



**Faculté des Sciences de l'Ingénieur**

**Département de Génie des Procédés**

## **Mémoire**

**Présenté pour l'obtention du diplôme Master**

**Spécialité : Matériaux en Génie Civil**

**Filière : Génie Civil**

## **THEME**

**Contrôles physico-mécaniques et  
durabilité des carottes obtenues du  
projet métro d'Alger réalisé par  
COSIDER**

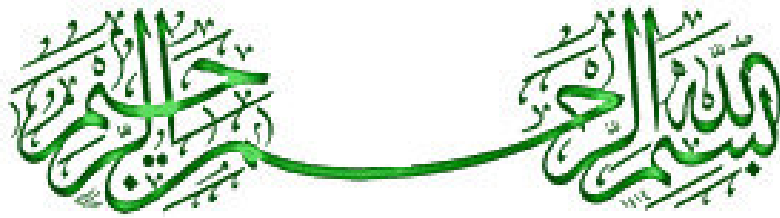
**Réalisé Par :**

**-LANGUEUR FATIHA**

**-BENTOURA AHLEM**

**Proposé et suivi par :**

**Mme. RABEHI.B**



## Remerciements

*Nous rendons grâce à Dieu le tout puissant de nous avoir donné le savoir et la volonté surtout la patience pour réaliser ce modeste travail*

*Nous tenons à remercier profondément et sincèrement tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail et particulièrement à :*

*Notre promotrice madame RABAH BAHI qui a bien voulu nous encadrer pour l'élaboration et le suivi théorique et pratique de notre projet de fins d'études.*

*Tous les enseignants de département de génie des matériaux,*

*Sans oublier le chef de département Mr AKSAS*

*Nous tenons aussi à remercier toutes les personnes du laboratoire (LNHC) qui nous ont accompagnés tout au long de notre formation.*

*Nos sincères remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidées, conseillées, orientées et encouragées .*

*Fatiha et ahlem*



# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mes chers parents*

*Mes chers frères et sœurs.*

*Pour leurs sacrifices, aides, conseils*

*Et leurs générosités qui m'ont permis*

*De réaliser ce travail*

*A mon binôme FATIHA et sa famille.*

*A mes adorables amis.*

*A mes collègues de groupe MMGC16.*

*AHLEM*



# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mes chers parents (que DIEU accueille leurs âmes au son vaste paradis).*

*Mes chers frères et sœurs..*

*Pour leurs sacrifices, aides, conseils  
Et leurs générosités qui m'ont permis  
de réalisé ce travail*

*A mon binôme AHLLEM et sa famille.*

*A mes adorables amis.*

*A mes collègues de groupe MMGC16.*

*FATIHA*

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

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

I-1-Introduction.....	3
I-2-Constituant de béton .....	3
I-2-1- Ciment .....	3
I-2-1-1- Les propriétés principales des ciments.....	4
I-2-2- Agrégat .....	8
I-2-2-1- Les caractéristiques des granulats .....	8
I-2-3- Eau de gâchage .....	13
I-3- Caractéristiques des bétons .....	14
I-3-1- Propriétés du béton frais .....	15
I-3-2-Propriétés du béton durci.....	16
I-4- Méthodes destructives.....	18
I-4-1- Le Carottage.....	18
I-5-Contrôle non destructif (CND) .....	20
I-5-1-Définition de CND .....	20
I-6-Différent type de béton .....	21
I-6-1- Béton auto plaçant (BAP).....	21
I-6-2- Béton de fibre .....	22
I-6-3-Béton durcissement rapide .....	22
I-6-4-Béton léger.....	23
I-6-5-Béton lourd .....	23
I-6-6-Béton réfractaire .....	23
I-6-7-Béton Préfabriqué.....	24
I-6-8- Béton projeté .....	24
I-7-Les bétons à hautes performances.....	25
I-7-1-Introduction .....	25
I-7-2- Définition des BHP.....	25
I-7-2-1- Les constituants du BHP .....	26
I-7-2-2-Formulation des BHP .....	26
I-7-2-3- Propriétés physico-chimiques et mécaniques des BHP .....	27
I-7-2-4- Les adjuvants.....	28

I-8- Méthodes de formulation des bétons .....	29
I-8-1- Introduction .....	29
I-8-2- Différentes méthodes.....	30

### **Chapitre II :la durabilité**

II-1- Introduction .....	31
II-2- Définition de la durabilité.....	31
II-3- Les attaques chimiques du béton .....	31
II-4- Différents types de Les attaques chimiques du béton.....	32
II-4-1- Les attaques sulfatiques.....	32
A- Définition de l'attaque sulfatique .....	32
B- Sources des sulfates .....	33
II-4-2- Attaques Acides .....	34
II-4-3- Attaque par les ions chlorures .....	37
a- Définition.....	37
b- Source de l'attaque des ions chlores.....	38
II-4-4- L'alcali-réaction .....	38
1-Définition.....	38
II-4-5- La lixiviation en eau douce.....	39
1-Définition.....	39

### **Chapitre III : partie expérimental**

III- Caractérisation des constituants.....	40
III-1-Le ciment 1 .....	40
III-1-Le ciment 2.....	40
III-2- La fumé de silice .....	41
III-4- L'eau de gâchage.....	42
III- 5- L'adjuvant .....	43
III-5-1- Propriétés .....	43
III-6 -Les agrégats.....	43
III-6-1 -Le sable .....	43
III - 6-2-Le gravier .....	44
III-2-Formulation de la composition de béton .....	46
III-2-1-Résultats des essais et discussion.....	47

## Sommaire

---

III-3-Essai non destructif .....	50
III-3-1- Diagnostic .....	50
III-3-2-Contrôle non destructif par ultrason .....	51
III-4-Les propriétés mécaniques des bétons .....	53
III-4-1-La résistance à la compression.....	53
III-5-Essais physiques.....	56
III-5-1-La porosité .....	57
III-5-2-L'absorption.....	58
III-6-Characterisation de la résistance chimique vis avis de l'attaque acide .....	60
III-6-1- Examen visuel.....	65
Conclusion générale.....	67

## Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux

<b>Tableau I-1:</b> Résistance à la compression des ciments .....	6
<b>Tableau I-2 :</b> Différents types de ciments courants (1) .....	7
<b>Tableau I-3 :</b> valeurs $V_s$ pour les catégories des gros granulats .....	11
<b>Tableau I-4 :</b> Différentes méthodes de contrôle .....	20
<b>Tableau I-5 :</b> Qualité du béton selon la vitesse de propagation .....	21
<b>Tableau III-1 :</b> Caractéristiques physiques du ciment. ....	40
<b>Tableau III-2:</b> Composition chimique du ciment .....	40
<b>Tableau III-3 :</b> Résistance à la compression et la flexion. ....	40
<b>Tableau III-4 :</b> Caractéristiques physiques du ciment .....	41
<b>Tableau III-5:</b> Composition chimique du ciment .....	41
<b>Tableau III-6 :</b> Résistance à compression et la flexion .....	41
<b>Tableau III-7:</b> Caractéristiques physiques de la fumée de silice .....	41
<b>Tableau III-8 :</b> Composition chimique .....	42
<b>Tableau III-9 :</b> Caractéristiques .....	43
<b>Tableau III-10 :</b> Caractéristiques du sable d'oued souf .....	43
<b>Tableau III-12 :</b> Caractéristiques du G (3/8) d'Oued souf .....	44
<b>Tableau III-13:</b> Analyse granulométrique du G (3/8) .....	44
<b>Tableau III-14 :</b> Caractéristiques du (G 8/15). ....	45
<b>Tableau III-15 :</b> Analyse granulométrique du G (8/15). ....	45
<b>Tableau III-16 :</b> Dosage des matériaux pour un $1\text{m}^3$ de béton .....	47
<b>Tableau III-17:</b> L'ouvrabilité des différents types de béton .....	47
<b>Tableau III-18 :</b> Masse volumique des différents types de béton .....	48
<b>Tableau III-19:</b> La masse volumique durci .....	51
<b>Tableau III-20 :</b> Résultats de l'essai d'ultrason .....	52



## Liste des tableaux

---

<b>Tableau III-21</b> : La résistance à la compression à 28 jours (éprouvettes de diamètre 16 D 32 et 11D 22). .....	54
<b>Tableau III-22</b> : Résistance à la compression à 28 jours (les carotte De diamètre 6.5D13 et 6D12) .....	55
<b>Tableau III-23</b> : Porosité des différents types de béton.....	57
<b>Tableau III-24</b> : L'absorption des différents types de béton .....	58
<b>Tableau III-25</b> : Perte de masse en fonction du temps dans la solution de sulfurique (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	60
<b>Tableau III-26</b> : La perte de masse à 3jours .....	61
<b>Tableau III-27</b> : La perte de masse à 7jours .....	62
<b>Tableau III-28</b> : La perte de masse à 14 jours .....	63
<b>Tableau III-29</b> : La perte de masse à 28 jours .....	64
<b>Tableau III-30</b> : perte de masse les différents type de béton.....	65

# LISTE DES FIGURES

---

## Liste des figures

Figure I - 01 : L'appareille Vicat .....	5
Figure I - 02 : Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS .....	15
Figure I- 03 : Essai de traction direct l .....	17
Figure I- 04 : Essai de traction par fendage .....	17
Figure I- 05 : Essai de traction par flexion.....	18
FigureI-06: Carottagevertical .....	19
Figure I- 07 : Carottage horizontal.....	19
Figure I- 08: Essai de contrôle par ultrasons .....	21
Figure I- 09 : Béton auto plaçant .....	22
Figure I-10 : Béton de fibre.....	22
Figure I-11 : Béton a durcissement rapide .....	23
Figure I-12 : Béton léger .....	23
Figure I-13: Béton lourd .....	23
Figure I-14 : Béton réfractaire.....	24
Figure I-15 : Béton Préfabriqué .....	24
Figure I-16 : Béton projeté.....	25
Figure I-17 : Réfection du pont Champlain en BHP .....	25
Figure II-1 : Des cas pathologiques d'éléments en béton en contact de sulfate. ....	33
Figure II-2 : L'origine des sulfates (interne ou externe) .....	34
Figure II-3 : Attaques acides. ....	35
Figure II-4 : Forme des cristaux du gypse dans le cas d'attaque par l'acide sulfurique. ....	37
Figure II-5 : Agression du béton par activité des chlorures. ....	37
Figure III-1 : Courbes granulométriques des granulats naturels utilisés .....	46
Figure III-2 : Affaissement des différents types de bétons .....	48
Figure III-3 : Masse volumique à l'état frais des différents types de béton .....	49
Figure III-4 : La masse volumique à l'état durci. ....	51
Figure III-5 : Ultrason des différents types de béton .....	53
Figure III-6 : Résistance a la compression à 28 jours. ....	54
Figure III-7 : Résistance à la compression des différents types de béton. ....	55
Figure III-8 : La porosité des différents types de béton .....	57
Figure III-9 : Absorption des différents types de béton .....	59
Figure III-10: Eprouvette de béton soumis a l'attaque acide sulfurique .....	60
Figure III-11 : Perte de masse à 3jours .....	61

## LISTE DES FIGURES

---

Figure III-12 : La perte de masse à 7jours .....	62
Figure III-13 : La perte de masse à 14 jours .....	63
Figure III-14 : Perte de masse à 28 jours .....	64
Figure III-15 : la perte de masse des différents types de béton.....	65
Figure III-16 : Examen Visuel après 28 jours .....	66

# **Présentation de laboratoire**

---

## **1-Présentation de laboratoire**

Laboratoire national de l'habitat et de construction LNHC (oued smar) créée par décret n°78 204 du 16 septembre 1978 le laboratoire national de construction à caractère économique sous tutelle du ministère de l'habitat et de l'urbanisme.

### **Ses attributions**

Il a pour mission d'effectuer des études analyses se recherche se rapport

- Aux soles
- A la conception des fondations
- Aux matériaux utilisés dans la construction

Dans le cadre de plan national de développement de l'habit et de construction

### **Son champ d'intervention**

Le laboratoire national de l'habitat et de la construction exerce se activités sur l'ensemble du territoire nationale sa clientèle est principalement composée :

- Des administrations de l'état
- Des collectivités
- D'organismes publics
- D'organismes privés

### **Ses objectifs**

- Assurer de manière autonome la maîtrise technique et scientifique de toute étude à caractère géotechnique.
- Promouvoir une utilisation rationnelle des données relatives au milieu physique pour la mise en place des infrastructures.
- Conseiller efficacement la clientèle par la recherche de solutions techniques relatives à la conception des fondations et utilisations optimale des matériaux de construction.

### **Moyens techniques de reconnaissance et de contrôle**

- Groupe de sondage (c'arrière, barrage, rotation, carottage)
- Essais géotechnique in situ (pénétrömètre dynamique, statique, pressionnel).
- Laboratoire mobile pour contrôle de chantier.
- Essais au laboratoire (odomètre, tri axial, cisaillement, identification),

### **En sembles spécialisés**

- Laboratoire d'essais géotechniques.
- Laboratoire d'essais des matériaux de construction.
- Equipment spécialisé pour essais et travaux sur le terrain

### **Les activités du laboratoire de l'habitat et de la construction**

Les problèmes rencontrés dans la construction des bâtiments et des ouvrages de GENIE CIVIL deviennent de plus en plus complexes. Les raisons de cette évolution sont multiples :

- Adaptation au site et à l'environnement.
- Emploi de matériaux nouveaux.

Une part très importante de l'activité de LNH, C'est consacrée à l'étude des problèmes spécifiques qui se posent au stade des projets ou à celui des travaux.

Grâce à une organisation judicieuse de ses différents équipements et des moyens importants dont il dispose, le LNHC peut intervenir rapidement dans les domaines suivants :

- Reconnaissances, essais et l'étude des sols de fondation.
- Analyses chimiques ; essais de conformité des éléments des matériaux de la structure.

### Introduction générale

Environ quatre milliards de mètre cube de béton sont utilisés tous les années dans le monde entier pour la construction d'ouvrages (de bâtiment, d'immeubles d'habitation, de ponts, de routes, de tunnels, d'aéroports, de centrale thermique et nucléaires et de plates formes offshore). Ce choix universel est fondé sur des critères techniques et économiques; la résistance mécanique et la durabilité. C'est-à-dire le bon comportement dans le temps face aux agressions physico-chimiques de l'environnement, Constitue les principaux critères techniques. Les critères économiques sont évalués à partir de la disponibilité et du cout des matières premières, de la facilité d'emplois et du prix de revient des matériaux mis en œuvre.

Il permet de concevoir des structures plus minces grâce à l'augmentation de la résistance caractéristique.

La durabilité se manifeste par une détérioration qui peut résulter de facteurs externes ou de phénomènes internes du béton, les différentes actions peuvent être physiques, chimiques ou mécaniques, les dommages d'origine mécanique sont causés par les chocs l'abrasion, l'érosion ou la cavitation.

Le béton aux milieux agressifs est un matériau hétérogène dont les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des divers constituants sont différentes. Composé essentiellement de granulats(gravier, sable), de ciment spécial (CRS), d'eau de gâchage et d'adjuvants pour améliorer ou acquérir certaines caractéristiques ou propriétés pour faire face à des situations bien définies, chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange.

L'objectif de cette recherche est de faire un diagnostic, contrôle physico- mécanique et l'étude de la durabilité chimique des carottes issue du projet métro d'Alger est cela en comparaison avec des éprouvettes de deux types de béton (ordinaire et BHP), ces éprouvettes et les carottes sont soumises a l'attaque chimique dans un milieu agressif acide concentré a 10% afin de contrôler la résistance chimique des carottes. De cela, ce mémoire est divisé en trois chapitres:

- **Chapitre I :** ce chapitre est consacré a une recherche bibliographique qui permet de comprendre la notion de fabrication de béton, Les différentes types de béton (ordinaire, BHP.....ect), ces constituant ainsi que les propriétés de béton.

- **Chapitre II :** Le deuxième chapitre est consacré à une synthèse bibliographique qui permet de comprendre la notion de durabilité des bétons par différentes source d'attaque chimique et leurs mécanismes de dégradation.
- **Chapitre III :** Ce chapitre a mis en évidences les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude (ciment, gravier, sable, eau,) selon les normes. On présente aussi les compositions du béton qui doivent être étudiées. La méthode de formulation suivie par nous est la méthode << Dreux- gorise >>. Contrôle physico- mécanique et durabilité des carottes d'élément préfabriqué issue de projet métro d'Alger en comparaison par les déférents types de béton (ordinaire et BHP), exploitation des résultats obtenus sur les carottes et les deux bétons.

# **CHAPITRE I :**

## **GENERALITES SUR LES BETONS**

---



## Chapitre I : Généralités sur les bétons

### I-1-Introduction

Le béton est un matériau hétérogène multiphasique poreux dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes.

Il est constitué d'un mélange de granulats et d'une pâte (ciment, d'eau et éventuellement d'ajouts). Les granulats sont des matériaux inertes qui, agglomérés par un liant, constituent le squelette du béton, lui confèrent sa compacité, participent à sa résistance mécanique et atténuent les variations volumiques lors du durcissement.

La pâte de ciment est le siège des réactions d'hydratation des constituants qui conduisent aux processus de prise et de durcissement et la transforment en matrice liante.

Les adjuvants fournissent aux formulations de béton une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des bétons, adapter leur fabrication au temps froid ou au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du béton durci, voire même lui conférer des propriétés nouvelles.

### I-2-Constituant de béton

#### I-2-1- Ciment

Le ciment portland est un liant hydraulique c'est-à-dire qu'il se solidifie en réagissant avec l'eau (hydratation) pour produire des composés (hydrates) qui sont stables dans l'eau c'est un processus chimique complexe où les principaux composés du ciment  $C_3S$   $C_2S$   $C_3A$   $C_4AF$  réagissent pour former de nouveaux composés insolubles qui durcissent avec le temps c'est surtout l'hydratation de  $C_3S$  et de  $C_2S$  qui participent le plus au développement de la résistance en produisant des C-S-H.

#### -Les principaux constituants du ciment portland sont

- Le Silicate Tricalcique (Alite) :  $3CaO \cdot SiO_2$  ( $C_3S$ ).
- Le Silicate Bicalcique (Belite) :  $2CaO \cdot SiO_2$  ( $C_2S$ ).
- L'Aluminate Tricalcique :  $3CaO \cdot Al_2O_3$  ( $C_3A$ ).
- L'Alumino-Ferrite Tétracalcique :  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$  ( $C_4AF$ ).

- Autres (sulfates alcalis, filles calcaire , impuretés)
- Très sommairement la réaction d'hydratation  $C_3S$  et du  $C_2S$  est la suivante :
- $C_3S$  et  $C_2S + H_2O \longrightarrow C-S-H + Ca(OH)_2 + T^\circ$
- La réaction du  $C_3S$  avec l'eau est très voilent (beaucoup de chacun et elle doit être contrôlées par les sulfatés la réaction du forme des sulfoalumunates dont la forme le plus connue est l'étringite ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 31H_2O$ )
- La réaction du  $C_4AF$  dégage peu de chacun et participe peu au développement de la résistance.

### I-2-1-1- Les propriétés principales des ciments

#### a- Les propriétés physiques

##### ❖ La masse volumique apparente

Représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre éléments inclus), Elle est de l'ordre de  $1000 \text{ kg/m}^3$  (1kg par litre) en moyenne pour un ciment

##### ❖ La masse volumique absolue

Représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre éléments exclus) .elle varie de  $2900$  à  $3150 \text{ kg/m}^3$  suivant le type de ciment.

##### ❖ La masse volumique

On détermine la masse volumique ou la masse spécifique d'un ciment par le densimètre de chateulier, elle peut être un indice de la qualité du liant, car c'est la masse d'un liant par unité de volume de matière pleine examinée dans des conditions ambiante (température ,pression).

##### ❖ La surface spécifique de Blaine

Le SSB est la surface totale en  $\text{cm}^2$  développée par 1g de liant elle est mesurée conventionnement selon la norme NF- P 15442, et elle est exprimée en ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ).

### b- Les propriétés rhéologiques

#### ❖ La consistance normale

La pâte normale est une pâte pure c- a- d qu'onopèrent avec l'appareil de Vicat, le lecteur donnant l'extrémité inférieure de soude et de fond du moule, quand celle – ci cesse s'en foncer à l'aide de son poids propre, est de 6+1mm. (Début et fin prise).



Figure I-1: l'appareille Vicat

#### ❖ Délai de prise (début et fin prise)

Il a pour but de détermine le temps de prise c'est - à - d- la durée qui s'écoule entre l'instant ou le liant à mis en contact avec l'eau de gâchage et le début de prise et la fin de prise, ce temps est déterminée à l'aide de l'appareil de Vicat.

#### ❖ L'expansion

Se mesure suivant un essai normalise (norme NF EN 196-3) et grâce aux aiguilles de la chatelier. Il permet de s'assure de la stabilité de ciment l'expansion ne doit pas être supérieure à 10 mm sur pate pure tous les ciments (conformément à la norme NF EN196-3).

#### ❖ Expansions à chaud

- Les essais d'expansion ont pour but de déterminer la stabilité aux expansifs des liants hydrauliques.
- Elle est réalisée à l'aide des aiguilles de la chate lier,c'est la différence entre les écartements finaux des aiguilles qui donne la valeur de l'expansion de la pate de ciment.

## Généralités sur les bétons

---

### ❖ Retrait

C'est la diminution du volume apparent de la matière. On le mesure sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4\*4 cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50% la norme impose les valeurs limites, à 28 jours.

### c- Les propriétés mécaniques

#### ❖ La résistance mécanique (compression et flexion)

La résistance mécanique d'un matériau est son pouvoir de résistance à l'action d'une contrainte extérieure (charge). On distingue la résistance à la rupture par compression RC et par flexion RF la résistance à la compression et à la flexion ont été mesurées sur les éprouvettes (4\*4\*16 cm), en mortier normalisé à des échéances de : 28 jours, 45 jours, 60 jours, 75 jours, 90 jours les matériaux nécessaires pour la confection de mortier sont :

#### ❖ Classification suivant les résistances à la compression

La norme européenne **NF EN 196-1** classe les ciments courant d'après leur résistance à la compression

**Tableau I-1:** Résistance à la compression des ciments

Classe de résistance	Résistance à la compression (Mpa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
23.5 N	—	≥ 16.0	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5 R	≥ 10.0	—		
42.5 N	≥ 10.0	—	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5 R	≥ 20.0	—		
52.5 N	≥ 20.0	—	≥ 52.5	—
52.5 R	≥ 30.0	—		

**Tableau I-2 : Différents types de ciments courants (1)**

Désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivant : laitier -cendres pouzzolanes calcaires – schistes – fumées de silice	Teneur en constituants secondaires
CPA-CEM I	Ciment Portland	95-100 %		0 à 5 %
CPJ-CEM II/A	Ciment Portland Composé	80 à 94 %	De 6 à 20 % de l'un quelconque des constituants sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10 %	0 à 5 %
CPJ-CEM II/B		65 à 79 %	De 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0 à 5 %
CHF-CEM III/A	Ciment de haut fourneau	35 à 64 %	36 à 65 % de laitier haut fourneau	0 à 5 %
CHF-CEM III/B		20 à 34 %	66 à 80 % de laitier haut fourneau	0 à 5 %
CLK-CEM III/C		5 à 19 %	81 à 95 % de laitier haut fourneau	0 à 5 %
CPZ-CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90 %	10 à 35 % de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces derniers étant limités à 10 %	0 à 5 %
CPZ-CEM IV/B		45 à 64 %	36 à 55 % comme ci-dessus	0 à 5 %
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et Aux cendre	40 à 64 %	18 à 30 % de laitier haut fourneau et 18 à 30 % de cendres siliceuses ou de pouzzolanes	0 à 5 %
CLC-CEM V/B		20 à 39 %	31 à 50 % de chacun comme ci-dessus	0 à 5 %

### I-2-2- Agrégat

Réunion des substances diverses formant un tout non homogène. Le béton, par exemple est un agrégat de gravier sable et ciment, ce dernier jouant le rôle de matière d'agrégation.

Les granulats sont classés en plusieurs catégories avec des spécifications particulières pour chacune d'elles : la catégorie A correspond aux granulats destinés à la confection du béton de qualité tels que ceux destinés à la construction d'ouvrages d'arts ou de bâtiments pour lesquels la résistance caractéristique  $R_c$  est supérieure ou égale à 35 MPA, éventuellement certaines caractéristiques des catégories B ou C étant tolérées.(2)

#### I-2-2-1- Les caractéristiques des granulats

##### A- Caractéristiques géométriques

###### ▪ Classe granulaire

La granularité est la distribution par dimension des grains d'un granulat, l'analyse granulométrique est la méthode d'essai pour déterminer la granularité. Cette opération consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carré (0.16 – 0.31 – 0.63 – 2.5 – 5 – 10 – 20 – 40 et 80mm) et peser le refus obtenu sur chaque tamis, on trace ensuite la courbe.

###### ▪ Courbes granulométriques

On trace les courbes granulométriques sur un graphe de référence, présentant en ordonnées les pourcentages des passants ou refus, en abscisse l'ouverture des mailles.

On exclut les gros grains  $>80\text{mm}$  et les fines  $< 80 \mu$ .

La forme des courbes granulométriques apporte les informations suivantes :

- Limite des différentes fractions  $d$  et  $D$ .
- La plus ou moins grande proportion d'éléments fins.

- La continuité ou la discontinuité de la granularité.

### ▪ **Module de finesse**

Le module de finesse d'un granulat est égal à la somme des refus exprimés en pourcent sur les différents tamis de la série suivante :

- Sable : 0.16 – 0.315 – 0.63 - 1.25 – 2.5 – 5mm.

- Gravier : 10 – 20 – 40 – 80mm.

Le module  $M_f$  doit varier entre 2.2 et 2.8 au dessous duquel le sable renferme plus de fines, ce qui nécessite un excès d'eau, et en dessus le sable contient moins de fines particules, donc le béton perd son ouvrabilité.

La norme prévoit pour les catégories de sable les limites de  $M_f$

-Sable A :  $M_f= 2.2$  à  $2.8$ .

-Sable B :  $M_f= 1.8$  à  $2.2$ .

-Sable C :  $M_f= 2.8$  à  $3.2$ .

### ▪ **Forme et coefficient d'aplatissement**

La forme des granulats à une incidence directe sur la maniabilité du béton, la forme la plus souhaitable est celle proche de la sphère, une mauvaise forme (aiguille ou plat) nécessite une quantité d'eau élevée et peut provoquer des défauts d'aspect.

Les grains concassés sont moins lisses que les sables roulés, la compacité est moins bonne, le béton est moins ouvrable, il est caractérisé par une surface spécifique élevée, et exige plus de ciment, donc plus d'eau, Aussi le grain concassé présente l'avantage d'offrir plus de contact que le grain roulé

La forme des granulats est définie par l'épaisseur  $E$  et la grosseur  $G$  (l'ouverture des mailles) et la longueur  $L$ .

Le coefficient d'aplatissement  $A$  caractérise la forme des granulats, et il est donné par le rapport de  $G/E$ . celui-ci doit être supérieure à 1.5.

### B- Caractéristiques physico-chimiques

- **Masse spécifique ou masse volumique absolue des grains**

C'est le rapport de la masse du granulat sec au volume plein des granulats.

#### B-1-Pour les graviers

On pèse un échantillon de granulat sec à l'aide de la balance hydrostatique on mesure le volume.

- **La masse volumique apparente**

C'est le rapport de la masse du granulat en volume total (les vides inclus) en g/cm<sup>3</sup>.

- **La compacité et la porosité**

La porosité d'un granulat est exprimée en pourcentage, elle représente le rapport entre le volume des vides contenus dans les grains sur volume absolu des grains.

- **Coefficient d'absorption**

Est le rapport de l'augmentation de la masse des granulats au bout de 24h par imbibition partielle la masse séchée, ce coefficient mesure le volume des pores accessible à l'eau plus la valeur est grande plus la durabilité du béton est limitée dans un milieu agressif de même pénétration de l'eau dans les pores des grains fragilise la structure.

- **Foisonnement des sables**

Le volume occupé par le sable sec augmente au même temps que son humidité on appelle le coefficient de foisonnement  $f$  en pourcentage l'augmentation de volume correspondant à une humidité donnée, par rapport au volume occupé par la même quantité de sable à l'état sec :

$$f = \frac{V_{humide} - V_{Sec}}{V_{Sec}} \text{ en } (\%)$$



## Généralités sur les bétons

---

### ▪ Propriétés

Les granulats doit être propre, la loi interdit tout déchet nuisible à la résistance de béton tel que : sciures de bois, la ferraille ....le pourcentage est inférieur à 1 % le granulat ne doit pas aussi contenir des huiles et la matière organiques...la présence de l'argile diminue l'adhérence entre mortier et gravier, donc diminue la résistance, Un excès définie entraine un dosage important en mesurée par la détermination de l'équivalent de sable (E.S).

### C-Caractéristiques mécaniques

#### ▪ Los angles(LA)

C'est un essai courant, il consiste à introduire dans un cylindre horizontal une quantité des granulats à étudier en présence des boules d'acier et de mesures la quantité de fines obtenue après un temps de relation .la norme prévoit pour les gros granulats (pas pour le sable)la classification suivante :

**Tableau I-3** : valeurs Vs pour les catégories des gros granulats.

Types	Vs en %
A	30
B	40
C	40
D	50

#### ▪ Micro dévale

C'est un contrôle identiques au procédent LA, mais dans ce cas,le but n'est pas de mesurer la teneur des fines mais d'apprécier les phénomènes d'usure concernant les qualités du sable,le coefficient FS est déterminé suivant la norme P18576 dont le FS : doit être inferieur à 60 pour un béton de  $f_{c28} = 36$  MPA.

- **La sensibilité au gel –(G)**

Le granulat doit être insensible au gel dégel, Le granulat est considéré antigélif lorsqu' 'il respect l'une des trois valeurs spécifiées à savoir :

- **Absorption : AB < 1 %**
- **LA < 25**
- **G < 30**

Le coefficient G consiste à mesurer, sur une partie d'un granulat scindé en deux, le LA et sur l'autre partie une série de cycle gel dégel (G/D) suivi de l'essai de LA, les résultats sont :

Le grain soumis à l'essai de LA donne le coefficient de LA, tandis que grain donne log, et le coefficient est calculé par la formule suivante :

$$G = LA_g - LA/LA \times 100$$

Plus le G est grand plus la sensibilité

- **Absorption d'eau**

Le problème des granulats légers est l'absorption d'eau, ceci est un paramètres important et sur chantier, il présente un influence sur la plasticité donc sur l'ouvrabilité du béton

### **B-2-Pour le sable**

Le volume est déterminé en pycnomètre, sous vide pour éliminer les bulles d'air entre les grains, Elles s'expriment en g/cm<sup>3</sup>.

Le sable utilisé dans le béton, doit satisfaire aux exigences suivantes :

- Avoir une granularité optimale (composition granulométrique équilibrée)
- Etre propre, et surveiller la teneur des particules fines

### B-2-1-Propriétés recherchées dans le sable

- **Granulométrie**

Est une propriété importante pour la qualité d'un béton, elle permet d'économiser le liant à l'intérieur de fuseau duquel doit se trouver la courbe représentative de leur analyse granulométrique. Le sable est apprécié suivant le module de finesse.

Un bon sable doit avoir un module de finesse = 2.2 à 2.8.

- **Propriété**

Le sable doit être débarrassé de toutes les substances susceptibles d'altérer l'adhérence entre la matrice et le grain.

- **La compacité**

La compacité est le rapport du volume de matière pleine au volume total, ainsi le problème est d'assurer un bon mélange, ossature avec moins de vide, donc un béton plein avec une bonne homogénéité. (2)

### I-2-3- Eau de gâchage

L'eau est un des ingrédients des bétons, on pourrait même dire qu'il est le plus important avec le ciment, en effet l'eau que l'on introduit dans le béton lors du gâchage accomplit deux fonctions :

Une fonction physique qui confère au béton les propriétés rhéologiques d'un liquide, et une fonction chimique qu'elle contribue au développement de réaction dite :

**Hydratation** Pour le gâchage du mélange de béton on utilise de l'eau qui ne doit pas contenir des composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats, les autres et aussi éviter des particules en suspensions dont la qualité qui pourrait modifier ses qualités originales.

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher de béton parce qu'elles contiennent dans certains cas un excès d'impuretés qui détériorent les propriétés du béton, notamment les propriétés physiques et mécaniques (prise et résistance), les propriétés esthétiques (taches, efflorescences), la durabilité (corrosion des armatures, stabilité de béton) ces impuretés éventuellement contenues dans l'eau de gâchage, soit des composés chimiques qui peuvent être actifs.

- **Le rôle de l'eau**

L'eau est certainement le constituant des bétons le plus délicat à aborder. en effet, elle agit d'une façon antinomique sur deux propriétés essentielles qui sont :

La consistance et la résistance, l'excès d'eau qui ne sera pas liée à hydratation, créer au sein du matériau d'espace vide ou partiellement remplir d'eau qui affectera directement les performances, l'eau est indispensable pour obtenir une bonne consistance, plus le dosage en eau est important plus l'écoulement du béton est facile, il s'agit donc de trouver un dosage en eau optimale qui permet de satisfaire aux exigences sur les principales propriétés du béton.

- **Type de l'eau**

L'origine des eaux de gâchage peut être extrêmement variée, la plus disponible est aussi celle qui sert de référence, c'est l'eau potable distribuée par le réseau de service public, les autres eaux les plus utilisées sont les eaux de pompage en provenance de nappe de cours d'eau ou de réservoir.(3)

### **I-3- Caractéristiques des bétons**

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- ❖ **Le béton frais**

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

- ❖ **Le béton durci**

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

### I-3-1- Propriétés du béton frais

La période durant laquelle le béton demeure plastique n'est que temporaire, la résistance du béton, pour une composition donnée, est très affectée par le degré de compacité, il est alors important que la consistance du béton soit ajustée de façon que le béton puisse être facilement transporté, mis en place, vibré et fini sans qu'il y ait de ségrégation.

#### a-Ouvrabilité (NF P 18-451)

C'est une propriété essentielle du béton ; elle peut être définie comme étant la facilité de la mise en place avec un serrage correct du béton, ou bien la facilité de mise en œuvre du béton lors du travail. Pour le contrôle de l'ouvrabilité on utilise le cône d'ABRAMS



**Figure I-2:** Essai d'affaissement au cône d'abrams

#### b- Masse volumique du béton frais

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

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{v}$$

$\rho$ : la masse volumique du béton frais ( $\text{kg/m}^3$ ).

$m_1$  : la masse du récipient (Kg).

$m_2$  : la masse de récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (Kg).

V : le volume du récipient ( $m^3$ ).

### I-3-2-Propriétés du béton durci

#### a- Résistance mécanique

- La résistance mécanique est une des caractéristiques essentielles du béton, le béton employé en général, comme matériau porteur et le taux de travail d'un ouvrage en béton dépend de sa résistance mécanique qui évolue avec le durcissement du béton, la résistance mécanique d'un béton dépend de plusieurs paramètres à savoir :
- La nature et la qualité des constituants (ciment, granulats, eau, adjuvant).
- Les conditions de mise en œuvre de ces constituants.
- Les conditions thermo hygrométriques ambiantes de conservation.

Elle est définie par la résistance à la compression et par la résistance à la traction.

##### ❖ Résistance à la compression

La résistance en compression à 28 jours désignée par  $f_{c28}$ , elle se mesure par la compression axiale de cylindre droit de révolution hauteur double de leur diamètre (16\* 32) ou bien sur des prismes cubiques.

##### ❖ Résistance en traction

Plusieurs essais peuvent être réalisés

##### - En traction direct

La mesure se fait par mise en traction de cylindre identiques aux précédentes mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage des têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.



**Figure I-3 :** Essai de traction direct.

- **En traction par fendage**

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. cet essai est souvent appelé "Essai Brésilien". Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera :

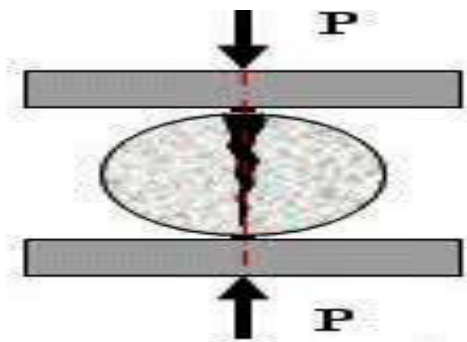
$$f_{tj} = 2 \frac{P}{\pi DL}$$

$f_t$  : résistance a la traction.

J : age du béton (jours).

D : diamètre du cylindre.

L : longueur du cylindre.



**Figure I-4 :** Essai de traction par fendage.

- **En traction par flexion**

C'est l'essai est le plus couramment utilisé. Il consiste a rompre en flexion une éprouvette prismatique de coté a et de longueur 4a. pour une charge totale p, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :  $M = P \cdot a / 2$ .(4)

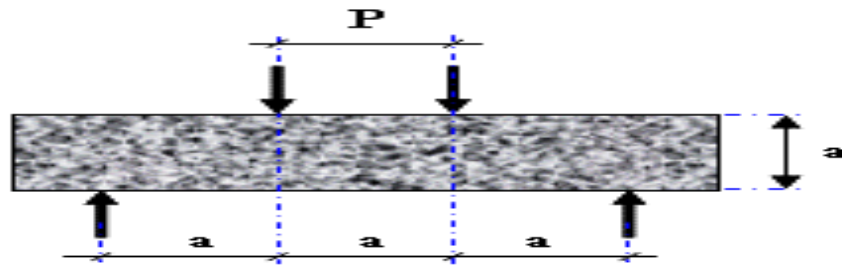


Figure I-5 : Essai de traction par flexion.

### I-4- Méthodes destructives

La plupart des propriétés des bétons sont en général évaluées par des essais sur des échantillons ayant été confectionnés avec la même gâchée que les ouvrages (échantillons normalisés 16/32 par exemple) ou bien ayant été prélevés (carottes) directement sur les ouvrages à ausculter. Ces essais sont destructifs. Les mesures des résistances  $R_c$  et  $R_t$  sont par exemple réalisées avec des presses (compression, traction par fendage, par flexion, etc.), l'utilisation de méthodes dites non destructives applicables in situ est primordiale dans les cas où il est impossible de prélever un échantillon sur la structure, ou si l'on souhaite suivre l'évolution d'une caractéristique au cours du temps, les principales techniques d'auscultation du béton couramment utilisées en génie civil sont présentées dans les ouvrages. (5)

#### 1-4-1-Le Carottage

##### a-Définitions

C'est le découpage des échantillons de béton ou carottes, d'une structure, à l'aide d'une machine, ou carotteuse dont la partie active est le carottier.

- **Éprouvette carottée**

C'est la partie de la carotte, obtenue après élimination des extrémités et destinée aux essais de résistances mécaniques et autres mesures.



- **Battement**

Déplacement de l'outil suivant une direction parallèle à son axe, un carottage vertical pour les dalles, les tabliers de ponts, les semelles et éventuellement pour les poutres de faible hauteur.



**Figure I-6.:** Carottage vertical



**Figure I-7 :** Carottage horizontal

Un carottage horizontal dans l'âme des poutres de grande hauteur, dans le tiers central des poteaux, des murs, des piédroits...

### **b-Diamètre des carottes**

Pour des bétons dont la taille maximale des granulats est de 25 mm (D), il est recommandé d'utiliser des carottiers de diamètre supérieur à 70 mm.

### **c-Longueur des carottes**

Pour l'estimation de la résistance du béton, l'éprouvette carotée doit avoir un élancement de 2. cette longueur est obtenue après élimination d'au moins 30 mm à chacune des extrémités de la carotte et en évitant si possible, les inclusions et les défauts apparents très nets de compacité, cette longueur est évidemment limitée par la zone de béton à carotter.

Dans le cas où l'épaisseur du produit est faible, l'utilisation d'éprouvettes carotées d'un élancement inférieur à 1,5 doit faire l'objet d'une concertation préalable entre les parties, l'élancement de 1 est toutefois le minimum.(2)

### I-5-Contrôle non destructif (CND)

#### I-5-1-Définition de CND

Le contrôle non destructif (CND) est un ensemble de méthodes qui permet de caractériser l'états d'intégrité de structures industrielles ,sans les dégrader, soit au cours de la production ,soit en cours d'utilisation il faut donc déterminer quelle taille de défaut est acceptable et ensuite pouvoir les détecter, sans casser la pièce ,et la remplacer si besoin est on parle aussi d'essais non destructifs ou d'examen non destructifs (END).

**Tableau I-4 : Différentes méthodes de contrôle**

Méthode END	Symbole
Emission acoustique	AT
Courants de foucault	ET
Etanchéité	LT
Magnétoscopie	MT
Ressuage	PT
Radiographie	RT
Ultrasons	UT
Examen visuel	VT
Shearographie	ST
Thermographie	IRT

#### a-Ultrasons

Machine d'analyse par ultrasons,.les ondes émises et réfléchies donnent des informations sur la présence ou non de défauts et sur leur nature.

#### ❖ But

La mesure de la vitesse du son dans le béton permet d'évaluer sa résistance de manière non destructive. Cette méthode est intéressante lorsqu'il faut contrôler la régularité du béton d'un élément d'un ouvrage ou, par exemple,suivre l'évolution d'un béton dans le temps .(4)



**Figure I-8:** Essai de contrôle par ultrasons

**Tableau I-5:** Qualité du béton selon la vitesse de propagation

Qualité du béton	Vitesse de propagation (m/s)
Excellente	Supérieur à 4575
Bonne	3660 à 4575
Douteuse	3050 à 3660
Mauvaise	2135 à 3050
Très mauvaise	Inferieure à 2135

### I-6-Différent type de béton

#### I-6-1- Béton auto plaçant (BAP)

Le Béton auto plaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration. (6)



**Figure I-9 :** Béton auto plaçant

### I-6-2- Béton de fibre

Béton dans lequel sont incorporées des fibres, ce qui permet suivant l'ouvrage de supprimer le Treillis soudé traditionnel.(7)



**Figure I-10 :** Béton de fibre

### I-6-3-Béton durcissement rapide

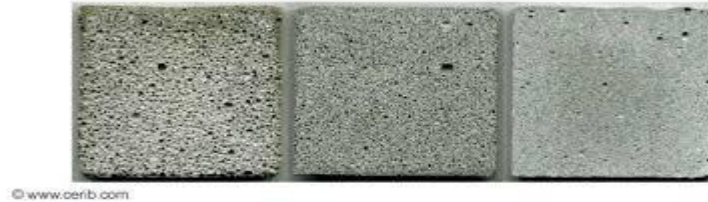
Bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent la réalisation des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide, ainsi que le décoffrage prématuré ou la mise en précontrainte le plus rapidement en préfabrication.(8)



**Figure I-11 :** Béton à durcissement rapide

### I-6-4-Béton léger

Les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage  $2100 \text{ kg/m}^3$ , parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers, ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique(9)



**Figure I-12 : Béton léger**

### I-6-5-Béton lourd

C'est un béton dont la masse volumique est supérieure à  $2600 \text{ kg/m}^3$ , les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau.(10)



**Figure I-13: Béton lourd**

### I-6-6-Béton réfractaire

Lorsque des constructions seront soumises à des températures très élevées, on se doit d'utiliser un matériau particulièrement résistant à la chaleur, plusieurs ouvrages de ce type ont été réalisés en béton réfractaire ; celui-ci peut résister à des températures, soit environ le double de celles que supporte le béton normal on fabrique ce béton à partir de ciment alumineux et de granulats spéciaux. (4)



**Figure I-14:** Béton réfractaire

### I-6-7-Béton Préfabriqué

La préfabrication en usine d'éléments de béton comporte de nombreux avantages qualité plus uniforme, conditions idéales de température durant toute l'année, à la chaîne ,économie, ect, on fabrique en usine des tuyaux, des poutres des blocs,des pieux, des puisards, des parements architecturaux , des fosses septiques, des éléments décoratifs, etc. (4)



**Figure I-15 :** Béton Préfabriqué

### I-6-8- Béton projeté

Le béton projeté , aussi appelé gunite , est produit à l'aide d'un pistolet à air comprimé, l'eau se combine aux ingrédients solides (ciment et granulats) à la sortie des orifices du pistolet, le mélange et l'application s'effectuent donc en même temps , sous n'importe quel angle, généralement , on peut aussi se passer de coffrages ,Le béton projeté est très résistant , et on utilise couramment pour la construction de tunnels.(4)



**Figure I-16:** Béton projeté

### I-7-Les bétons à hautes performances

#### I-7-1-Introduction

Les bétons à Hautes Performances (BHP), sont des matériaux à très haute compacité et haute résistance. Elle est de l'ordre plus de 100 MPa pour les bétons à très hautes performances signifient aussi facilité de mise en œuvre et souplesse d'adaptation aux contraintes d'exécution des ouvrages, les BHP ont une porosité extrêmement réduite, plus résistants aux agents agressifs générale, présentent une durabilité accru.



**Figure I-17:**Réfection du pont Champlain en BHP.

#### I-7-2- Définition des BHP

Les Bétons à Hautes Performances (BHP) se caractérisent par : Une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 50 MPa trèsdense, une faible porosité et une très bonne résistance à lapénétration d'agents agressifs.

### I-7-2-1- Les constituants du BHP

Les constituants du BHP font l'objet des principales spécifications suivantes.

- **Ciments**

Conformes à la norme NF EN 197-1 de types CEM I ou CEM II ou CEM III et de classes de résistance conseillées 42,5 ou 52,5 (N ou R).

- **Granulats**

Conformes à la norme NF EN 12620 « Granulats pour bétons » et à la norme XPP 18-545 (article 10: « granulats pour bétons hydrauliques »).

- **Additions**

Conformes aux diverses normes en vigueur – cendres, laitiers de haut fourneau, fillers calcaires, filler siliceux, éventuellement ultrafines (fumées de silice).

#### **.Les fumées de silices**

Les fumées de silice sont un sous-produit de la fabrication du silicium ou de différents alliages de ferrosilicium, les fumées de silice sont produites lors de la réduction d'un quartz très pur par du charbon dans un four à arc à la température de 2000°C.

Les fumées de silices se présentent sous forme de fines particules sphériques d'un diamètre moyen d'environ 0,1  $\mu$  m, Leur surface spécifique est de 20 m<sup>2</sup>/g à 25 m<sup>2</sup>/g, la finesse et la forme vitreuse des fumées de silice font d'elles un produit très réactif, leur teneur en silice vitreuse varie de 75% à 95% (1).

- **Adjuvants**

Plastifiants réducteur d'eau et superplastifiants haut réducteur d'eau conforme sa la norme NF EN 934-2.

### I-7-2-2-Formulation des BHP

La recherche des hautes performances passe par la réduction de la porosité du béton durci, c'est-à-dire de son pourcentage de vides, en effet les dimensions et les volumes des pores capillaires sont les principaux paramètres qui régissent les résistances mécaniques du béton et les propriétés de transfert déterminantes pour la durabilité, l'optimisation de la formulation d'un BHP consiste à



diminuer la porosité de la matrice cimentaire et à optimiser le squelette granulaire, la formulation d'un BHP suit les trois principales étapes suivantes :

### a. Détermination d'une formule théorique prévisionnelle

- Sélection des constituants en fonction de l'expérience locale.
- Détermination des proportions des constituants.
- Optimisation du squelette granulaire.

### b. Optimisation du mélange en laboratoire

- Validation de la compatibilité ciment /adjuvant.
- Ajustement de la quantité de la pâte et de l'adjuvant.
- Vérification du comportement rhéologique du béton frais.
- Analyse de la sensibilité de la formule aux variations des dosages des divers constituants.
- Analyse de la sensibilité de la formule aux conditions climatiques possibles lors de la mise en œuvre (température).

### c. Validation de la formule sur chantier

- Vérification du comportement rhéologique du béton frais.
- Vérification des éventuelles spécifications complémentaires telle que la pompabilité.
- Vérification des caractéristiques du béton.

### I-7-2-3- Propriétés physico-chimiques et mécaniques des BHP

Les diverses propriétés des BHP découlent de leur faible porosité et leur compacité élevée ce qui reflète leur grande durabilité.

#### ❖ Résistances mécaniques

Les BHP présentent des résistances en compression importantes aux jeunes âges, compte tenu de la rapidité de la cinétique de montée en résistance, et très élevées à long terme (avec une montée en résistance se poursuivant au-delà de 28 jours).

### ❖ Module d'élasticité

Le module d'élasticité des BHP est supérieur à celui des bétons traditionnels.

### ❖ Retrait

Le retrait total du BHP est globalement identique à celui d'un béton traditionnel mais avec une cinétique différente (il se produit plus tôt et se développe principalement pendant les premiers jours après le coulage),

- le retrait de dessiccation à l'état durci est plus faible compte tenu du faible dosage en eau.
- Le retrait endogène (ou d'auto-dessiccation), compte tenu de la finesse de la microstructure et de la forte réduction du rapport E/C, est d'un coefficient plus élevé (150 à 250 x 10<sup>-6</sup>) pour un BHP que pour un béton traditionnel (60 x 10<sup>-6</sup>).
- Le retrait d'auto-dessiccation est d'autant plus précoce et élevé que le rapport E/C est faible. (11)

## I-7-2-4- Les adjuvants

On appelle adjuvant tout ingrédient, autre que le ciment portland l'eau et les granules que l'on ajoute au mélange immédiatement avant ou pendant le malaxage d'après la norme NFP18.103 un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (l'inférieur à 5% de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre provoque les modifications recherchées de tel de leurs propriétés à l'état frais au durci.

Les adjuvants fournissent au formateur de bétons une gamme étendue, variée et des possibilités pour faciliter la mise en œuvre des bétons, adapter leur fabrication au temps froid ou au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du béton durci, voir même lui conférer des propriétés nouvelles on utilise les adjuvants surtout pour :

- Diminuer le coût des constructions en béton
- Donner au béton certaines caractéristiques plus efficacement que par d'autres moyens.
- Assurer la qualité du béton, durant le malaxage, le transport, la mise en place et le cure dans des conditions météorologiques défavorables

## Généralités sur les bétons

---

- Obvier à certaines urgences durant le bétonnage il ne faut ce pendant pas oublier qu'aucun adjuvant, en quelque quantité que ce soit ne saurait remplacer une bonne technique de bétonnage

### a- Classification

On peut classer les adjuvants selon leur fonction dans les catégories suivantes :

- Les entraîneurs d'air
- Les réducteurs d'eau
- Les super plastifiants
- Les Accélérateurs
- Les Retardateurs
- Les Contrôleurs d'hydratation
- Les Inhibiteurs de réaction alcali silice
- Les adjuvants pour colorer le béton
- Les adjuvants divers tels que ceux qui. (12)

## I-8- Méthodes de formulation des bétons

### I-8-1- Introduction

L'étude de la composition d'un béton consiste à de finir le mélange optimal des différentes granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et eau à fin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de parties d'ouvrage en cause les méthodes de composition se subdivisent en deux types :

- Les méthodes à << granularité continues >> si la courbe sur le graphique granulométriques élevant d'une façon continue, antreant dit du plus petit grain de ciment de dimension de 6.3 mm mes plus gros grains D des graviers, toutes les grosseurs intermédiaires sont représentées.
- la granularité continuée permet d'obtenir des bétons plus plastiques et de bonne ouvrabilité par contre la granularité discontinus conduit à des bétons présentant en général des résistances

compression un peu supérieures mais au déterminât de l'ouvrage, il semble toute fois que la plus part des bétons actuellement utilisés sont à granularité continue.

### I-8-2- Différentes méthodes

- Méthodes bolomey
- Méthodes d'abrams
- Méthodes de faury
- Méthodes valette
- Méthodes joisele
- Méthodes dreuxgorisse. **(13)**

# **CHAPITRE II :**

# **LA DURABILITE**



**II-1- Introduction**

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau de béton. Cette propriété est définie (dans un cadre très générale) par la capacité du matériau à maintenir ses caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue, le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité, Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée. Pour évaluer la durabilité < potentielle > d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation.(14) , Et la résistance du matériau vis-à-vis de ces dégradations.

Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en trois catégories

A - L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates.

B - Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.

C - La formation de produits expansifs à l'intérieur du béton (15)

**II-2- Définition la durabilité**

La durabilité du béton peut être définie comme la capacité du matériau à conserver un Comportement et une performance suffisamment satisfaisants dans les limites de la sécurité

Lorsqu'il est soumis aux conditions réelles de service et pendant une durée prévue.(16)

La durabilité du béton est une propriété relative puisqu'elle dépend simultanément des caractérisations chimiques, physiques du béton et des conditions environnementales.(17)

**II-3- Les attaques chimiques du béton**

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton.

Cette propriété est définie (dans un cadre très général) par la capacité du matériau à maintenir ses

Caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité

satisfaisantes Pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue, le paramètre

Régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité, Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée. Pour évaluer la durabilité « potentielle » d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation, et la résistance du matériau vis-à-vis de ces dégradations. Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en trois catégories :

- A- L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates
- B- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.
- C- La formation de produits expansifs à l'intérieur du béton

#### **II-4- Différents types de Les attaques chimiques du béton**

- 1) Les attaques sulfatiques.
- 2) Attaque par les acides.
- 3) Les dégradations dues à l'eau de mer.
- 4) Attaque par les ions chlorures.
- 5) La carbonatation.
- 6) L'alcali-réaction.
- 7) L-a lixiviation en eau douce.

##### **II-4-1- Les attaques sulfatiques**

###### **A- Définition de l'attaque sulfatique**

La résistance du béton aux attaques des sulfates est l'un des facteurs les plus importants pour sa durabilité, le problème est aussi ancien que le béton et on a commencé à l'étudier il y a déjà près de 100Ans, l'attaque sulfatiques est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits « secondaires » dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimico-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion), ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé.(18)



**Figure II-1 :Des cas pathologiques d'éléments en béton en contact de sulfate(18).**

## **B- Sources des sulfates**

### **❖ On distingue deux types d'attaques**

Les attaques par les sulfates externes présents dans l'environnement du béton et les attaques sulfatiques internes pour lesquelles les sulfates proviennent des composants du béton lui même.

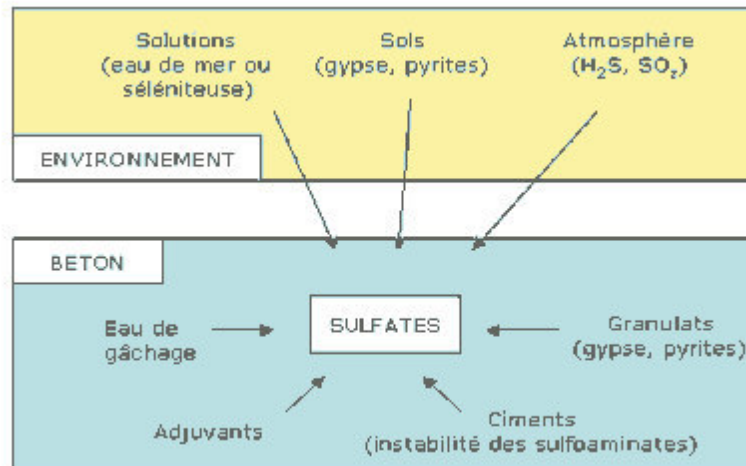
**(19)**

Lorsqu'il s'agit d'une attaque par les sulfates provenant de l'extérieur, il y a formation de couches de gypse et d'ettringite secondaire ainsi que la thaumasite à partir de la surface exposée aux sulfates. L'attaque par les sulfates externes est souvent combinée avec l'attaque par le cation correspondant, selon la provenance des sulfates, qui peuvent réagir avec certains granulats ou fillers, ou avec les C-S-H ou la portlandite, et contribuer davantage à la dégradation du béton, de plus, l'attaque par les sulfates externes peut être combinée à une attaque par l'acide ce qui accélère également la destruction de la pâte hydratée.

Lorsqu'il s'agit d'une attaque interne par les sulfates, ces derniers proviennent presque uniquement des sulfates de calcium qui se trouvent dans le béton dès sa confection. Par conséquent, ces sulfates sont uniformément répartis dans la pâte hydratée et le seul produit expansif de la réaction est l'ettringite, l'ettringite secondaire qui est le résultat d'une attaque par les sulfates externes, n'est pas seule à endommager le béton, c'est plutôt la formation du gypse qui contribue à la fissuration, la lixiviation et le délaminage des couches superficielles.**(20)**

L'origine des sulfates peut être : externe (environnement) ou interne (composants du béton).





**Figure II-2 : L'origine des sulfates (interne ou externe).(21)**

Les sulfates peuvent avoir différentes origines:

- Ils peuvent d'abord provenir du régulateur de prise ajouté au ciment (gypse, héli-hydrate, Anhydrite)
- Ils peuvent également provenir de l'utilisation de granulats pollués par des sulfates d'origine naturelle ou artificielle (gypse, plâtre, anhydrite ou encore pyrites, ils peuvent venir du milieu extérieur où ils se trouvent sous forme solide (sols gypseux), liquide(eaux naturelles percolant à travers les sols et solutions plus ou moins concentrées d'origine diverses), ou gazeuse (pollution atmosphérique par le  $\text{SO}_2$ ).
- Dans les environnements industriels et urbains, l'atmosphère peut contenir de l'anhydride sulfureux  $\text{SO}_2$  provenant des gaz de combustion (charbon, carburants divers), En présence D'humidité ces gaz sont susceptibles de s'oxyder pour donner de l'acide sulfurique très agressif.
- Les fermentations anaérobies qui se produisent dans les ouvrages d'assainissement conduisent Également à la formation d'acide sulfurique à partir de l'hydrogène sulfuré dégagé.(22)

#### II-4-2- Attaques Acides

Le béton présente un caractère basique élevé induit par les composés hydratés de la pâte de ciment (la phase interstitielle contenue dans le béton a un pH très élevé).

Il peut donc présenter une certaine réactivité vis-à-vis des solutions acides telles que les pluies acides, les eaux naturelles chargées en dioxyde de carbone, les eaux résiduares, les eaux des industries agroalimentaires ou industrielles contenant des acides organiques, les eaux chargées en acides minéraux, mais aussi les eaux pures



**Figure II-3:** Attaques acides

#### ❖ Mécanisme d'attaque acide

L'action des milieux acides est identique dans son principe à celle des eaux pures et Douces, mais elle est plus intense : la portlandite est dissoute en premier, puis les silicates et Aluminates de calcium hydratés sont attaqués et perdent leur calcium.

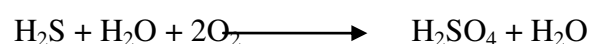
Le degré de la nocivité des acides dépend du caractère soluble ou insoluble des sels qu'ils forment par réaction les hydrates calciques. On peut trouver les acides fréquemment Dans les milieux suivants :

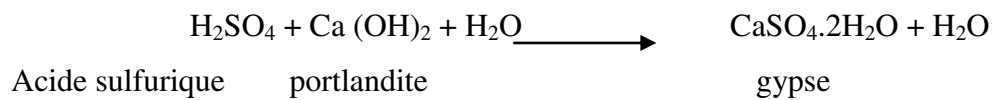
- Eaux naturelles
- Milieux industriels
- Les réseaux d'égouts

Le sucre qui n'est pas un acide, mais il doit être cité dans cette section, car il tend à Dissoudre facilement la portlandite et plus difficilement les C-S-H et les aluminates de Calcium.

#### ❖ L'acide sulfurique et le sulfate d'ammonium

Dans des cas spécifiques, le plus souvent dans les tuyaux d'égouts, certaines bactéries Anaérobies libèrent du  $H_2S$  lorsqu'elles décomposent les matières organiques. Au contact Avec l'air, le  $H_2S$  s'oxyde et se transforme en acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) qui, à son tour, Attaque les hydrates, particulièrement la portlandite ( $Ca(OH)_2$ ), selon les formules suivantes :





Le gypse formé occupe un volume plus grand que la portlandite, sa formation causant ainsi le gonflement et la fissuration de la pâte. Lorsque la concentration en sulfates est assez élevée, le gypse restera stable et de nouveaux cristaux de gypse continueront à se former.

Cependant, lorsque l'apport des sulfates est faible, le gypse sera dissous en libérant des ions

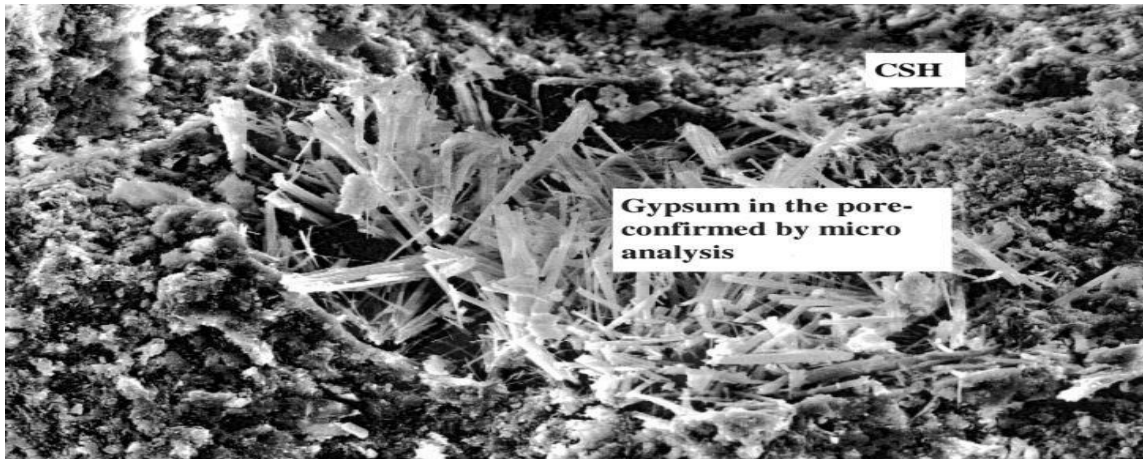
$\text{SO}_4^{2-}$  qui, en réagissant avec des aluminates, formeront de l'ettringite qui occupe plus de place que les composants solides à partir desquels elle se forme, causant ainsi de l'expansion. [1] Dans le cas de l'attaque du béton par les sels d'ammonium (nitrates, sulfates Chlorures) qui sont très solubles dans l'eau, il y a formation du sel de calcium avec un dégagement gazeux d'ammoniac. Avec le sulfate d'ammonium, la réaction avec la portlandite et les C-S-H conduit à former du gypse qui réagit à son tour avec les aluminates en donnant de l'ettringite expansive. Dans les deux cas de l'attaque par l'acide sulfurique et le sulfate d'ammonium, il y a formation principalement du gypse et d'ettringite. Pour expliquer la forme des cristaux du Gypse formé dans chaque cas et leurs orientations, plusieurs recherches ont été établies. L'analyse de par un microscope électronique, à balayage de deux mortiers dont l'une qui a été conservé dans l'acide sulfurique et l'autre dans le sulfate d'ammonium ont donné les résultats suivants :

L'échantillon exposé dans le sulfate d'ammonium a montré une couche extérieure de fibres transparentes à l'œil nu qui a ressemblé à une surface aciculaire. La longueur de ces cristaux était souvent de l'ordre des millimètres et de leur section, de l'ordre des dizaines de microns. L'analyse a confirmé que ces cristaux étaient du gypse.

La forme, l'orientation et la longueur des cristaux favorisent l'élargissement des microfissures et facilitent la pénétration des agents agressifs à l'intérieur du béton.

La surface des éprouvettes qui a été exposé à l'acide sulfurique avait une nature tout à fait différente. Le gypse qui forme une couche blanche à la surface qui agit comme une couche protectrice. La longueur des cristaux du gypse était moins importante et leurs orientations donnent aux bétons une protection contre la pénétration des agents agressifs.

Inversement à ce qui se passe dans le cas de l'acide sulfurique, les échantillons exposés au sulfate d'ammonium ont éprouvé une détérioration significative avec formation de fissures. **(23)**



**Figure II-4 :** Forme des cristaux du gypse dans le cas d'attaque par l'acide sulfurique

### II-4-3- Attaque par les ions chlorures

#### a- Définition

La corrosion des armatures générée par les ions chlorures est la principale cause de dégradation des structures en béton armé, les chlorures agissent dans les mécanismes de corrosion en diminuant la résistivité de l'électrolyte et en permettant un amorçage plus rapide de la corrosion en dé passivant la couche superficielle, la corrosion qui en résulte sous forme de piqûres à la surface de l'acier est une corrosion localisée. les chlorures agissent aux zones anodiques, de surface bien plus petite que celles des zones cathodiques, et la vitesse de corrosion sur les zones anodiques s'en trouve fortement augmentée.

Une fois la corrosion amorcée, il est bien plus difficile d'y remédier que dans le cas de la carbonatation car le processus est auto catalytique.



**Figure II-5 :** Agression du béton par activité des chlorures.

**b- Source de l'attaque des ions chlorés**

Les chlorures présents dans le béton peuvent provenir de deux sources différentes. Soit ils sont présents au moment du gâchage : utilisation d'eau contenant des chlorures ou agrégats contaminés. Soit ils proviennent de l'environnement (atmosphère marine, sels de dévers glaçage, produits chimiques) et ont diffusés dans le béton.

Les chlorures existent sous deux formes dans le béton :

Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle.

Les chlorures piégés ou liés qui sont combinés à des hydrates du ciment et à des agrégats.

Ou absorbés physiquement sur les parois des pores.

On considère que seuls les chlorures libres peuvent diffuser et jouer un rôle actif dans le processus de dé passivation et de corrosion des armatures. (24)

**II-4-4- L'alcali-réaction****a- Définition**

L'alcali-réaction, que l'on appelle aussi communément réaction alcali-granulat, désigne la réaction chimique entre la silice amorphe ou mal cristallisée contenue dans les granulats réactifs et certains ions de la solution interstitielle, les conséquences macroscopiques de la réaction sont le gonflement des ouvrages atteints qui entraînent de la fissuration et la chute des caractéristiques mécaniques du béton, ces phénomènes sont préoccupants pour les gestionnaires des structures atteintes car ils mettent en péril la sécurité des personnes et l'exploitation des ouvrages, de plus, il n'existe aucun moyen d'arrêter la réaction, ainsi la Prédiction de l'évolution du gonflement et des dégradations des ouvrages atteints et l'évaluation de l'efficacité et de la périodicité des opérations d'entretien sont des points cruciaux.(25)

**I1-4-5- La lixiviation en eau douce****1-Définition**

La phase interstitielle contenue dans le béton a un pH très élevé. Si le béton se trouve au contact d'une eau douce, très peu chargée en ions, et donc de pH plus faible que celui de la solution interstitielle, la pâte de ciment durcie se trouve en déséquilibre avec ce milieu, on constate alors une lixiviation progressive des hydrates se traduisant par une décalcification de la pâte : dissolution de la portlandite et attaque progressive des C-S-H. Ce phénomène est lent (quelque centimètre pour plusieurs centaines d'années) et ne pose problème que dans le cas où le béton est potentiellement au contact permanent de l'eau douce, la lixiviation entraîne une variation très importante de la porosité et donc une variation forte des propriétés de transfert, notamment la diffusivité, les propriétés mécaniques sont également affectées on constate par exemple que la résistance à la compression chute fortement. Les autres propriétés mécaniques comme le module d'élasticité et la résistance en flexion sont aussi affectées.

Les cinétiques de dégradation sont très variables et dépendent en particulier du matériau et de l'environnement aqueux. **(14)**

## Méthodologie de travail

Ce travail est focalisé sur le contrôle physico- mécanique avec une étude de durabilité des carottes prélevées du chantier projet de métro d'Alger, et des bétons formulés dans le laboratoire (béton ordinaire et béton hautes performances).

En premier lieu nous avons fait un examen visuel pour un diagnostique.

Des essais physico-mécaniques sont effectués (porosité, absorption, ultrason, résistance)

Immersion des les carottes dans une solution acide sulfurique à 10% et mesure de la perte de masse à (3, 7, 14 et 28jours).

Après 28 jours un examen visuel effectué sur les carottes soumise dans l'acide.

**CHAPITRE III :**  
**PARTIE EXPERIMENTAL**





## Chapitre III : Caractérisation des constituants

### III- Caractérisation des constituants

Dans cette partie, on traite la caractérisation des différents matériaux utilisés et les essais physico-mécaniques réalisés pour l'élaboration du béton (graviers, sable, ciment, eau de gâchage, adjuvant, fumé de silice).

#### III-1-Le ciment 1

Le ciment utilisé est un ciment composé CPJ – CEM II/B, de classe 42.5 provenant de la cimenterie de m'sila,( le ciment MATINE).les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques du ciment sont représentés dans les tableaux

**Tableau III-1 : Caractéristiques physiques du ciment.**

Caractéristiques	Résultats	Unités
Consistance normale	27.4	%
Début de prise	165	Min
Fin de prise	235	Min
SSB	4227	cm <sup>2</sup> /g
Masse spécifique	3.01	g/cm <sup>3</sup>

**Tableau III-2: Composition chimique du ciment.**

Oxydes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Chlorures	insoluble	Paf
Tenure(%)	20.71	5.45	3.36	60.4	2.15	0.65	0.23	2.37	0.07	1.14	4.28

**Tableau III-3 : Résistance à la compression et la flexion.**

Résistance (MPa)	2jours	7jours	28 jours
Flexion	4.41	6.37	8.35
Compression	35.81	40.4	48.87

## III-1-Le ciment 2

Le ciment CRS est un ciment, provenant de la cimenterie de m'sila, Le ciment CRS (ciment résistant aux sulfates) constitué de : 95% de clinker et du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise.les caractéristiques de ce ciment sont représentés dans les tableaux.

Tableau III-4 : Caractéristiques physiques du ciment.

Caractéristiques	Résultats	Unités
Consistance normale	26	%
Début de prise	80	Min
Fin de prise	250	Min
SSB	3500	cm <sup>2</sup> /g
Masse spécifique	3.20	g/cm <sup>3</sup>

Tableau III-5: Composition chimique du ciment.

Oxydes	SiO <sub>2</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Chlorures	insoluble	paf
Tenure(%)	16.96	4.68	2.98	60.19	5	0.61	0.093	3.5	0.017	3	4

Tableau III-6 : Résistance à compression et la flexion.

Résistance (MPa)	2jours	7jours	28 jours
Flexion	5.56	7.52	9.35
Compression	19.20	35.20	47.20

## III-2- La fumé de silice

C'est un produit en poudre, constitue par une excellente silice active micronisée, et par sa grande surface spécifique.

Tableau III-7: Caractéristiques physiques de la fumée de silice

Etat physique	Poudre
Couleur	Argent
Granulométrie	0.05 à 0.15 μ m
Densité (cm <sup>3</sup> /g à 20°C°)	0.3
Solubilité dans l'eau	Insoluble
SSB	220.000 cm <sup>2</sup> /g

Tableau III-8 : Composition chimique

Oxydes	SiO <sub>2</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cao	MgO
Tenure(%)	95	0.5	1	0.5	1

#### III-4- L'eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage de notre béton est de l'eau potable de laboratoire (LNHC)) d'oued smar.

#### III- 5- L'adjuvant

L'adjuvant utilisé est le master glenium SKY 841 est un super plastifiant haut réducteur d'eau, issu du long savoir de BASF Construction Chemicals en terme de formulation et d'innovation. L e Master Glenium 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.

##### III-5-1- Propriétés

L'excellent effet de dispersion de la chimie des Master Glenium 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, il présente 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

**Tableau III-9 : 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

**III-6 -Les agrégats****III-6-1 -Le sable**

Le sable utilisé est un sable fin roulé (Oued souf).

❖ **Essai physique****Tableau III-10 : Caractéristiques du sable d'oued souf.**

Caractéristique	Résultats	Unité
Masse volumique absolu	2.84	g/cm <sup>3</sup>
Masse volumique apparente	1639.9	kg/m <sup>3</sup>
ESV	83.69	%
ESP	76.04	%

❖ **Analyse granulométrique et classe granulaire.**

Prise d'essai : 1000g.

Tableau III-11 : Analyse granulométrique du sable d'oued souf.

Ouverture de tamis en mm	Poids (g)		Pourcentage (%)		MF
	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulés	Tamisats	
5,00	6,20	6,20	0,62	99,38	2.63
4,00	2,50	8,70	0,87	99,13	
2,500	11,80	20,50	2,05	97,95	
1,250	60,10	80,60	8,06	91,94	
0,630	561,20	641,80	64,18	35,82	
0,315	249,80	891,60	89,16	10,84	
0,160	93,60	985,20	98,52	1,48	
0,080	14,80	1000,00	100,00	0,00	
0,063	0,00	1000,00	100,00	0,00	

### III - 6-2-Le gravier

#### a- Le gravier 3/8 (G3/8)

Le gravies utilisé de notre béton provient de la carrière de bouzegza .Les caractéristiques physiques du gravier sont représentés dans le tableau

Tableau III-12 : Caractéristiques du G (3/8) d'Oued souf.

Caractéristiques	Résultat	Unité
Masse volumique apparente	1.42	Kg/m <sup>3</sup>
Masse volumique absolu	2.64	g/cm <sup>3</sup>
Coefficient los angles	24.3	%
Coefficient micro deval	26.8	%

❖ **Analyse granulométrique et classe granulaire.**

Prise d'essai : 2000g

**Tableau III-13:** Analyse granulométrique du G (3/8)

Ouverture de tamis (mm)	Poids (g)		Pourcentage (%)	
	Refus Partiels	Refus cumulés	Refus cumulés	tamisats
8,00	20,00	20,00	1,00	99,00
6,30	500,00	520,00	26,00	74,00
5,00	880,00	1400,00	70,00	30,00
4,00	400,00	1800,00	90,00	10,00
2,500	160,00	1960,00	98,00	2,00
1,250	180,00	1980,00	99,00	1,00
0,630	20,00	2000,00	100,00	0,00

**b- Le gravier (G 8/15)**

Le gravier utilisé dans notre béton provient de la carrière de bouzegza

❖ **Essai physique****Tableau III-14 :** Caractéristiques du (G 8/15).

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparente	1440	kg/cm <sup>3</sup>
Masse volumique absolu	2.67	g/cm <sup>3</sup>
Coefficient los angles	25	%
Coefficient micro deval	35	%

❖ Analyse granulométrique et classe granulaire.

Prise d'essai : 3000g

Tableau III-15 : Analyse granulométrique du G (8/15).

Ouverture de tamis (mm)	Poids (g)		Pourcentage (%)	
	Refus Partiels	Refus cumulés	Refus cumules	Tamisats
16,0	600,00	600	20,00	80,00
12,5	1100,00	1700	56,67	43,33
10,0	740,00	2440	81,33	18,67
8,00	420,00	2860	95,33	4,67
6,30	100,00	2960	98,67	1,33
5,00	20,00	2980	99,33	0,67
4,00	20,00	3000	100,00	0,00

Analyse granulométrique par tamisage

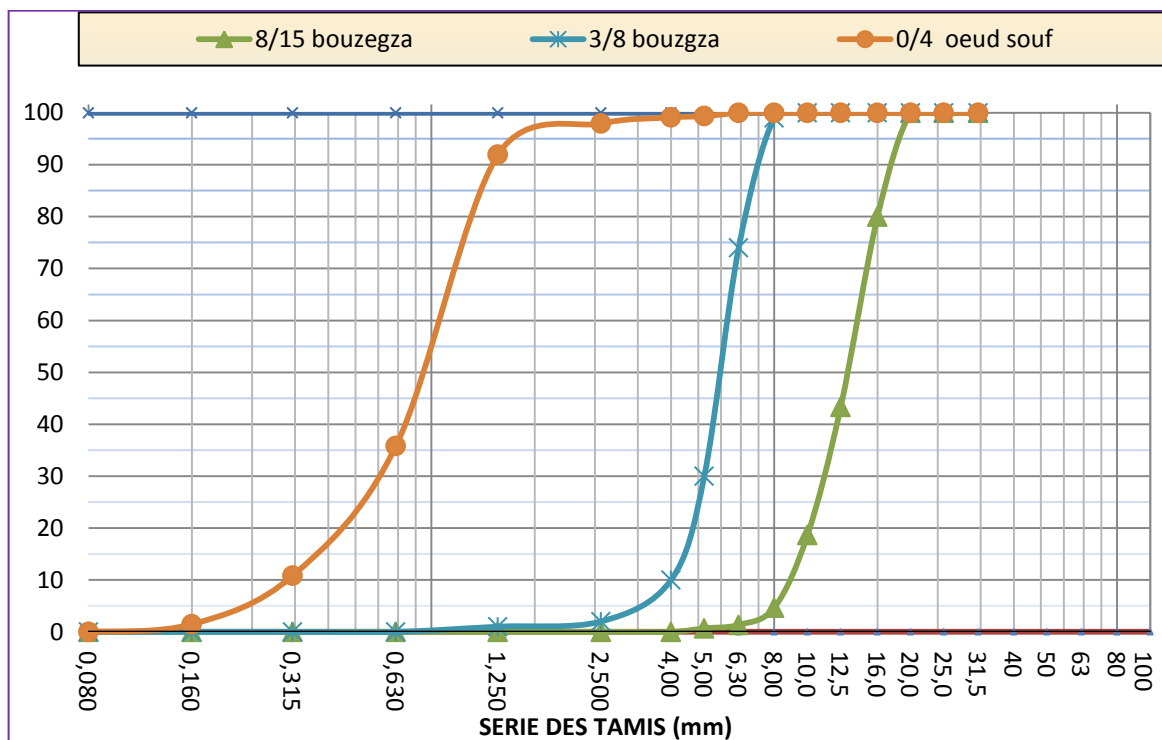


Figure III -1 : Courbes granulométriques des granulats naturels utilisés

### III-2-Formulation de la composition de béton

Trois formulations de béton ont été étudiées (béton ordinaire BO, béton haut performance BHP, béton carotté BC issu du projet métro d'Alger réalisé par COSIDER).

Pour les deux formulations de béton réalisées au laboratoire LNHC La formulation de la composition. Basée sur l'analyse granulométrique (sable et différentes fraction de gravier).

**Tableau III-16 :** Dosage des matériaux pour un  $1\text{m}^3$  de béton.

Les constituants	BO > 25 MPa	BHP >50 MPa	B C > 40/50 MPa
Ciment	350 $\text{kg/m}^3$	420 $\text{kg/m}^3$	400 $\text{kg/m}^3$
Eau	175 $\text{l/m}^3$	150 $\text{l/m}^3$	160 $\text{l/m}^3$
Sable oued souf	873 $\text{kg/m}^3$	873 $\text{kg/m}^3$	/
Sable bouzagza	/	/	702 $\text{kg/m}^3$
Sable boussaada	/	/	171 $\text{kg/m}^3$
Gravier 3/8	260 $\text{kg/m}^3$	260 $\text{kg/m}^3$	260 $\text{kg/m}^3$
Gravier 8/15	726 $\text{kg/m}^3$	726 $\text{kg/m}^3$	726 $\text{kg/m}^3$
Adjuvant	/	2.6 $\text{kg/m}^3$	2.6 $\text{kg/m}^3$
Ajout(fume de silice)	/	42 $\text{kg/m}^3$	/
Masse volumique	2384	2471	2421.6

#### III-2-1-Résultats des essais et discussion

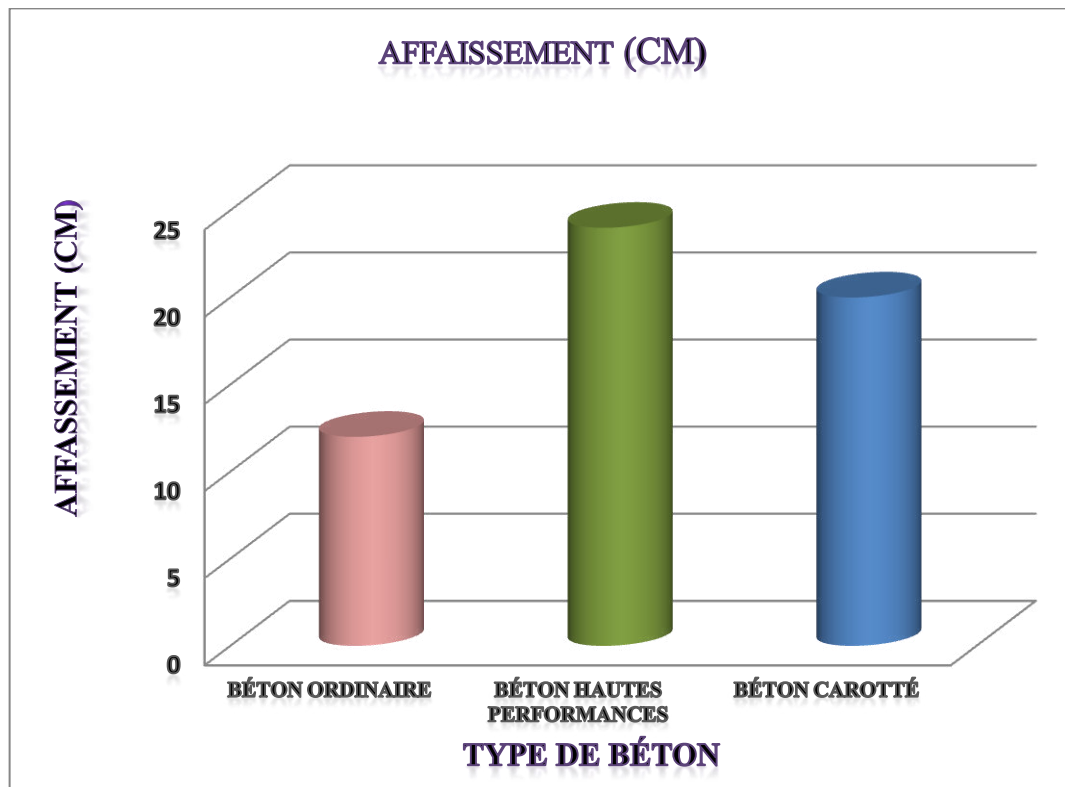
##### ❖ Essai sur béton frais

Les résultats obtenus sur béton frais sont présentés dans le tableau suivant.



**Tableau III-17:** L'ouvrabilité des différents types de béton.

Type de béton	Affaissement (cm)	E/C
Béton ordinaire	12	0.5
Béton hautes performances	24	0.38
Béton carotté	20	0.4

**Figure III-2 :** Affaissement des différents types de bétons

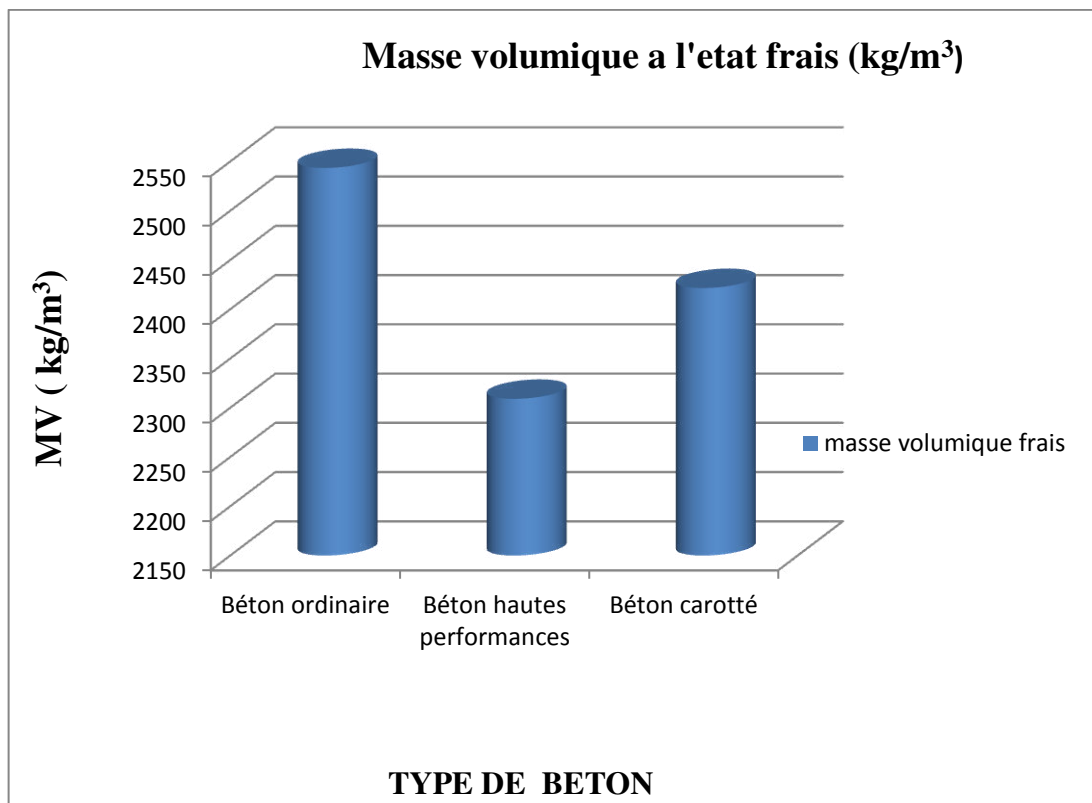
-D'après la figure on constate que l'affaissement du béton ordinaire est de 12cm, pour le béton hautes performances il est de 24 cm tandis que pour le béton carotté il est de 20cm. Donc on constate que le béton hautes performances présente un affaissement meilleur par rapport au béton

Ordinaire, et un affaissement assez proche du béton carotté, ce qui est dû au rapport  $E/C=0.38$  réduit. L'ajout d'adjuvant dans les deux types béton à haut performance et béton carotté

Réduit la quantité d'eau est offre une bonne ouvrabilité créée par le glissement des grains de ciment sous l'action de l'adjuvant, ce qui offre une bonne mise en œuvre du béton

**Tableau III-18 : Masse volumique des différents types de béton**

Type de béton	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
Béton ordinaire	2543.5
Béton hautes performances	2309.09
Béton carotté	2421.6



**Figure III-3 : Masse volumique à l'état frais des différents types de béton**

La masse volumique à l'état frais du béton ordinaire est supérieure par rapport à la masse volumique du béton haute performance et le béton carotté en raison du manque d'eau (rapport  $E/C=0.38$  pour le béton haute performance et  $0.40$  pour le béton carotté).

III-3-Essai non destructif

III-3-1- Diagnostic

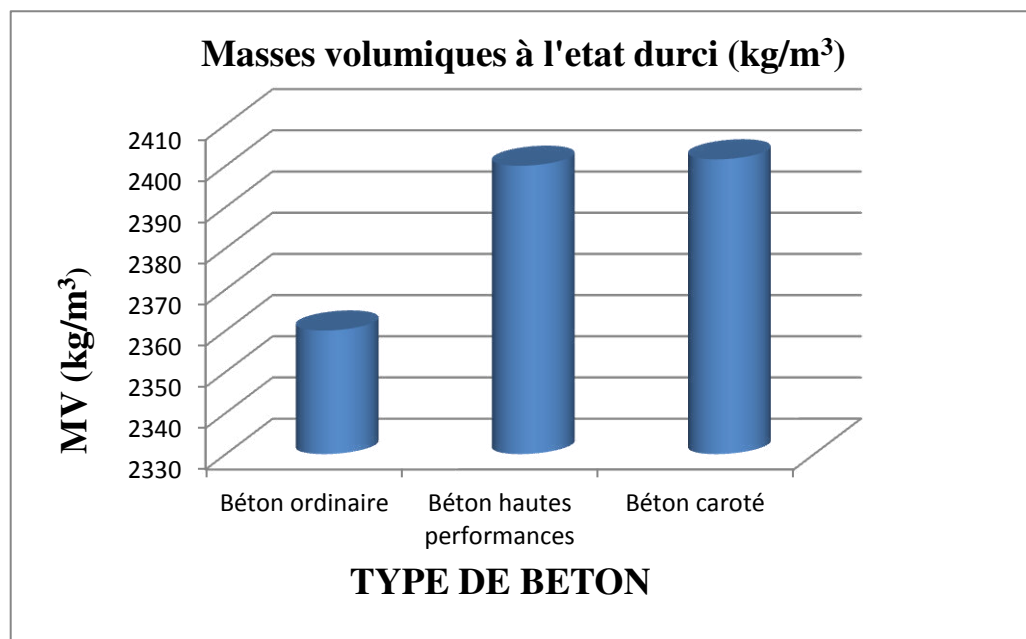
Béton carotté	Béton ordinaire	Béton hautes performances
<p>- Les carottes de bétons prélevés des pièces préfabriquées destinées à la réalisation du métro d'Alger réalisé par COSIDER</p> <p>- d'un ouvrage essais de convenance de la norme EN 12-390-3 avril- 2012 Béton : 130 mm (hauteur). La matrice cimentaire de couleur grise claire peu poreuse. Granulats concassé.</p>	<p>- Le béton ordinaire confectionné au niveau du laboratoire dans des éprouvettes de diamètre 6cm hauteur 12cm.</p> <p>-On constate que le béton semble de bonne qualité, la matrice cimentaire de couleur grise claire.</p>	<p>-Le béton de haute performance confectionné au laboratoire dans des éprouvettes de diamètre de 6 cm et de hauteur de 12 cm.</p> <p>-Constat que le béton est de bonne qualité.</p>
		
<p>-Le fait que l'échantillon a été coupé d'une façon nette nous a permis, lors de l'examen visuel, de voir que le béton semble de bonne qualité. Aussi il ya des pores à l'extérieur du béton.</p>	<p>-Des pores moindres apparaissent sur la surface du béton durcis.pas de fissures remarquable sur les faces des éprouvettes.</p>	<p>-La porosité capillaire est diminuée. -La structure semble compacte. -la matrice cimentaire est de couleur grise foncé.</p>
		

❖ **Essai sur béton durci :**

- La masse volumique.
- La résistance à la compression à 28 jours.

**Tableau III-19:** La masse volumique durci.

Type de béton	La masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
Béton ordinaire	2360
Béton hautes performances	2400
Béton carotté	2401.56

**Figure III-4 :** La masse volumique à l'état durci.

D'après la figure la masse volumique à l'état durci à 28 jours de béton ordinaire est moindre par rapport au béton à haut performance et au béton carotté, cela peut être expliqué par le rapport E/C réduit pour ces deux bétons, ce qui reflète une bonne densification de la matrice cimentaire et l'augmentation de la compacité.

## III-3-2-Contrôle non destructif par ultrason

L'essai à l'ultrason permet de déterminer la vitesse des ondes longitudinales à travers un élément en béton. L'appareil nous indique le temps de propagation des ondes à travers l'éprouvette de longueur et donne la vitesse de propagation selon l'équation suivante :

$$V = \frac{S}{T} 10^6 \text{ (m/s)}$$

**V** : vitesse de propagation (m/s).

**S** : distance entre les têtes en mètre (m).

**T** : temps en microseconde ( $\mu$ s).

Cette méthode consiste à presser les deux têtes sur les faces de l'éprouvette nettoyées, en utilisant une pate de contact qui faciliter la transition du son.

Les résultats obtenus en testant les bétons à l'ultrason sont donnés dans le tableau.

**Tableau III-20** : Résultats de l'essai d'ultrason

Type de béton	Désignation	Age (j)	Distance (cm)	Temps (s)	Vitesse (m/s)	Moyenne
Béton ordinaire	1	28	12,4	25,6	4800	4900
	2	28	12,4	25	4960	
	3	28	12,4	25,1	4940	
Béton hautes performances	1	28	12	25,4	4720	4623.33
	2	28	12	26,5	4530	
	3	28	12	26	4620	
Béton carotté	1	28	12	23,6	5090	5123.33
	2	28	12	23,9	5020	
	3	28	12	22,8	5260	

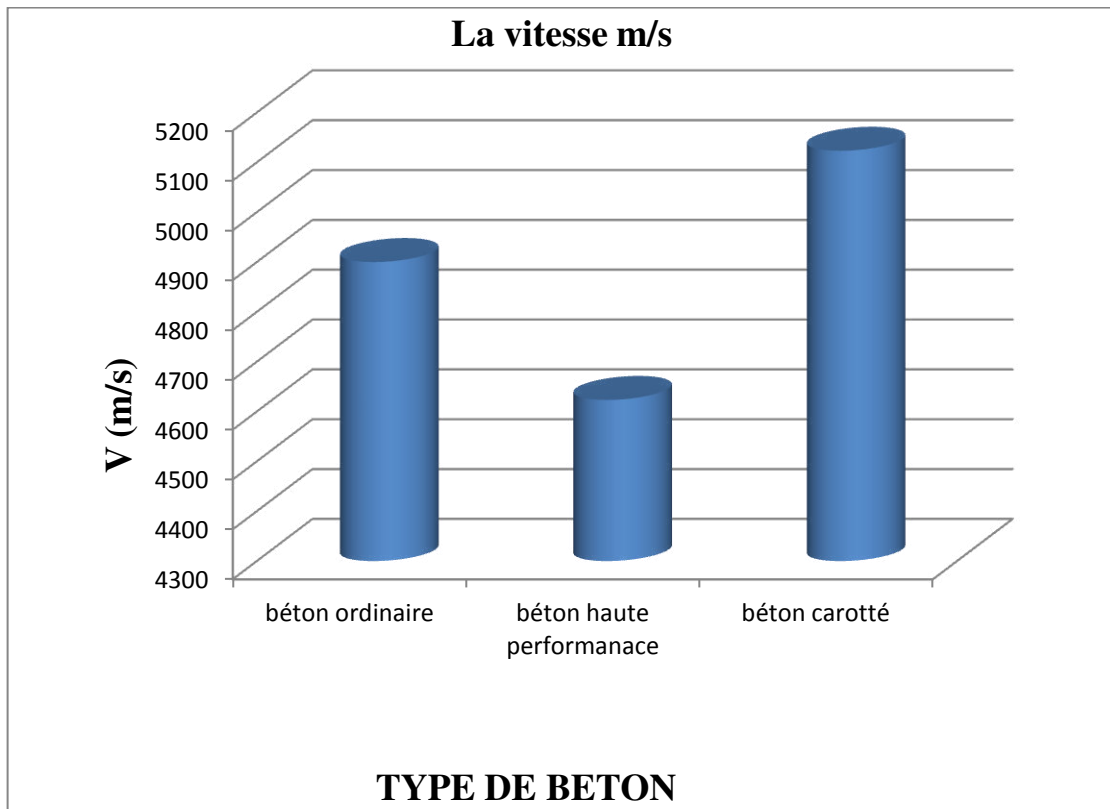


Figure III-5 : Ultrason des différents types de béton

La vitesse de propagation longitudinale est supérieure à 3660 m/s pour toutes les éprouvettes des différents type des bétons (Béton ordinaire, Béton hautes performance, Béton carotté) avec l'adjuvant, ce qui confirme que le béton est de bonne qualité c- à- d ; le béton est bien compacté est n'engendre pas de ségrégation a l'intérieur, ce dernier influe directement sur la vitesse de propagation longitudinale et la qualité du béton.

III-4-Les propriétés mécaniques des bétons

III-4-1-La résistance à la compression

Tableau III-21 : La résistance à la compression à 28 .

Type de béton		N°	La résistance à la compression (MPa)	Moyenne
Epreuve (11D22)	Béton ordinaire	1	25.12	24.61
		2	24.23	
		3	24.50	
	Béton hautes performances	1	45.28	46
		2	42.50	
		3	46.69	
Epreuve (16D32)	Béton carotté	1	60.00	60.16
		2	61.25	
		3	59.75	

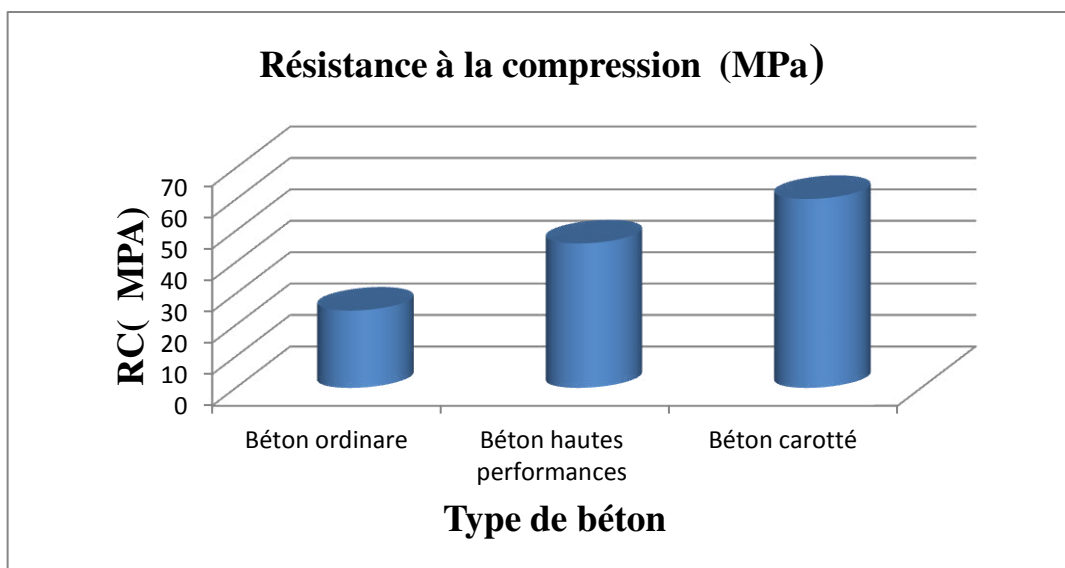


Figure III-6 : Résistance a la compression à 28 jours.

Tableau III-22 : Résistance à la compression à 28 jours (les carotte de diamètre 6.5D13 et 6D12)

Type de béton	N°	La résistance à la compression (MPa)	Moyenne
Béton ordinaire	1	25.12	24.66
	2	24.36	
	3	24.50	
Béton hautes performances	1	45	46
	2	42.55	
	3	46.80	
Béton carotté	1	54.34	57.01
	2	55.61	
	3	61.10	

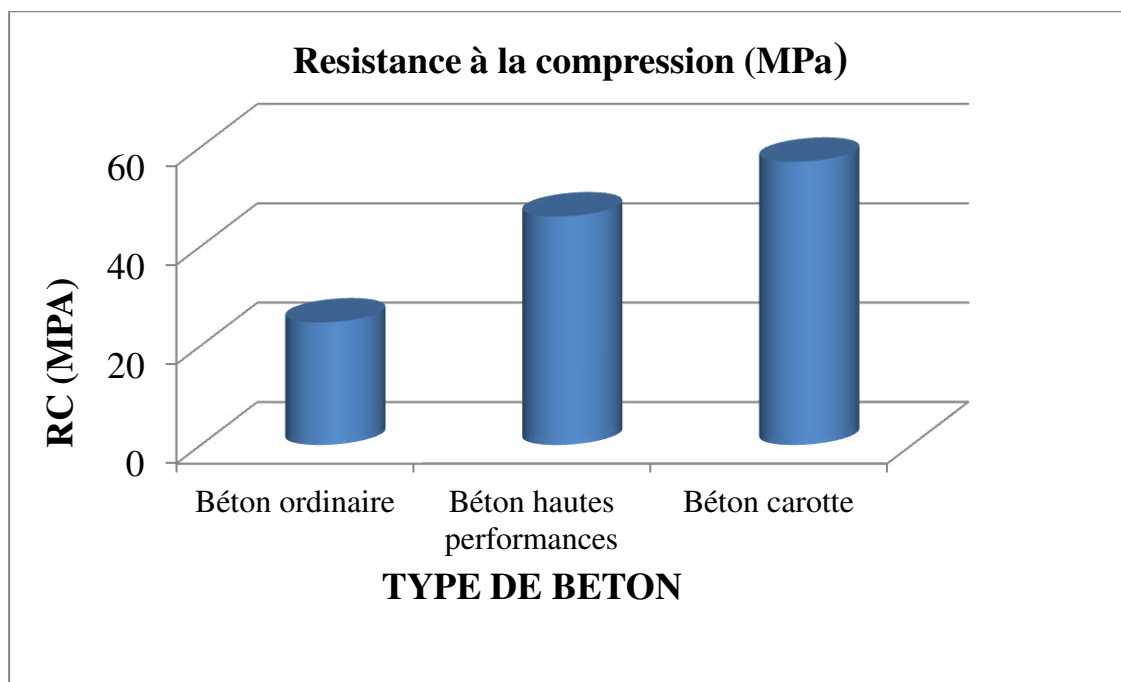


Figure III-7 : Résistance à la compression des différents types de béton.



La figure ci-dessus montre l'évolution de la résistance à la compression des différents types de bétons (Béton ordinaire, Béton hautes performances, Béton carotté) à 28 jours.

Les résultants montrent une amélioration de la résistance a la compression pour le béton hautes performances et le béton carotté par rapport au béton ordinaire ce qui est due principalement a la formulation de béton qui est assez différentes, pour le béton ordinaire, le rapport E/C est assez élevé (0.5) et la classe de ciment utilisé est moindre CEMII/B (Rc28 :42.5).

Pour les deux autres types de béton on constate une amélioration de la résistance mécanique pour les éprouvettes carottées par rapport aux éprouvettes de béton hautes performances. Le béton BHP n'a pas développé de résistances mécaniques élevées à 28 jours, plusieurs causes peuvent aussi influencer la résistance tels que les conditions de l'essai, et le squelette granulaire qui est plus continu pour le béton carotté et le malaxage.

### III-5-Essais physiques

#### III-5-1-La porosité

La porosité des bétons (Béton ordinaire, Béton hautes performances, Béton carotté) est déterminée selon l'équation suivante :

$$P = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{sat}} - M_{\text{a}}} 100\%$$

**Ou :**

**P%** : la porosité d'un échantillon en pourcentage (%).

**Ma** : la masse d'un échantillon saturé pesé dans l'eau en (balance hydrostatique) (g).

**M sec** : la masse sèche obtenue après séchage à l'étuve (g).

**Msat** : la masse d'un échantillon après l'immersion dans l'eau pendant 28 jours en (g).

Tableau III-23: Porosité des différents types de béton

Type de béton	N°	La porosité (%)	Moyenne
Béton ordinaire	1	1.05	0.85
	2	0.79	
	3	0.71	
Béton hautes performances	1	0.68	0.60
	2	0.46	
	3	0.67	
Béton carotté	1	0.92	0.96
	2	1.54	
	3	0.43	

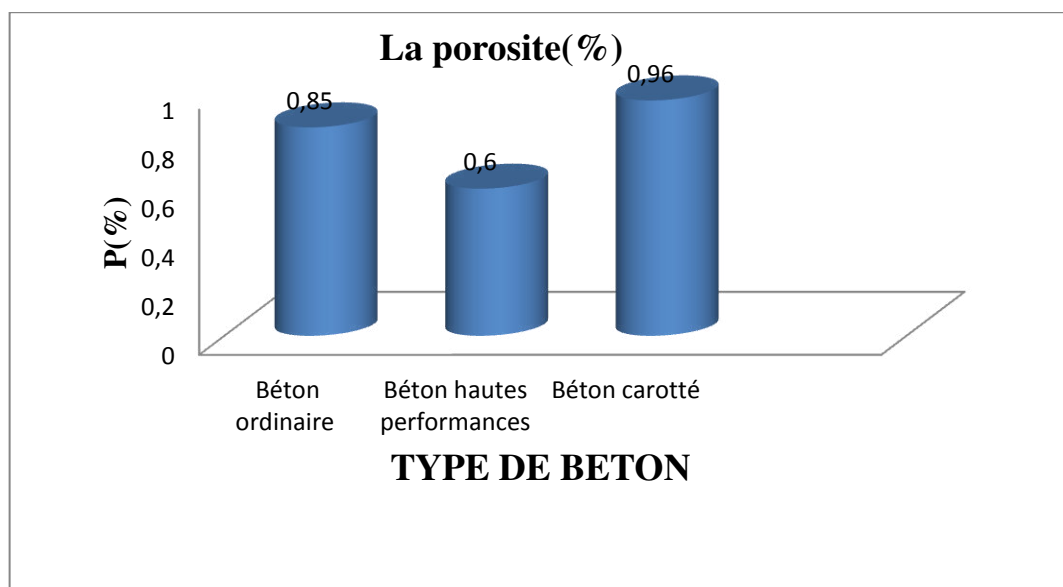


Figure III-8 : La porosité des différents types de béton

## III-5-2-L'absorption

En utilisant les pesées de la masse réalisée dans l'essai de la porosité des bétons l'absorption de l'eau à été calculée selon l'équation suivante :

$$Ab\% = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

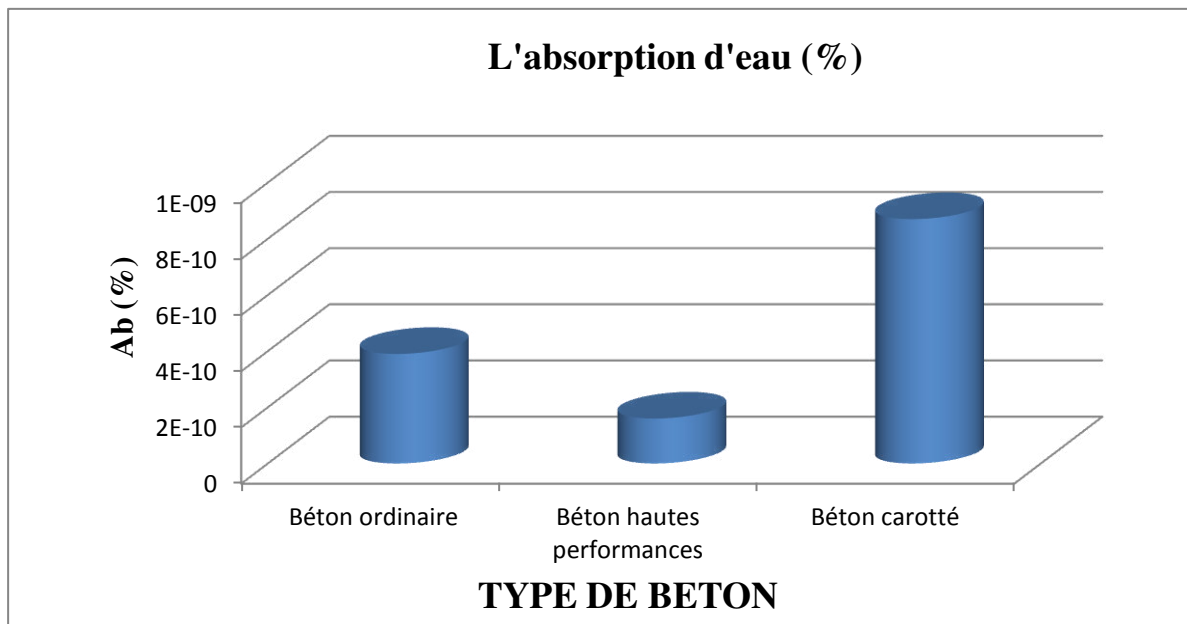
**Ab%** : Absorption de l'éprouvette en pourcentage (%).

**Mh** : La masse de l'éprouvette après l'immersion dans l'eau pendant 24 jours (g).

**Ms** : La masse séchée de l'éprouvette (g).

**Tableau III-24** : L'absorption des différents types de béton

Type de béton	N°	L'absorption (%)	Moyenne
Béton ordinaire	1	0.37	0.39
	2	0.36	
	3	0.45	
Béton hautes performances	1	0.18	0.16
	2	0.15	
	3	0.15	
Béton carotté	1	0.88	0.87
	2	0.81	
	3	0.93	



**Figure III-9** : Absorption des différents types de béton

-Les résultats montre que le taux de porosité béton hautes performances est plus faible en comparaison avec les deux autres béton, cela peut s'expliquer par le rôle de l'ajout fumée de silice qui joue un rôle physique le remplissage des vides ainsi et un rôle chimique en rentrant en réaction avec la portlandite libérée lors de l'hydratation des minéraux de ciment procurant plus de compacité et moins de porosité. Grace aussi au rapport E/C très réduit. Cela conduit aussi a une absorption réduite. Le béton carotté montre aussi une faible porosité et absorption a cause de sa compacité assez élevée qui vont sans doute influencer la durabilité par la suite.

### III-6- Caractérisation de la résistance chimique vis avis de l'attaque acide

#### Acide sulfurique : $H_2SO_4$ (voir la fiche technique) norme

Afin de tester la durabilité des différents types de béton vis avis l'attaque acide, les éprouvettes sont immergées dans une solution d'acides sulfurique a 10 % pendant 28 jours, la mesure de la perte de masse a été faite périodiquement a (3.7.14.28 jours). Pour cela les éprouvettes sont retirées, nettoyées à l'eau distillée pour éliminer les parties altérées, séchées étuvées jusqu'à à l'élimination totale de l'humidité absorbée.

Le degré de la l'attaque est évalué par la formule de perte de masse suivante

$$\text{Perte de masse (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

M1 : La masse des éprouvettes avant immersion.

M2 : La masse des éprouvettes après immersion.



**Figure III-10:** Eprouvette de béton soumise à l'attaque acide sulfurique

**Tableau III-25 :** Perte de masse en fonction du temps dans la solution de sulfurique ( $H_2SO_4$ ).

Type de béton \ Temps		Perte de masse (%)			
		3 jours	7 jours	14 jours	28 jours
Béton carotté	1	2.68	4.98	8.13	10.81
	2	2.71	5.01	8.81	11.64
	3	2.63	4.94	9.21	11.79
Béton ordinaire	1	5.50	13.53	21.93	21.78
	2	6.2.	12.62	23.09	28.54
	3	6.60	13.38	22.65	24.94
Béton hautes performances	1	1.90	4.95	10.60	13.10
	2	2.10	5.80	11.08	12.30
	3	2.55	5.20	10.30	13.11

Tableau III-26 : La perte de masse à 3jours

Type de béton	N <sup>o</sup>	Perte de masse(%)	Moyenne
Béton carotté	1	2.68	2.67
	2	2.71	
	3	2.63	
Béton ordinaire	1	5.50	6.1
	2	6.20	
	3	6.60	
Béton hautes performances	1	1.90	2.18
	2	2.10	
	3	2.55	

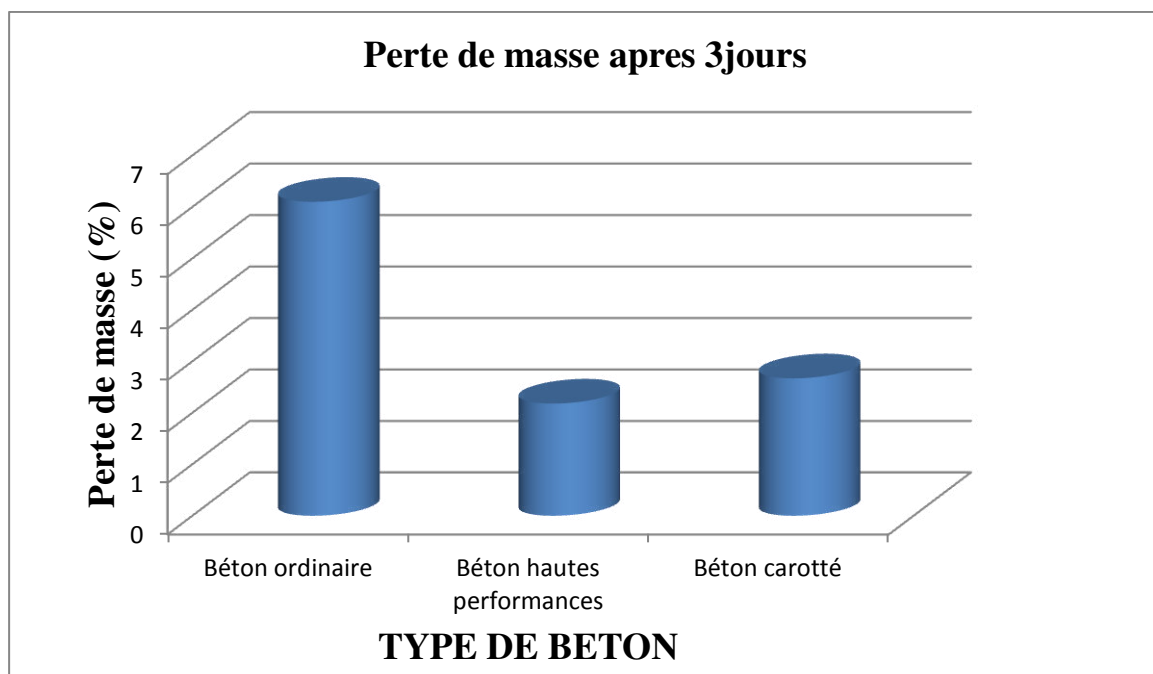


Figure III-11 : Perte de masse à 3jours

Tableau III-27 : La perte de masse à 7jours

Type de béton	N°	Perte de masse(%)	Moyenne
Béton carotté	1	4.98	4.97
	2	5.01	
	3	4.94	
Béton ordinaire	1	13.53	13.17
	2	12.62	
	3	13.38	
Béton hautes performances	1	4.95	5.31
	2	5.80	
	3	5.20	

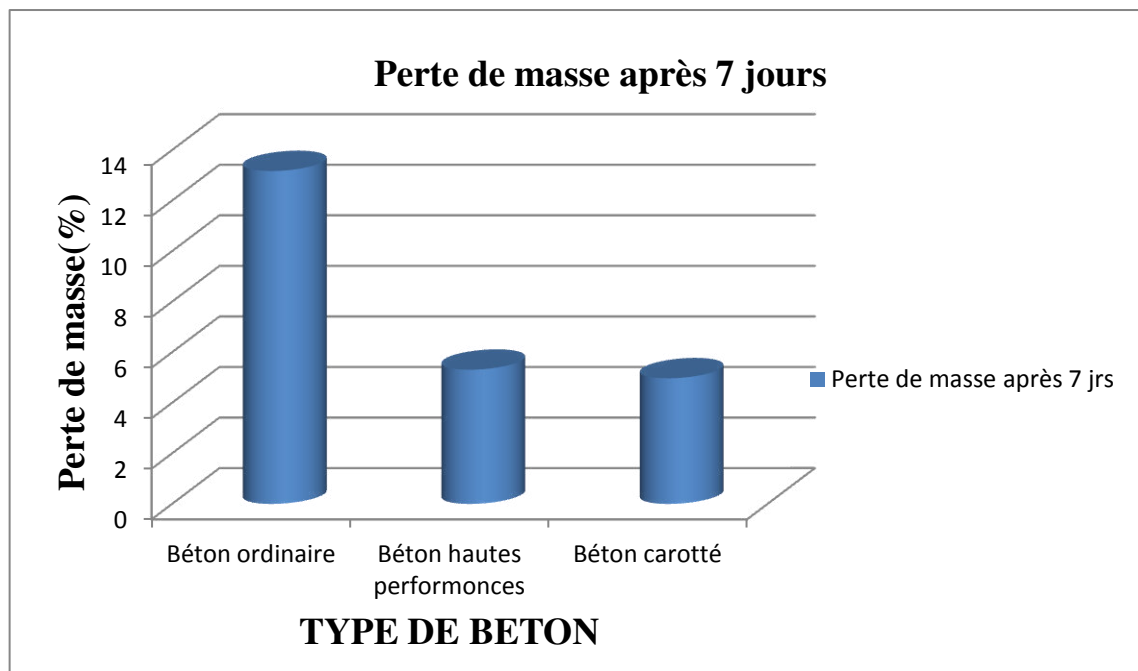


Figure III-12 : La perte de masse à 7jours.

Tableau III-28 : La perte de masse à 14 jours.

Type de béton	N°	Perte de masse(%)	Moyenne
Béton carotté	1	8.13	8.71
	2	8.81	
	3	9.21	
Béton ordinaire	1	21.93	22.55
	2	23.09	
	3	22.65	
Béton hautes performances	1	10.60	10.66
	2	11.08	
	3	10.30	

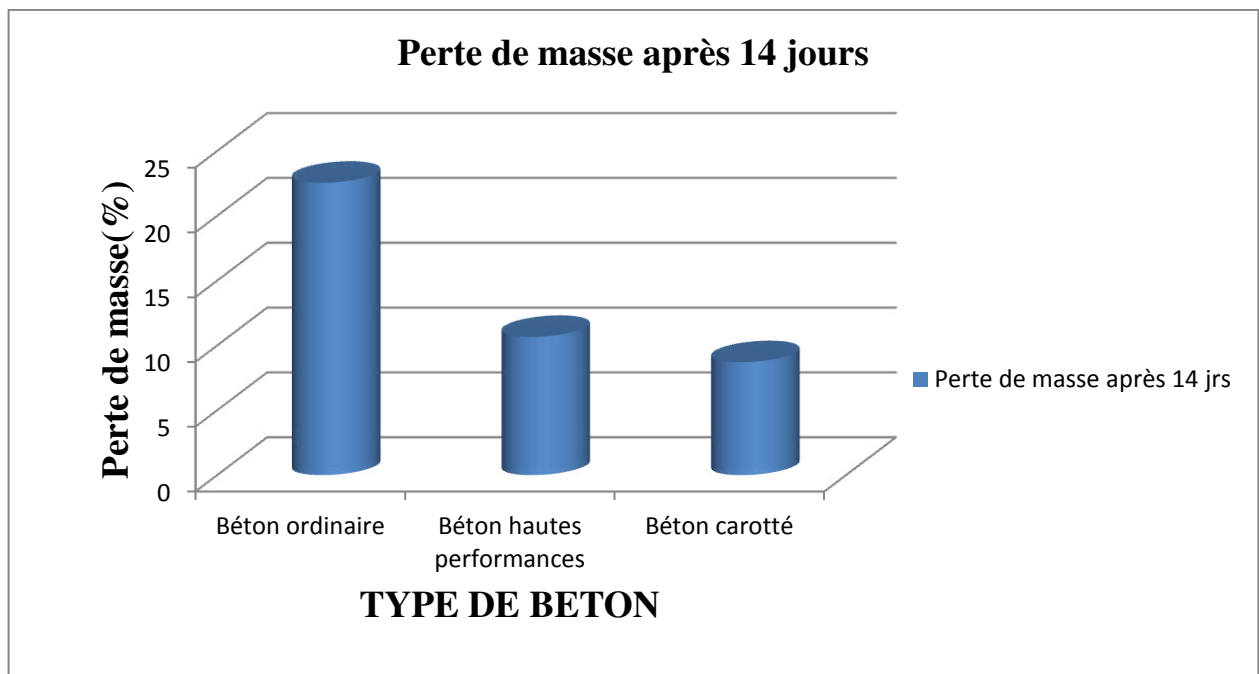


Figure III-13 : La perte de masse à 14 jours



Tableau III-29 : La perte de masse à 28 jours.

Type de béton	N°	Perte de masse(%)	Moyenne
Béton carotté	1	10.81	11.41
	2	11.64	
	3	11.79	
Béton ordinaire	1	21.78	25.08
	2	28.54	
	3	24.94	
Béton hautes performances	1	13.10	12.83
	2	12.30	
	3	13.11	

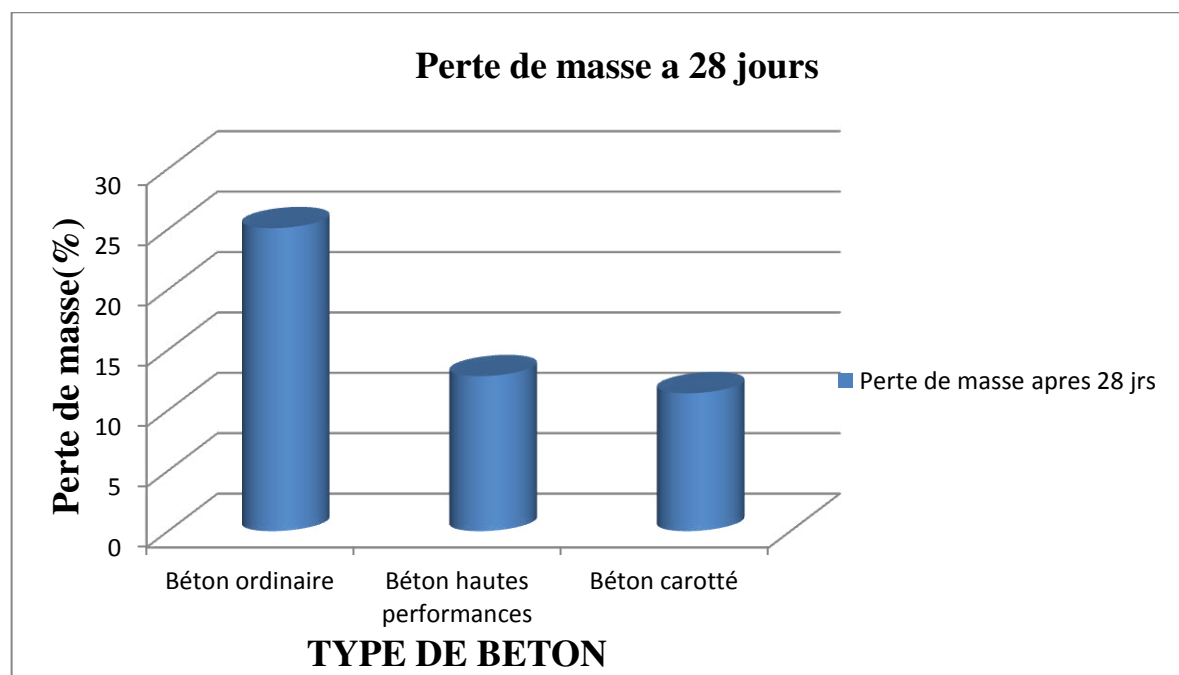
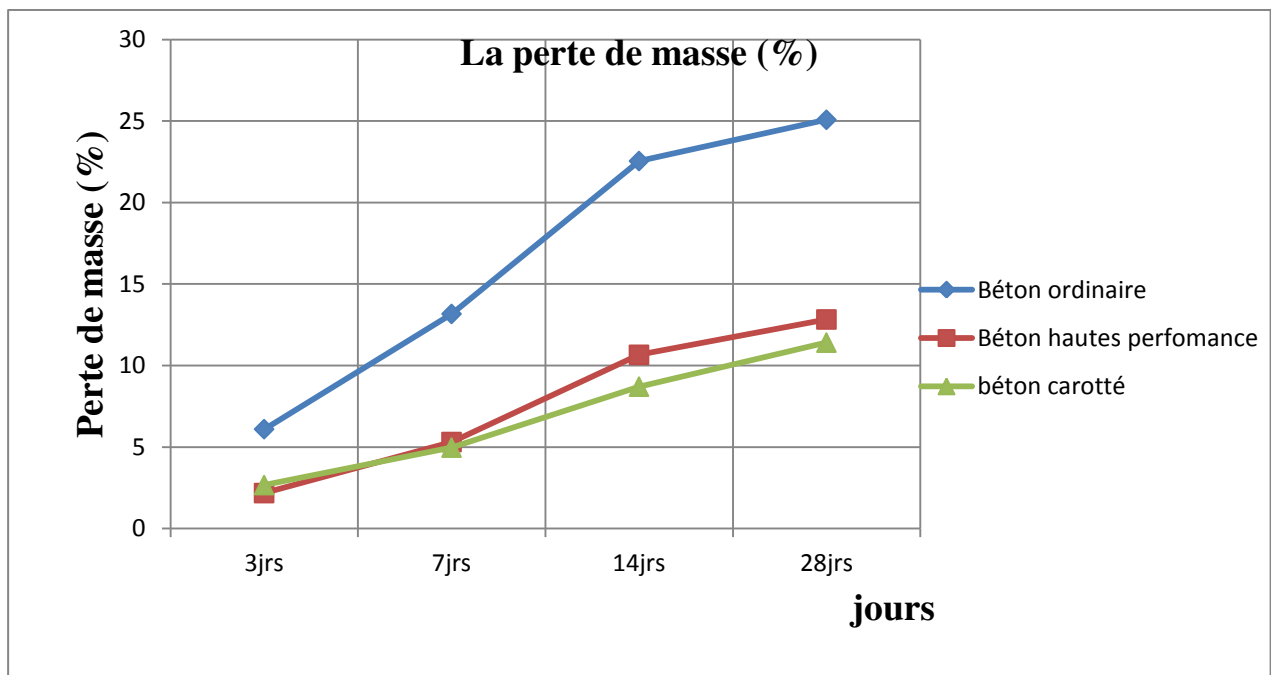


Figure III-14 : La perte de masse à 28 jours

Les résultats présentés montrent une perte de masse plus importante que les bétons hautes performances et les bétons carottés ,ce qui expliqué par l’attaque des sulfurique sur le béton ordinaire qui à une compacité moins que les béton hautes performances et les béton carotté ce qui à permis aux ions sulfates de pénétra dans le béton ordinaire et de détruire de la partie liante cette pénétration été plus rapide dans les béton ordinaire plus que les béton hautes performances et les béton carotté augmentation de l’eau excès d’eau ,il donne ségrégation

**Tableau III-30** : perte de masse les différents type de béton.

Type de béton	La perte de masse(%)			
	3jrs	7jrs	14jrs	28jrs
Béton ordinaire	6.1	13.17	22.55	25.08
Béton hautes performances	2.18	5.31	10.66	12.83
Béton carotté	2.67	4.97	8.71	11.41



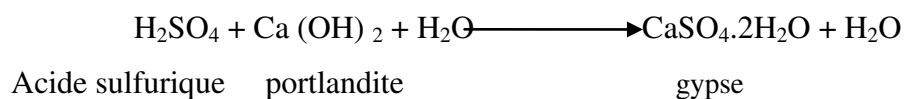
**Figure III-15** : La perte de masse des différents types de béton

## III-6-1- Examen Visuel



**Figure III-16** : Examen Visuel après 28 jours

Après immersion dans l'acide sulfurique les éprouvette sont rapidement recouvertes d'une couche de gypse qui va ralentir la progression de l'attaque, la faible solubilité du gypse environnant rend cette couche relativement stable c'est-à-dire  $H_2S$  s'oxyde se transforme en acide sulfurique, le gypse sera dissous, et les ions de  $SO_4^{2-}$  qui réagissent avec les aluminates pour former l'ettringite qui cause une expansion après une fissuration du béton.



**Remarque**

Des mesure de la perte de masse pour le béton carotté ont été réalisé après 2 mois, la perte de masse n'a pas dépasser 12.64 %.

### Conclusion générale

Théoriquement les bétons faiblement poreux sont généralement plus durables puisque leur faible perméabilité retarde la pénétration de l'eau et des agents agressifs, et des autres agents potentiellement agressifs (sulfate,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Cl}^-$  ... etc.) et cela est fonction de plusieurs paramètres tels que la structure et la compacité du matériau cimentaires. Diagnostiquer le béton en parallèle d'essais physiques et mécaniques nous permet sans doute de prévoir son comportement en service.

Ce travail a pour objectif de faire une étude comparative entre un béton carotté des éléments préfabriqués du projet métro d'Alger, et deux bétons différents, un béton ordinaire et un béton BHP.

Dans ce cadre plusieurs essais ont été réalisés : physique, mécanique et chimique. Afin de voir le comportement des différents bétons vis-à-vis des milieux agressifs un test de durabilité en milieu acide a été réalisé.

A la lumière des résultats obtenus plusieurs constatations et conclusions peuvent être écrites :

- L'examen visuel nous a permis de juger la structure, la compacité et la présence de vide dans les trois bétons.

Le fait que l'échantillon a été coupé d'une façon nette nous a permis, lors de l'examen visuel, de voir que le béton semble de bonne qualité.

Aussi il y a des pores à l'extérieur du béton.

- La vitesse de propagation longitudinale est supérieure à 3660 m/s pour toutes les éprouvettes des différents types de bétons (Béton ordinaire, Béton haute performance, Béton carotté) avec l'adjuvant, ce qui confirme que le béton est de bonne qualité c-à-d ; le béton est bien compacté et n'engendre pas de ségrégation à l'intérieur.
- Les essais mécaniques montrent une amélioration de la résistance à la compression pour le béton haute performance et le béton carotté par rapport au béton ordinaire ce qui est dû principalement à la formulation de béton qui est assez différente, pour le béton ordinaire, le rapport E/C est assez élevé (0.5) et la classe de ciment utilisé est

## Conclusion générale

---

moindre CEMII/B (Rc28 :42.5). Les carottes présentent une résistance mécanique plus élevées. Pour les deux.

- autres types de béton on constate une amélioration de la résistance mécanique pour les éprouvettes carottées par rapport aux éprouvettes de béton hautes performances.
- Les résultats d'essais physiques montrent que le taux de porosité et absorption pour le béton hautes performances est plus faible en comparaison avec les deux autres bétons, cela peut s'expliquer par le rôle de l'ajout fumée de silice qui joue un rôle physique le remplissage des vides ainsi et un rôle chimique en rentrant en réaction avec la portlandite.
- Grace aussi au rapport E/C très réduit. Cela conduit aussi a une absorption réduite. Le béton carotté montre aussi une faible porosité et absorption a cause de sa compacité.
- Le béton hautes performances et le béton de carottes représente une bonne résistance au milieu agressif acide par rapport au béton ordinaire avec une perte de masse réduite qui ne dépasse pas 13%.
- L'incorporation de la fumée de silice dans les bétons conduit à des améliorations remarquables des caractéristiques physico mécaniques des bétons à l'état frais, et à l'état durci.

Enfin cette étude comparative nous a permis de voir la qualité et la durabilité du béton utiliser pour les éléments préfabriqués destinée au projet métro d'Alger.

## I -Les essais pour les granulats

### I-1-Analyse granulométrie

#### 1-1-Domaine d'application

La présente partie de la présente norme européenne a pour objet de définir un procédé faisant appel à des tamis pour la détermination de la distribution dimensionnelle des granules elle s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle y compris aux granulats légers allant jusqu'à une dimension nominale de 63 mm mais à l'exclusion des filler

#### 1-2-Préparation de prise d'essai

Sécher la prise d'essai en la portant à une température de  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante, laisse à refroidir, peser et inscrire le résultat, soit  $M_1$ .

##### 1-2-1Exécution d'essai

###### a)-tamisage

Verser le matériau lavé et séché dans la colonne de tamis. Cette colonne est constituée d'un certain nombre de tamis emboîtés, et disposés de haut en bas, dans un ordre de dimension de mailles décroissant, avec le fond et le couvercle.

**Note :** l'expérience prouve que le lavage n'élimine pas nécessairement l'ensemble les fins. Il est donc nécessaire d'introduire un tamis de contrôle de 63micro m dans la colonne.

- **Appareillage**

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>1-tamis</li><li>2-fonds et couvercles</li><li>3-étuve ventilée</li><li>4-dispositif de lavage</li><li>5-balance</li><li>6-bac brosses</li><li>7-tamiseuse</li></ul> |
|---|



**Figure 01 :** Tamiseuse

Agiter la colonne, manuellement ou mécaniquement, puis reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui présente la plus grande ouverture et agité manuellement chaque tamis en s'assurant qu'il n'y a pas de perte de matériau.

**b)-pesées :**

Peser le refus au tamisât ayant la dimension de maille le plus grand et noté R1

Effectuer la même opération pour le tamis immédiatement en dessous, et note la masse du refus R2.

Poursuivre la même opération pour tous les tamis qui sont dans la colonne, afin d'obtenir la masse des différentes fractions de matériau retenus et noté ces masses, R3, R4,...Rn.

Peser le fond tamis et noté FT

**Note :** le tamisage par voie sec est aussi une méthode alternative, pouvant être utilisée pour les granulats exempts de particule causant une agglomération, en cas de litige, la méthode préférée sera le lavage suivi du tamisage

**2- propreté de sable**

**2-1 l'équivalent sable**

**2-1-1-Principe d'essai**

L'échantillon qui reste après la détermination de la teneur en eau. On le prend et on fait le quartage pour prendre une masse bien déterminée et on le passe sous un tamis de 5mm. On prend (03) éprouvettes, on les remplit avec une solution qui est composée de l'eau distillé et autre éléments (solution lavante) au premier trait de gouge de ces éprouvettes. On prend (03) masse de sable de (120g), et on les verse dans ces derniers, à l'aide d'un agitateur de façon ci-dessous.

**Tableau 01:** l'équivalent de sable

Versement de sable au 1 <sup>er</sup> éprouvette	Versement de sable au 2 <sup>eme</sup> éprouvette	Versement de sable au 3 <sup>eme</sup> éprouvette
agitation pendant 30 <sub>s</sub>	Agitations pendant 30 <sub>s</sub>	agitation pendant 30 <sub>s</sub>
Lavage	Lavage	lavage
Après 20 <sub>min</sub> de repos→ lecture	Après 20 <sub>min</sub> de repos→ lecture	Après 20 <sub>min</sub> de repos→ lecture
H <sub>1</sub> et H <sub>2</sub>	H <sub>1</sub> et H <sub>2</sub>	H <sub>1</sub> et H <sub>2</sub>

L'opération consiste à utiliser (03) éprouvettes graduées pour prendre la moyenne

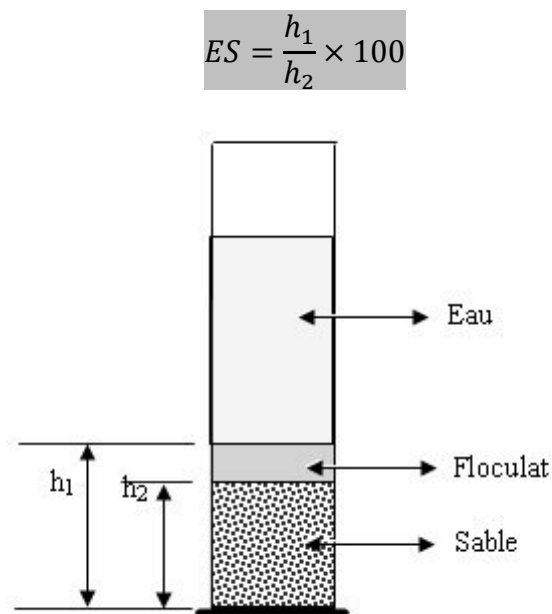
### 2-1-2- expression des résultats

On agite une quantité de sable dans une solution lavant 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 :



**Figure02** : Définition de l'équivalent de sable

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)



## ANNEXE

---

**Tableau 02 : l'équivalent 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	Marque de plasticité

### **3-caractéristique mécanique**

#### **3-1-los Angeles**

##### **3-1-1- 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

##### **3-1-2- 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.

##### **3-1-3-expression des résultats.**

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

## ANNEXE

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

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.



**Figure03** :L'appareil de los-Angeles

### 3-2-micro-dévale et friabilité de sable

#### 3-2-1- 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 :

**Tableau 03** : micro -dévale

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.

## 3-2-2-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 2.5 litre.

- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de  $(100 \pm 5)$  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  $m_0$  le résultat de la pesée.

## 3-2-3 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 autamis.



Figure 04 : L'appareil de micro-dévale

**II-les essais pour le béton frais**

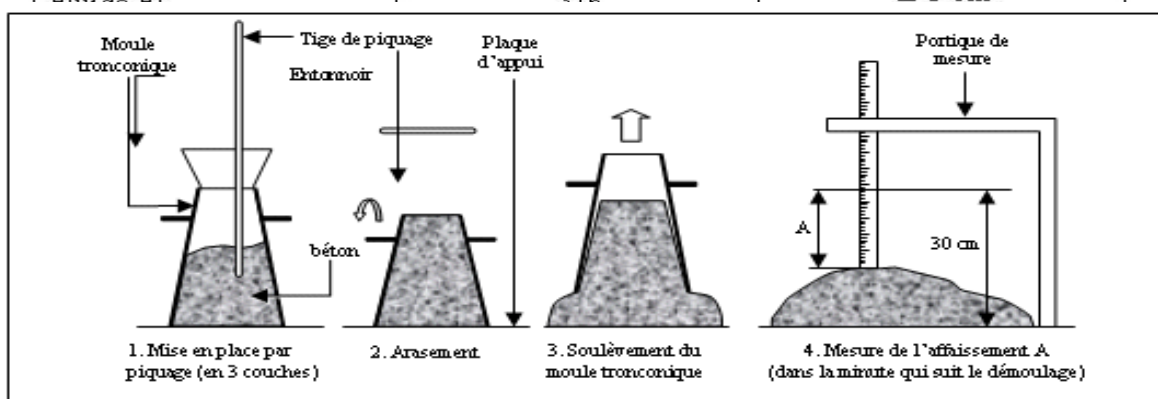
• **Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS**

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 04** : 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

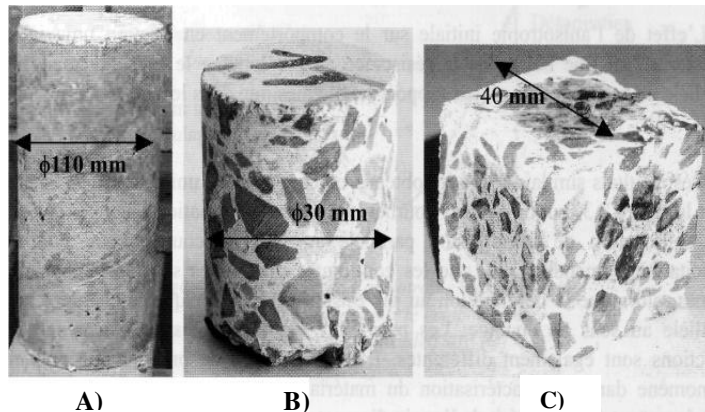


**Figure 05** : Mesure de l'affaissement au cône d'ABRAMS

• **Obtention des éprouvettes**

•

Le premier est le moulage. La mesure de la résistance à la compression simple se fait sur des éprouvettes confectionnées à partir de moules en acier, carton ou polypropylène, cylindriques ou cubique. Leur dimension est choisie en fonction du diamètre du plus gros granulats. Le diamètre du moule doit être au minimum supérieur à trois fois le diamètre du plus gros granulats afin de minimiser les effets de parois. Les dimensions des moules cylindriques sont normalisées (NF P 18-400), les plus utilisés ayant pour diamètre 160 mm et pour hauteur 320 mm.



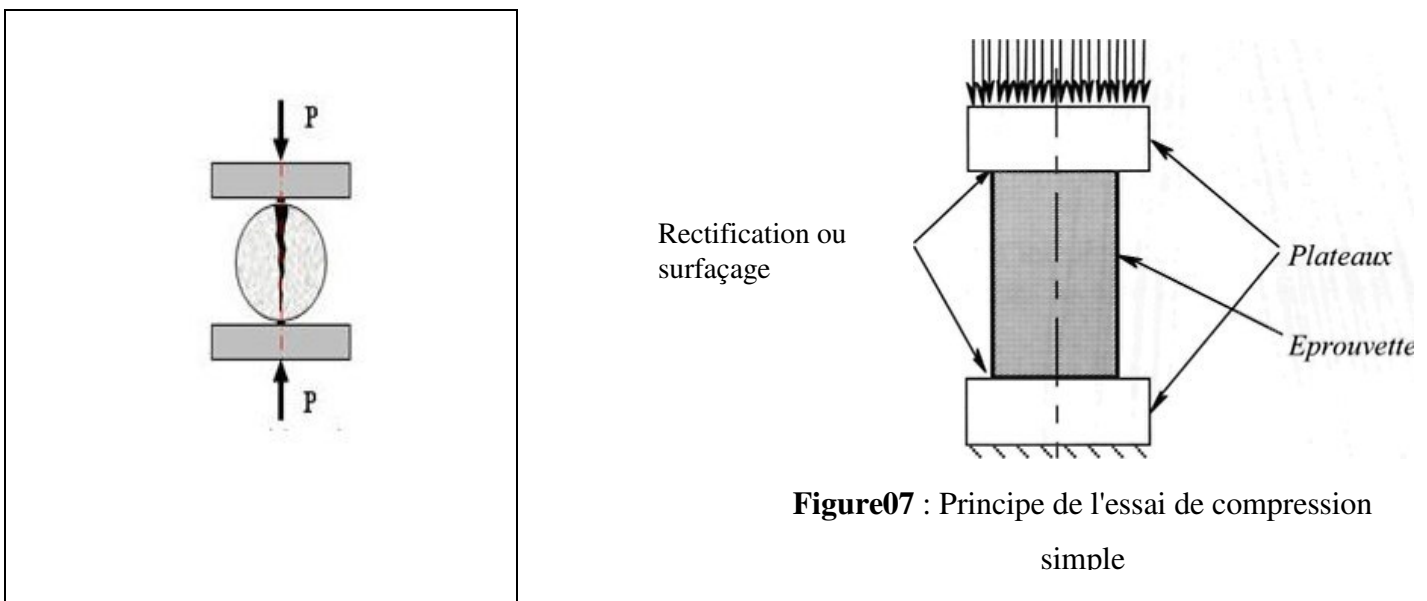
**Figure 06** : Éprouvettes de béton obtenues par moulage, carottage et sciage

### III-les essais pour le béton durci

Avant l'essai de presse, les faces du cylindre au contact des plateaux sont rectifiées au moyen d'un enduit de soufre et de sable. Cette opération est importante dans la mesure où elle permet, en rendant les deux faces de l'éprouvette parfaitement parallèle, d'éviter tout risque de flexion parasite lors de l'essai.

- **Principe de l'essai**

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.



**Figure07** : Principe de l'essai de compression simple

# ANNEXE



## Bibliographie

- (1) mustapha, . Mémoire Dahmar abde rezak et Driss. . Mémoire Da( Etudes de la corrélation entre les résultats des essais de destructifs et les résultats des essais non destructifs). Boumerdes 2003/2004.
- (2) nadjet, Mémoire djemai akila et moussoui. (effet des différentes manières d'ajout de sable de dune siliceux et de verre broyés sur les résistances mécaniques des bétons ordinaires et des bétons à hautes performances ,en utilisant l'extrait sec d'un superplasticisant). Boumerdes 2012/2013.
- (3) Mémoire Mokhtar, hedir samir et odni. ( effet de la dimension des grains de la roche volcanique de la région de tlemcen utilisé comme ajout sur les propriétés rhéologique et mécanique du béton autoplaçant). Boumerdes 2016.
- (4) Mémoire RIADH, . MOHAMED RAHICHE ET GALOUL. durabilité des BFUP élaborés à base CPZ et du sable de dunes dans différents milieux agressifs. *mémoire de master UMBB*. boumerdes : 2014.
- (5) Thèse de doctorats Hannachi Samia. Evaluation de la résistance à la compression sur site : Application de la méthode combinée . constantine 2015.
- (6) P, Mémoire Chanvillard. G et Laplante. Viser une résistance à court terme pour tenir les délais de fabrication : Les bétons bases et données pour leur formulation. 1997.
- (7) béton, Fiche technique CIM. Le ciment et ses applications. 2000.
- (8) Fiche tech-batim, Bresson .J Prévision des résistances. paris 1980.
- (9) Livre Cormon p,Bétons légers d'aujourd'hui. 1973.
- (10) Livre Dreux.G et Festa. Nouveaux guide du béton et de ces constituants 1998 .
- (11) Hichem, Mémoire ARAB Azzedine et RAFAI. ARAB Azzedine e(Elaboration et étude des caractéristiques physico-mécaniques des bétons fibrés à ultra hautes performances avec ajouts de pouzzolane naturelle et de fumées de silice). Boumerdes 2016/2017.
- (12) Khitous Yasser et khelifi action du polycarboxyde . Boumerdes 2009/2010.
- (13) salah, Mémoire Mohamedi alaeddine et azli. influence du dosage de l'eau de gachage . Boumerdes : s.n., 2016.

- (14) SENHADJI, Yassine. l'influence de la nature du ciment sur le comportement des mortiers vis-à-vis des attaques chimiques (acide et sulfatique) oran , 2006.
- (15) livre Gagné Richard. GCI 714- Durabilité et réparations du béton.
- (16) magistère, thèse. durabilité des bétons influence des paramètres de composition et de traitement. constantine 2009.
- (17) Thèse, doctorats rhéologie des bétons fluides a hautes performances :relations entre formulations,propriétés rhéologiques, physico- chimie et propriétés mécaniques . paris 2007.
- (18) Mémoire de Magister, BOUALLEG Saida Effet des milieux agressifs sur les caractéristiques de durabilité des bétons et des matrices cimentaires . M'sila 2004.
- (19) Mémoire CHIHAOUI Ramdane : Durabilité des matériaux cimentaires vis-à-vis d'un environnement chimiquement agressif . oran 2008.
- (20) KERBOUCHE. Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques et la durabilité des mortiers . oran : s.n., 2009.
- (21) Livre D.A, HAUSMANN. "Steel corrosion in concrete: how does it occur?" Materials protection, vol. 4, 11, 1967, p. 19-23.
- (22) Olivier, J. P. livre de " Durabilité des bétons ." (A.NONAT :chapitre2 ; V. BAROGHELBOUNY, B. CAPRA, S. LAURENS : chapitre9 ; A. CARLES-GIBERGUES, H.HORNAIN :chapitre11 ; G. ESCADEILLAS, H. HORNAIN: chapitre 12) .(Edition :Presse de l'école nationales de ponts et chaussées, 2008.
- (23) AMRIOU, Magister Abderrachid. Detection par Rayon Xde la degradation du béton sous l'effet des agressions chimique (sulfates) . M'sila 2007/2008.
- (24) grade, NDZANA AKONGO Grégoire & TCHOUMI Samuel (Diplôme des Professeurs des lycées d'Enseignement Technique 2ème. . NDZANA AKONGO Gré Réhabilitation des ouvrages en béton armé dégradés par la corrosion des armatures . Douala : s.n.
- (25) POYET, Stéphane. Etude de la dégradation des ouvrages en béton atteints par la réaction alcali-silice : Approche expérimentale et modélisation numérique multi-échelles des dégradations dans un environnement hydro-chemo-mécanique variable.



# 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.

**norme européenne****NF EN 12390-3****Février 2003**

norme française

Indice de classement : P 18-455

ICS : 91.100.30

## Essai pour béton durci

### Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes

E : Testing hardened concrete — Part 3: Compressive strength of test specimens

D : Prüfung von Festbeton — Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern

### Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 janvier 2003 pour prendre effet le 5 février 2003.

Remplace la norme homologuée NF P 18-406, de décembre 1981.

**Correspondance** La Norme européenne EN 12390-3:2001 a le statut d'une norme française.

**Analyse** Le présent document spécifie une méthode de détermination de la résistance en compression d'éprouvette de béton durci.

**Descripteurs** **Thésaurus International Technique** : béton, essai, essai de compression, résistance à la compression, éprouvette d'essai, conditions d'essai, appareillage, mode opératoire, résultats d'essai.

**Modifications** Par rapport au document remplacé, adoption de la norme européenne.

### Corrections



# 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	$1.06 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$
pH	$5.5 \pm 1.8$
Teneur en Chlorures	< 0.1%
Extrait sec	$26 \pm 1.3\%$
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

## Résumé

Développé sans cesse depuis la fin du XIXe siècle, Le béton est aujourd'hui le matériau de construction le plus répandu dans le monde. Si le béton a la capacité de résister aux attaques chimiques, encore faut-il connaître à quelles conditions et comment car il existe pourtant des situations où les ouvrages en béton se dégradent plus vite ou plus sévèrement que prévu suite à des différents facteurs qu'on a présentés dans ce mémoire. Ainsi, les méthodes de diagnostic des ouvrages permettent de quantifier, par croisement de différentes techniques, l'état de dégradation due aux attaques chimiques. Selon l'état d'avancement des dommages, des mesures préventives, de réhabilitation, seront utilisées afin de garantir la sécurité de l'ouvrage.

La durabilité du béton dans les conditions agressives, est devenue un sujet d'intérêt majeur et, par conséquent, un domaine de recherche largement exploré. C'est dans ce cadre que s'insère la présente étude.

L'objectif de cette recherche est de contrôler et diagnostiquer un béton carotté d'éléments préfabriqués issus du projet métro d'Alger, en comparaison avec deux bétons, un béton ordinaire et un béton BHP. Plusieurs propriétés physico-mécaniques et la durabilité chimique ont été étudiées. Les carottes des éprouvettes des différents types de béton, ont été soumises à l'attaque chimique dans le milieu agressif à 10% pendant une durée de temps de 28 jours.

La comparaison des résultats expérimentaux a montré que le béton réalisé par COSIDER représenté par les carottes montre de bonne performance de point de vue résistance mécanique et durabilité chimique.

## Abstract

Developed steadily since the late nineteenth Century concrete has become the most prevalent building material in the world. Knowing that concrete has the ability to withstand chemical attacks, it is still necessary to know under what conditions? And How? Because there are situations in which concrete structures deteriorate quickly or severely more than expected because of several factors we presented in this thesis. Diagnostic methods via several techniques can be used to determine the state of degradation due to chemical attack. According to the state of damage, preventive procedures and rehabilitation will be used to ensure the safety of the structure. The strength and durability of concrete under difficult conditions has become a common topic of major interest and, therefore, a common area of research widely explored it is in this context that the present study fits. The objective of this research is to control and diagnose a precast concrete core from the Alger metro project in comparison with two concretes an ordinary concrete and a high performance concrete several physic – mechanical properties and the chemical durability were studied cores of different types of concrete were subjected to chemical attack in the aggressive medium at 10 % for a period of time of 28 days. The comparison of the experimental results showed that the concrete made by COSIDER represented by the cores shows good performance from the point of view of mechanical resistance and chemical durability.

## ملخص

منذ أواخر القرن التاسع عشر والخرسانة تشهد تطورا ملموسا فهي من مواد البناء الأكثر انتشارا في العالم فإذا كانت للخرسانة القدرة على مقاومة الهجوم الكيميائي إلا أنه يجب أن تعرف في أي ظروف وكيف لأن هناك حالات حيث بنية الخرسانة تتدهور بسرعة أكبر أو بشده أكثر مما كان متوقعا نتيجة العوامل مختلفة تم ذكرها في هذه المذكرة كما أن طرق التشخيص عن طريق التقنيات المختلفة تسمح بتحديد حالة التدهور الناتجة عن الهجوم الكيميائي وعلى حسب حالة تقدم و تفاقم الضرر و التدهور هناك تدابير وقائية وطرق لإعادة التأهيل يتم استخدامها لضمان سلامة البنية.

متانة وديمومة الخرسانة في ظروف عدوانية أصبح موضوع اهتمام كبير وبالتالي مجال واسع للبحوث و في هذا السياق تدرج هذه الدراسة.

الهدف من هذه البحث و التحكم وتشخيص الخرسانة الأساسية مسبقة الصب من مشروع مترو الجزائر بالمقارنة مع خرسانتان الخرسانة العادية و الخرسانة عالية الأداء. تمت دراسة العديد من الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية و المتانة الكيميائية. تعرضت النوى و العينات من أنواع مختلفة من الخرسانة لهجوم كيميائي في المتوسط العدواني لمدة 28 يوما.

أظهرت المقارنة بين النتائج التجريبية إن الخرسانة المصنوعة من قبل كوسيدر ممثلة في النوى تظهر الأداء الجيد من حيث المقاومة الميكانيكية و المتانة الكيميائية.