS

N° 7664-93-9

Numéros CE

Index N° 007-005-00-7

(mélange sulfo-nitrique, conc  $HNO_3 > 30\%$ )

Index N° 016-019-00-2

(oléum,  $20\% \leq \text{conc } SO_3 \leq 65\%$ )

Index N° 016-020-00-8

(solutions aqueuses)

EINECS N° 231-639-5

(solutions aqueuses)

## CARACTERISTIQUES

### Utilisation

- Fabrication d'engrais (superphosphates).
- Industrie des textiles artificiels.
- Décapage en sidérurgie.
- Lessivage des minerais.
- Industrie du pétrole.
- Fabrication de nombreux produits chimiques.
- Agent de sulfonation et de déshydratation...

### Propriétés physiques [1 à 6]

L'acide sulfurique pur se présente sous la forme d'un liquide incolore, inodore, à consistance sirupeuse ; diverses impuretés le colorent souvent en jaune brun.

A l'air et à la température ordinaire, l'acide sulfurique n'est pas volatil et ne produit pas de fumées. A partir de 30 °C, il émet des vapeurs. A l'ébullition, elles sont lourdes, blanchâtres et piquantes.

Ses principales caractéristiques physiques sont les suivantes :

Masse molaire : 98,08

Point de fusion : 10,49 °C

Point d'ébullition : 290 °C avec décomposition en trioxyde de soufre et eau

Densité ( $D_{4}^{15}$ ) : 1,836

On trouve dans le commerce des solutions aqueuses à diverses concentrations.

L'acide sulfurique fumant ou « oléum » résulte de la dissolution en proportions variables du trioxyde de soufre dans l'acide sulfurique. Les oléums sont des liquides denses et visqueux rappelant l'huile, incolores ou plus ou moins colorés en brun suivant leur degré de pureté. Ils émettent à température normale des

fumées blanchâtres et lourdes, d'odeur piquante et pénétrante.

### Propriétés chimiques [1 à 7]

Sous l'action de la chaleur, l'acide sulfurique se décompose en trioxyde de soufre et en eau. La réaction est pratiquement complète vers 450 °C. A température plus élevée, le trioxyde de soufre est lui-même dissocié en dioxyde de soufre et en oxygène.

L'acide sulfurique concentré est un produit oxydant et déshydratant (effet variable suivant la concentration).

Il réagit vivement avec de nombreuses matières organiques, les métaux en poudre, les carbures, chlorates, chromates, permanganates, nitrates, fulminates, le fluosilicium en produisant une très grande quantité de chaleur. La réaction peut être explosive.

Si l'on verse de l'eau sur de l'acide sulfurique concentré, celui-ci « explose » littéralement ; cette réaction violente et dangereuse est accompagnée de projection de liquide.

L'acide sulfurique concentré réagit violemment avec les bases fortes anhydres ou en solutions concentrées.

Les principaux métaux usuels sont attaqués par l'acide sulfurique avec dégagement d'hydrogène. L'acide dilué attaque le zinc, le fer, certaines fontes et le cuivre, mais il n'a pas d'action sur le plomb. L'acide sulfurique concentré n'a pas d'action sur le fer, l'acier et la fonte à froid ; à chaud, presque tous les métaux usuels réagissent y compris certaines fontes.

### Récipients de stockage

Le stockage de l'acide sulfurique concentré s'effectue généralement dans des récipients en acier inoxydable.

Le verre est utilisable pour de petites quantités ; dans ce cas, les bonbonnes seront protégées par une enveloppe métallique plus résistante, convenablement ajustée.



C - Corrosif

## ACIDE SULFURIQUE ... ( $\geq 15\%$ )

- R 35 - Provoque de graves brûlures.  
 S 26 - En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.  
 S 30 - Ne jamais verser de l'eau dans ce produit.  
 S 45 - En cas d'accident ou de malaise consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette).  
 231-639-5 - Etiquetage CE.

\* Mise à jour de l'édition 1988 portant sur la réglementation seulement.

## Méthodes de détection et de détermination dans l'air

– Appareil Draeger équipé du tube réactif acide sulfurique 1/a.

– Prélèvement sur tube de gel de silice, dosage par chromatographie ionique après désorption par l'éluant [8].

– Prélèvement sur filtres PVC (aérosols) associés à des filtres cellulose imprégnés de carbonate de sodium (polluants gazeux), dosage par chromatographie ionique [9].

## RISQUES

### Risques d'incendie

L'acide sulfurique est un composé inflammable et inexplorable. Toutefois, du fait de son action corrosive sur de nombreux métaux, action qui s'accompagne d'un dégagement d'hydrogène, l'acide sulfurique peut être une source secondaire d'incendies et d'explosions : en effet, l'hydrogène est un gaz très inflammable et explosible en mélange avec l'air (limites d'explosivité variant entre 4 et 75 % en volume).

En cas d'incendie où est impliqué l'acide sulfurique, l'agent d'extinction préconisé est le dioxyde de carbone. Éviter tout contact de l'acide avec l'eau.

En raison des risques, lors d'un incendie, faire évacuer rapidement les locaux, ne laisser intervenir que des personnes spécialisées, dotées de scaphandre et d'équipements anti-acide, ainsi que d'appareils de protection respiratoire autonomes et isolants.

Éloigner si possible de la zone sinistrée les réceptifs contenant de l'acide sulfurique.

### Pathologie - Toxicologie

#### Toxicité expérimentale

##### Aiguë [10 à 15]

La DL 50 par voie orale chez le rat est de 2 140 mg/kg.

L'administration orale d'acide sulfurique produit des lésions caustiques sévères du tube digestif lorsque le pH de la solution est inférieur à 1,5. L'administration précoce d'eau aggrave ces lésions car elle augmente la quantité de liquide présente dans l'estomac sans modifier sensiblement son acidité.

L'exposition à des aérosols sulfuriques est responsable d'une irritation des voies respiratoires dont l'intensité dépend de la concentration atmosphérique d'acide, des caractéristiques de l'aérosol, de la durée d'exposition et de la sensibilité des animaux exposés. Ainsi, les CL 50 déterminées chez le cobaye varient entre 18 et 109 mg/m<sup>3</sup> pour une exposition de 8 h. Pour une exposition de 2 h, chez le rat et la souris, la CL 50 est respectivement de 510 mg/m<sup>3</sup> et 320 mg/m<sup>3</sup>. L'un des témoins les plus sensibles de l'effet irritant

de l'acide sulfurique est la modification du diamètre des voies aériennes. Une bronchoconstriction apparaît, dès 0,1 mg/m<sup>3</sup> pendant 1 h chez le cobaye. Les particules de diamètre inférieur ou égal à 1 µm sont les plus irritantes.

L'acide sulfurique modifie la clairance du mucus dans les voies respiratoires. Il l'accélère au niveau des grosses bronches et la diminue dans les voies aériennes de petit calibre. A faibles concentrations, le premier phénomène est prédominant ; aux concentrations élevées, c'est le second.

Des lésions caustiques de l'arbre respiratoire apparaissent à des concentrations beaucoup plus élevées et pour des durées d'exposition beaucoup plus longues que celles où l'on note des altérations fonctionnelles. Lorsque les aérosols sont constitués de particules de diamètre inférieur à 1 µm, les lésions du bas appareil sont les plus précoces.

Chez le cobaye, les doses létales sont d'autant plus faibles que la taille des particules constituant l'aérosol est plus grande ; à fortes concentrations, la cause de la mort est un bronchospasme.

Une étude a montré l'apparition d'une hyperréactivité bronchique après une exposition unique à l'acide sulfurique (19 mg/m<sup>3</sup> pendant 1 heure) chez les cobayes que l'aérosol avait rendus dyspnéiques.

Des solutions concentrées d'acide sulfurique (pH ≤ 1,5) sont caustiques pour la peau et les muqueuses oculaires. La gravité des lésions produites dépend de la concentration de la solution, mais aussi de la quantité appliquée et du temps de contact.

##### Subaiguë, chronique [16 à 18]

De nombreuses études des effets de l'exposition prolongée (supérieure à 12 heures) ou répétée à des aérosols d'acide sulfurique sont publiées.

Des lésions macroscopiques de l'arbre respiratoire ne sont décrites que pour des expositions à des concentrations élevées. Chez le cobaye, qui est l'une des espèces les plus sensibles, une pneumopathie interstitielle et un œdème alvéolaire sont notés dès 2 mg/m<sup>3</sup> pendant 5 jours, mais, dans une autre expérimentation, 10 mg/m<sup>3</sup>, 6 h par jour pendant 6 mois, n'entraînent que des lésions histologiques discrètes. Chez le rat et le singe, des expositions continues de 7 jours respectivement à des concentrations de 172 mg/m<sup>3</sup> et 502 mg/m<sup>3</sup> ne produisent pas d'atteinte décelable macroscopiquement.

En revanche, l'examen histologique, les mesures de la clairance du mucus, de la réactivité bronchique et de la résistance des voies aériennes permettent de déceler des anomalies pour des expositions à des concentrations beaucoup plus faibles (inférieures à 1 mg/m<sup>3</sup>).

Les lésions produites dépendent aussi de la taille des particules constituant l'aérosol. En deçà d'un micromètre, les aérosols sont d'autant plus irritants que le diamètre des particules est plus grand. De un à cinq micromètres, les données publiées sont

discordantes ; ainsi, chez le cobaye, les particules de 0,9 µm semblent plus irritantes que celles de 4 µm, alors que celles de 1 µm sont mieux tolérées que celles de 1,5 µm. Au delà de 5 µm, les particules se déposent dans les voies aériennes supérieures, les petites bronches et les alvéoles sont indemnes.

#### Toxicité sur l'homme

##### Aiguë [11, 19 à 21]

L'acide sulfurique est une substance corrosive pour la peau et les muqueuses en contact. L'intensité et la nature des lésions qu'il provoque dépendent de plusieurs facteurs :

- concentration initiale du produit ou des aérosols inhalés,
- durée de l'exposition,
- variations interindividuelles de la tolérance à l'acide sulfurique...

Ainsi, il a été observé, pour des expositions brèves à des concentrations faibles ou modérées d'aérosols inhalés, variant de 0,35 à 3 mg/m<sup>3</sup>, des effets d'intensité variable tels que :

- une accélération du rythme respiratoire,
- une sensation d'irritation des voies aériennes supérieures,
- un syndrome obstructif modéré chez des sujets sans antécédent particulier,
- une diminution de la conductance spécifique des voies aériennes avec hyperréactivité bronchique.

La tolérance des asthmatiques est moins bonne : un syndrome obstructif distal et une augmentation de la clairance mucociliaire peuvent apparaître pour des concentrations beaucoup plus faibles et des durées d'exposition beaucoup plus brèves.

L'exposition à de fortes concentrations d'acide sulfurique provoque immédiatement une irritation intense des muqueuses oculaires et respiratoires : hyperhémie conjonctivale, larmolement, douleurs oculaire et rétrosternale, toux, dyspnée. A l'arrêt de l'exposition, la symptomatologie s'amende, mais il faut craindre la survenue retardée d'un œdème pulmonaire lésionnel. Secondairement, la surinfection bactérienne est habituelle, l'hypersécrétion bronchique et la desquamation de la muqueuse brûlée sont responsables d'obstructions tronculaires et d'atélectasies. A terme, des séquelles respiratoires (sténoses bronchiques, broncheectasies, emphysème, fibrose pulmonaire) et oculaires (opacités cornéennes, glaucome, cataracte) sont faibles.

L'ingestion d'une solution concentrée d'acide sulfurique (pH ≤ 1,5) est immédiatement suivie de douleurs buccales, rétrosternales et épigastriques. Les vomissements sont fréquents et généralement sanglants. L'examen oropharyngé et la fibroscopie œsogastroduodénale révèlent une irritation intense et des ulcérations plus ou moins étendues du tractus digestif supérieur. Le bilan biologique montre une acidose métabolique et une élévation des enzymes tissulaires, témoignant, de la nécrose. L'hyperleucocytose est constante. Les complications qui peuvent survenir dans les jours suivant l'ingestion

sont : des hémorragies digestives, des perforations œsophagiennes ou gastriques, un choc (secondaire à une perforation ou à une hémorragie massive), une acidose métabolique intense et/ou une coagulopathie de consommation (évoquant une nécrose étendue ou une perforation), une détresse respiratoire (révélant un œdème laryngé, une destruction du carrefour aérodigestif, une pneumopathie d'inhalation ou une fistule œsotrachéale). L'évolution ultérieure est dominée par le risque de constitution de sténoses digestives.

Les projections cutanées ou oculaires de solutions concentrées d'acide sulfurique sont responsables de lésions caustiques locales sévères, si une décontamination n'est pas rapidement réalisée. En cas d'atteinte oculaire, des séquelles invalidantes sont possibles : opacités cornéennes, cataracte, glaucome...

#### Chronique [18]

Les études épidémiologiques de populations exposées professionnellement à des aérosols d'acide sulfurique sont peu nombreuses :

– chez 124 ouvriers d'une usine de production d'acide sulfurique, les seules anomalies signalées sont une augmentation de la fréquence de l'emphysème et des érosions dentaires,

– dans une entreprise italienne, 57 ouvriers exposés n'avaient pas de signe d'irritation oculaire ou respiratoire. L'incidence de la pathologie respiratoire n'était pas augmentée. En revanche, les troubles digestifs étaient fréquents,

– dans une fabrique britannique d'accumulateurs, les arrêts de travail et les bronchites étaient plus fréquents chez les ouvriers exposés à l'acide sulfurique ( $m : 1,4 \text{ mg/m}^3$ ).

– une étude égyptienne signale une incidence élevée des érosions dentaires et des bronchites chez 33 ouvriers exposés à de fortes concentrations d'acide sulfurique ( $13-35 \text{ mg/m}^3$ ). Le tabagisme, plus important chez les individus exposés que chez les témoins, rend difficile l'interprétation des troubles respiratoires.

– chez 248 ouvriers d'une fabrique d'accumulateurs, les seules anomalies corrélées à l'exposition à l'acide sulfurique étaient une discrète diminution de la capacité vitale aux épreuves fonctionnelles respiratoires et, surtout, une incidence élevée d'érosions dentaires. Ces dernières lésions étaient notées, même après une exposition brève à des concentrations modérées (dès  $0,23 \text{ mg/m}^3$  pendant 4 mois).

Deux autres études épidémiologiques mettent en évidence la grande fréquence des érosions dentaires chez les travailleurs exposés à des aérosols d'acide sulfurique.

#### Cancérogénicité [22]

L'étude rétrospective de 50 cas de cancers des voies aériennes supérieures, diagnostiqués dans une usine de production d'éthanol entre 1944 et 1980, a mis en évidence une liaison significative cancer-exposition à l'acide sulfurique. Cette liaison est particulièrement forte pour les tumeurs laryngées. Cette seule étude ne permet pas, pour l'instant, de conclure sur le pouvoir cancérogène éventuel de l'acide sulfurique.

#### Valeurs limites d'exposition

En France, le ministère du Travail a fixé pour l'acide sulfurique la valeur limite d'exposition (VLE) et la valeur limite de moyenne d'exposition (VME) indicatives qui peuvent être admises dans l'air des locaux de travail. Ces valeurs correspondent respectivement à  $3 \text{ mg/m}^3$  et  $1 \text{ mg/m}^3$ .

## REGLEMENTATION

### Hygiène et sécurité du travail

#### 1° Règles générales de prévention des risques chimiques

– Articles R. 231-54 à R. 231-54-8 du Code du travail.

#### 2° Aération et assainissement des locaux

– Articles R. 232-5 à R. 232-5-14 du Code du travail.

– Circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au J.O.)

– Arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (J.O. du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (J.O. du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.

#### 3° Prévention des incendies

– Articles R. 232-12 à R. 232-12-22 du Code du travail.

– Décret du 14 novembre 1988 (J.O. du 24 novembre 1988), section V, articles 43 et 44 (installations électriques) et arrêtés d'application.

– Décret du 17 juillet 1978 et arrêtés d'application relatifs au matériel électrique utilisable dans les atmosphères explosives.

#### 4° Cuves et réservoirs

– Article R. 233-46 du Code du travail et circulaire du ministère du Travail du 11 avril 1952 (non parue au J.O.).

#### 5° Valeurs limites d'exposition

– Circulaire du ministère du Travail du 10 mai 1984 (non parue au J.O.).

#### 6° Maladies de caractère professionnel

– Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la Sécurité sociale : déclaration médicale de ces affections.

#### 7° Classification et étiquetage

a) des solutions aqueuses d'acide sulfurique en contenant 5 % ou plus

• arrêté du 20 avril 1994 (J.O. du 8 mai 1994) qui prévoit les étiquetages suivants :

conc.  $\geq 15\%$  C ; R 35,

$5\% \leq \text{conc.} < 15\%$  Xi ; R 36/38

b) des oléums ( $20\% \text{ SO}_3 \leq \text{conc.} \leq 65\% \text{ SO}_3$ )

• arrêté du 20 avril 1994 (J.O. du 8 mai 1994), qui prévoit l'étiquetage suivant :

Corrosif R 35

Irritant R 37-14

c) des mélanges sulfo-nitriques contenant plus de 30 % d'acide nitrique

• arrêté du 20 avril 1994 (J.O. du 8 mai 1994), qui prévoit l'étiquetage suivant :

Comburant R 8

Corrosif R 35

d) des préparations renfermant de l'acide sulfurique ou un mélange sulfo-nitrique

• arrêté du 21 février 1990 modifié (J.O. du 24 mars 1990) ; des limites de concentration sont fixées pour l'acide sulfurique à l'annexe I de l'arrêté du 20 avril 1994.

#### 8° Travaux interdits

– Article R. 234-21 du Code du travail concernant certains travaux interdits aux jeunes travailleurs âgés de moins de dix-huit ans (fabrication et manutention de l'acide sulfurique fumant ou oléum).

### Protection de l'environnement

Installations classées pour la protection de l'environnement, Paris, Imprimerie des Journaux officiels, brochures n° 1001 :

– n° 1610, fabrication de l'acide sulfurique à plus de 25 % ;

– n° 1611, emploi ou stockage de l'acide sulfurique à plus de 25 % ;

– n° 1612, emploi ou stockage d'acide sulfurique fumant, d'acide chlorosulfurique ou d'oléum ;

– arrêtés du 10 juillet 1990 et du 1<sup>er</sup> mars 1993 modifiés relatifs aux rejets.

### Protection de la population

Décret du 29 décembre 1988 relatif à certaines substances et préparations vénéneuses (articles R. 5149 à R. 5170 du Code de la Santé publique) (J.O. du 31 décembre 1988) et circulaire du 2 septembre 1990 (J.O. du 13 octobre 1990) :

– détention dans des conditions déterminées,

– étiquetage (cf 7°).

### Transport

Se reporter éventuellement aux règlements suivants :

#### 1° Transport par route et chemin de fer

– Transport national, ADR et RID : cette substance doit être déclarée sous l'une des rubriques suivantes :

1831-Acide sulfurique fumant

• Classe : 8

• Code danger : X886

• Chiffre/lettre : 1°a

• Code matière : 1831

• Étiquettes : 8 et 6.1

1830-Acide sulfurique (plus de 51 % d'acide sulfurique)

- Classe : 8
- Code danger : 80
- Chiffre/lettre : 1<sup>b</sup>
- Code matière : 1830
- Étiquette : n° 8

2796-Acide sulfurique (pas plus de 51 % d'acide sulfurique)

- Classe : 8
- Code danger : 80
- Chiffre/lettre : 1<sup>b</sup>
- Code matière : 2796
- Étiquette : n° 8

1832-Acide sulfurique résiduaire

- Classe : 8
- Code danger : 80
- Chiffre/lettre : 1<sup>b</sup>
- Code matière : 1832
- Étiquette : n° 8

## 2° Transport par air

- IATA.

## 3° Transport par mer

- IMDG.

# RECOMMANDATIONS

## I. Au point de vue technique

### Stockage

- Stocker l'acide sulfurique dans des locaux frais, bien ventilés, à l'abri des rayons solaires et à l'écart de toute source d'ignition ou de chaleur. Le produit sera tenu éloigné des matériaux combustibles (bois, papiers), des composés inflammables (solvants), des bases, des réducteurs.
- Bannir de la construction et du local tout métal ou objet métallique susceptible de réagir avec dégagement d'hydrogène au contact de l'acide sulfurique.
- Le sol des locaux sera imperméable et formera cuvette de rétention afin qu'en cas de déversement accidentel, le liquide ne puisse se répandre au dehors.
- Les récipients seront soigneusement fermés et étiquetés. Reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement des emballages (toutefois maintenir si possible le produit dans l'emballage d'origine). Les récipients métalliques seront dégazés périodiquement.
- Les citernes fermées doivent être pourvues d'évents de section suffisante pour évacuer l'air au moment du remplissage ou pour le faire pénétrer au moment de la vidange. Ces ouvertures seront munies d'un dispositif de dessiccation d'air destiné à éviter l'entrée d'humidité dans les réservoirs d'acide concentré.
- Il est recommandé, dans certains cas, de munir les réservoirs d'une tuyauterie de trop plein permettant, éventuellement, l'écoulement de l'excès de liquide vers la cuve d'alimentation ou vers un récipient annexe de récupération.
- Prévoir à proximité et à l'extérieur, des équipements de protection, notamment des appareils de protection respiratoire isolants autonomes, un poste d'eau à débit abondant, des douches de sécurité et des fontaines oculaires en cas d'accident

### Manipulation

Les prescriptions relatives aux locaux de stockage sont applicables aux locaux où est manipulé l'acide sulfurique. En outre :

- Instruire le personnel des risques présentés par le produit, des précautions à observer et des mesures à prendre en cas d'accident.

- Éviter l'inhalation d'aérosols ou de vapeurs d'acide sulfurique. Effectuer en appareil clos toute opération industrielle qui s'y prête. Dans tous les cas, capter les émissions à leur source. Prévoir, à proximité, des appareils de protection respiratoire et des équipements de protection appropriés pour les travaux de courte durée, à caractère exceptionnel ou pour les interventions d'urgence.

- Contrôler fréquemment et régulièrement la teneur de l'atmosphère en acide sulfurique.

- Éviter le contact du produit avec la peau et les yeux. Mettre à la disposition du personnel, vêtements de protection, gants et lunettes de sécurité. Les effets seront maintenus en bon état et nettoyés après usage.

- Prévoir des douches de sécurité et des fontaines oculaires dans les ateliers où le produit est manipulé de façon constante.

- Effectuer les vidanges, transvasements, dilutions, dissolutions..., de manière à éviter les surchauffes locales, les projections de liquide et le dégagement de vapeurs. Interdire l'amorçage des siphons à la bouche et utiliser des appareils spécialement conçus pour cet usage.

- Pour les dilutions avec de l'eau, verser lentement l'acide dans l'eau par petites quantités et en agitant sans arrêt. **Ne jamais verser l'eau dans l'acide.** Chaque fois que la chose est possible, utiliser des appareils de mélange appropriés.

- Ne jamais procéder à des travaux sur et dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu de l'acide sulfurique ou ses solutions aqueuses sans prendre les précautions d'usage [23].

- Ne pas rejeter l'acide sulfurique à l'égout. Les rejets ne pourront être évacués qu'après neutralisation par des agents alcalins et dilution.

- Diluer le produit immédiatement à grande eau en cas de fuite ou de déversement accidentel de faible importance. Si les quantités répandues sont conséquentes, évacuer le personnel et ne laisser opérer que des équipes d'intervention entraînées et équipées.

- Conserver les déchets dans des récipients et réservoirs spécialement prévus à cet effet. Pour les détruire, les diluer et les neutraliser dans des installations appropriées. Lorsque les quantités à détruire sont importantes, les éliminer dans les conditions prévues par la réglementation (traitement dans l'entreprise ou dans un centre spécialisé).

## II. Au point de vue médical

- Eloigner des postes comportant un risque d'exposition les sujets atteints d'affections cutanées, cardio-pulmonaires chroniques ou de troubles du tractus digestif supérieur. L'examen clinique d'embauchage pourra être utilement complété par une radiographie pulmonaire et des épreuves fonctionnelles respiratoires de base en vue d'une comparaison avec les examens réalisés ultérieurement.

- Recommander aux porteurs de lentilles de contact d'utiliser des verres correcteurs lors des travaux où ils peuvent être exposés à des vapeurs ou aérosols acides.

- Lors des examens systématiques, rechercher plus particulièrement des lésions cutanées, oculaires et dentaires, ainsi que des signes d'irritation bronchopulmonaire et digestive ; les examens complémentaires d'embauchage pourront être également répétés à intervalles réguliers si nécessaire.

- Lors d'accidents aigus, demander dans tous les cas l'avis d'un médecin ou du centre antipoison. Préciser si possible le pH de la solution responsable. Les risques sont particulièrement graves lorsque le pH est inférieur à 1,5.

- En cas de contact cutané, laver immédiatement à grande eau pendant 15 min. Retirer les vêtements souillés. Si des lésions cutanées apparaissent ou si la contamination est étendue ou prolongée, consulter un médecin.

- En cas de protection oculaire, laver immédiatement et abondamment à l'eau pendant 10 à 15 min. S'il apparaît une douleur, une rougeur et un œdème locaux ou une gêne visuelle, consulter un ophtalmologiste.

- En cas d'inhalation massive de vapeurs ou d'aérosols, retirer le sujet de la zone polluée après avoir pris toutes les précautions nécessaires. Mettre en œuvre s'il y a lieu des manœuvres de réanimation. Laisser le sujet au repos en raison du risque d'accident respiratoire aigu retardé. Une surveillance clinique et radiologique prolongée peut s'avérer nécessaire.

- En cas d'ingestion de solutions diluées (pH supérieur à 1,5), en très faible quantité, faire boire un ou deux verres d'eau. S'il apparaît des douleurs rétrosternales et abdominales, des nausées et des vomissements, consulter un médecin.

- En cas d'ingestion de solutions concentrées, dont le pH est inférieur à 1,5, ou de solutions dont le pH n'est pas connu, quelle que soit la quantité absorbée, ne pas faire boire et ne pas tenter de provoquer des vomissements ; faire transférer rapidement, si possible par ambulance médicalisée, en milieu hospitalier pour un bilan des lésions caustiques du tractus digestif supérieur (examen de la cavité buccale, fibroscopie œsogastroduodénale), une surveillance clinique et biologique, et un traitement si nécessaire.

## Bibliographie

1. Acide sulfurique - Fiche de données de sécurité. Paris, Rhône-Poulenc, 1986.
2. PASCAL P. - Nouveau traité de chimie minérale. Paris, Masson, 1961, tome XIII, pp. 1239-1388.
3. KIRK OTHMER - Encyclopedia of Chemical Technology, 3<sup>e</sup> éd., vol. 22. New York, John Wiley and sons, 1983, pp. 190-254.
4. VALLAUD A., SALMON P. - L'acide sulfurique et ses dangers. Paris, INRS, édition ED 141 (épuisé).
5. Toxic and hazardous industrial chemicals safety manual for handling and disposal with toxicity and hazard data. Tokyo,

- International Technical Information institute, 1982, pp. 498-499.
6. SAX N.I. – Dangerous properties of industrial materials. New York, Londres, Van Nostrand Reinhold Company, 1984, p. 2487.
  7. Occupational health guideline for sulfuric acid. Cincinnati, NIOSH/OSHA, 1978.
  8. NIOSH manual of analytical methods, 3<sup>e</sup> éd., vol. 1. Cincinnati, National Institute for Occupational Safety and Health, 1984, méthode 7903.
  9. HERY M., LAMANT V., OURY B., PELTIER A. – Méthodes de prélèvement d'aérosols d'acides, de bases et de sels. *Cahiers de notes documentaires*, 1987, 129, ND 1650-129-87.
  10. Registry of toxic effects of chemical substances, supplément 1983-84 à l'édition 1981-82. Cincinnati, DHHS (NIOSH), vol. 2, p. 1753.
  11. GAMBLE J., JONES W., HANCOCK J. – Epidemiological-environmental study of lead acid battery workers. II. Acute effects of sulfuric acid on the respiratory system. *Environ. Res.*, 1984, 35, pp. 11-29.
  12. SCHAPER M., KEGERIZE J., ALARIE Y. – Evaluation of concentration – response relationships for histamine and sulfuric acid aerosols in unanesthetized guinea pigs for their effects on ventilatory response to CO<sub>2</sub>. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 1984, 73, pp. 533-542.
  13. WOLFF R.K. et coll. – Effects of sulfuric acid mist inhalation on mucous clearance and on airway fluids of rats and guinea pigs. *J. Toxicol. Environ. Health*, 1986, 17, pp. 129-142.
  14. RIPAUT J., CAVIGNEAUX A., PHILBERT M., CHESSE M. – Essai de neutralisation de l'action nécrosante du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur le tube digestif par l'administration précoce d'eau. *Arch. Mal. Prof.*, 1976, 37, pp. 673-679.
  15. GRANT W.M. – Toxicology of the eye, 2<sup>e</sup> éd. Springfield, Thomas Pub., 1974, pp. 959-960.
  16. SCHLESINGER R.B., GEARHEART J.M. – Early alveolar clearance in rabbits intermittently exposed to sulfuric acid mist. *J. Toxicol. Environ. Health*, 1986, 17, pp. 213-220.
  17. GEARHEART J.M., SCHLESINGER R.B. – Sulfuric acid-induced airway hyperresponsiveness. *Fund. Appl. Toxicol.*, 1986, 7, pp. 681-689.
  18. GAMBLE J., JONES W., HANCOCK J., MERCKSTROTH R.L. – Epidemiological-environmental study of lead acid battery workers. III. Chronic effects of sulfuric acid on the respiratory system and teeth. *Environ. Res.*, 1984, 35, pp. 30-52.
  19. UTELL M.J., MORROW R.E., HYDE R.W. – Comparison of normal and asthmatic subjects responses to sulphate pollutants aerosols. *Ann. Occup. Hyg.*, 1982, 26, pp. 691-697.
  20. KOENIG J.O., PIERSON W.E., HORIKE M. – The effects of inhaled sulfuric acid on pulmonary function in adolescent asthmatics. *Am. Rev. Resp. Dis.*, 1983, 128, pp. 220-223.
  21. BISMUTH C., BAUD P.J., CONSO F., FREJAVILLE J.P., GARNIER R. – Toxicologie clinique, 4<sup>e</sup> éd. Paris, Flammarion, 1987, pp. 539-543.
  22. SOSKONE C.L. et coll. – Laryngeal cancer and occupational exposure to sulfuric acid. *Am. J. Epidemiol.*, 1984, 120, pp. 358-365.
  23. Cuves et réservoirs Recommandation CNAM R 276. INRS. ■

# MasterGlenium SKY 841

**Superplastifiant, haut réducteur d'eau pour béton à faible E/C, hautes performances et très long maintien d'ouvrabilité.**

## Description

Le **MasterGlenium SKY 841** est un superplastifiant haut réducteur d'eau, issu du long savoir de BASF Construction Chemicals en terme de formulation et d'innovation.

.Le **MasterGlenium SKY 841** a été développé pour optimiser la production du béton prêt à l'emploi où qualité, durabilité, performance, ouvrabilité, faible viscosité et robustesse sont requises.

## La nouvelle chimie MasterGlenium

La chimie du **MasterGlenium** se différencie des superplastifiants traditionnels par son action nouvelle et originale qui améliore de façon très significative le pouvoir dispersant sur le ciment.

Cette nouvelle structure chimique agit sur le grain de ciment par répulsion électrostatique et effet stérique, c'est-à-dire en créant un obstacle physique au rapprochement des particules de ciment. De plus, cette réaction est la combinaison de deux actions successives. Dès l'incorporation du **MasterGlenium** dans le mélange cimentaire, une première partie active agit immédiatement et la seconde est présente mais inactive.

L'hydratation du ciment, qui se déroule normalement, fait évoluer le PH du mélange vers la basicité, ce qui provoque la libération, progressive des molécules complémentaires.

Celles-ci travaillent de la même manière que les premières et prolongent donc l'état de dispersion évitant ainsi la floculation et donc le raidissement précoce du mélange

## Domaine d'application

**MasterGlenium SKY 841** est recommandé pour la fabrication de béton de consistance plastique à auto plaçant nécessitant un long maintien d'ouvrabilité et aux performances initiales élevées

**MasterGlenium SKY 841** est donc adapté à l'industrie du béton prêt à l'emploi et aux chantiers de Génie Civil.

Il est particulièrement recommandé pour les usages suivants :

- Bétons à très long maintien d'ouvrabilité
- Fondations profondes (parois moulées, pieux.....)
- Pompages longues distances
- Bétons de bâtiment
- BAP/BAN
- Bétons de Génie Civil (ouvrages d'art, tunnels)
- Bétons à faible E/C et long maintien d'ouvrabilité

## Propriétés

L'excellent effet de dispersion de la chimie des **MasterGlenium SKY** permet de conserver une consistance S4 ou S5 sur des bétons à faibles E/C pendant plus de 90 minutes sans retard de prise.

Le **MasterGlenium SKY 841** offre les avantages suivants :

- Béton à faible viscosité même à faible rapport E/C
- Long maintien d'ouvrabilité sans retard de prise préjudiciable
- Béton à haute performance
- Optimisation des dosages en liant
- Grande plage de dosage possible
- Bonne réactivité avec les granulats concassés
- Amélioration de la durabilité liée au faible E/C
- Pompage sur de longues distances

## Caractéristiques

Aspect	Liquide
Couleur	Brun
Densité	1.06 ± 0.03 g/cm <sup>3</sup>
pH	5.5 ± 1.8
Teneur en Chlorures	< 0.1%
Extrait sec	26 ± 1.3%
Teneur en Nitrate	< 2%
Transport	Non classé
Etiquetage	Pas de symbole exigé

# MasterGlenium SKY 841

## Mode d'emploi

L'effet optimal est obtenu par incorporation du **MasterGlenium SKY 841** dans le béton en différé, c'est-à-dire après l'addition de 70% de l'eau de gâchage dans le malaxeur.

Toutefois il est possible d'incorporer le **MasterGlenium SKY 841** dans l'eau de gâchage. Eviter d'ajouter le **MasterGlenium SKY 841** sur les granulats secs.

## Recommandations

En cas de gel, réchauffer le produit jusqu'à une température proche de + 30°C et agiter mécaniquement.

## Compatibilité

**MasterGlenium SKY 841** n'est pas compatible avec certains plastifiants et superplastifiants. Consulter votre représentant local BASF C .C. pour toute synergie.

Il est utilisé en synergie avec :

- **MasterAir 111**
- **MasterRoc MS 610**
- **MasterRoc SA 160**
- **Master Rheomatrix**
- **MasterRoc HCA 10**
- **MasteSet AC555**

## Dosage

### Plage normale d'utilisation :

1.2 % à 3.0% du poids du ciment, soit 0.19 Litres à 2.831 Litres pour 100 Kg de ciment.

Pour d'autres utilisations, consultez votre représentant local BASF CC

## Conditionnement

**MasterGlenium SKY 841** est disponible en cubitainer de 1.000 Litres et en fut de 210 Litres.

## Stockage

Stocker le **MasterGlenium SKY 841** dans des conditions de températures supérieures à +5°C.

La durée de vie est de 12mois.

## Précautions d'emploi

Le **MasterGlenium SKY 841** ne contient aucune matière dangereuse nécessitant un étiquetage particulier. Pour de plus amples informations, se référer à la fiche de données de sécurité.

## Rapport de Qualité

Tous les produits élaborés par BASF ou importés par les sociétés filiales de BASF à travers le monde sont certifiés conformes aux exigences des systèmes de gestion de qualité et d'environnement ISO 9001, ISO 14001 ET OHSAS 1800

Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées pas seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences du terrain. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée. Pour plus d'information ou de questions, contacter votre représentant local.

® = Marque déposée de BASF-groupe dans de nombreux pays.

## BASF Construction Chemicals Algérie SARL

Zone Industrielle Baba Ali, Dist 5, Ilot 3,

Saoula 16305

Alger

Algérie

Téléphone + 213 21 30 95 09

Fax +213 21 30 95 19

# Recyclage du Déchet de Pneus pour la Confection de Béton léger

## Résumé

Le recyclage de certains déchets est un enjeu très important et nécessaire pour préserver l'environnement et assurer de nouvelles sources d'approvisionnement en matières premières. Dans cette investigation expérimentale on propose une solution de valorisation d'un déchet encombrant qui est le déchet de pneus est cela comme granulats dans la confection de béton.

Le travail dans ce document est basé sur l'incorporation de déchet de pneus sous forme de granulats par substitution partielle du gravier en différents pourcentages 10, 20, 40, 60 et 80 %. Les échantillons élaborés ont subi différents essais de caractérisation physico-mécaniques.

Les résultats obtenus montrent que la masse volumique à l'état durci diminue en fonction du % de déchet, une masse volumique de 1895 Kg/m<sup>3</sup> est obtenue avec 80% de substitution, tant une résistance mécanique de 16 MPa.

**Mots clés :** Environnement, déchet, béton, incorporation, recyclage, pneu, résistance mécanique, masse volumique

## ملخص

إعادة تدوير بعض النفايات هي قضايا مهمة للغاية للحفاظ على البيئة و ضمان إمدادات الموارد الجديدة من المواد الخام. في هذا البحث التجريبي نقترح حلاً لاسترجاع النفايات الضخمة التي تتمثل في نفايات الإطارات بأنها حبيبات في صناعة الخرسانة.

و يستند العمل في هذه الوثيقة على دمج نفايات الإطارات في شكل حبيبات عن طريق الاستبدال الجزئي للحصى بنسب مئوية مختلفة 10، 20، 40، 60، و 80%، و خضعت عينات متقنة إلى اختبارات توصيف فيزيائية و ميكانيكية مختلفة. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن الكثافة في الحالة المتصلبة تقل كدالة في نسبة النفايات، و يتم الحصول على كثافة 1895 kg / m<sup>3</sup> باستبدال 80 %، كلاهما قوة ميكانيكية تبلغ 16 ميجا باسكال .

**الكلمات المفتاحية :** البيئة، النفايات، الخرسانة، التأسيس، إعادة التدوير، الإطارات، المقاومة الميكانيكية، الكثافة.

## Tire waste Recycling For Lightweight Concrete

### Abstract

The recycling of certain waste is a very important issues necessary to preserve the environment is assured of new resource supply of raw material.

In this experimental investigation we propose a recovery solution of a bulky waste is that as granulate in the manufacture of concrete.

The work in this document is based on the incorporation of tire waste in the form of granulate by partial substitution of gravel on different percentages 10,20,40,60 and 80, the elaborate samples underwent different physic-mechanical characterization tests.

The results obtained show that the density in the hardened state decreases as function of 1895 kg/m<sup>3</sup> is obtained with 80% substitution, strength of 16 MPa.

**Key words:** environment, waste, concrete, incorporation, recycling, tire, mechanical resistance, density.