

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

**Université Ahmed Draia Adrar**  
**Faculté Des Sciences et de Technologies**  
**Département Des Sciences et Technologie**



Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :

**Master En Génie Civil**

**Option : Matériaux en génie civil**

**Présenté Par :**

**TAYEB HAMMANI Karima**

**BOUYAHIA Chérifa**

**THEME**

**Influence des effets de température et de conservation sur  
la résistance mécanique du béton**

Soutenu Le 20/06/2018 Devant membre de jury composé de :

<b>Dr. SEMCHA Abdélaziz</b>	Univ. Adrar	<b>President</b>
<b>Mr ABOU Mohamed</b>	Univ. Adrar	<b>Examineur</b>
<b>Pr. KHELAFI Hamid</b>	Univ. Adrar	<b>Encadreur</b>
<b>Mr MOULAY ALI Abderrahmane</b>	Univ. Adrar	<b>Invité</b>

**Année Universitaire 2017-2018**

## **DEDICACES**

*Je dédie ce Mémoire à :*

*Ma chère maman et mon cher père pour leurs  
sacrifices, leurs patiences, et leurs Encouragements  
tout le long de ma formation.*

*Mes frères et mes sœurs, chacun par son nom,  
Ma famille BOUYAHIA ET NOUACER Et la famille  
TAYEB HAMMANI*

*Mes enseignants et mes collègues d'étude et mes  
collègues de la cité universitaire et ma sœur Amina.*

*Merci du fond du cœur*

*Chérifa*

## *DEDICACES*

*Avec l'aide du tout puissant, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie :*

*A ma très chère maman,  
Hedli Zoulikha*

*Que dieu la protège pour moi, je ne pourrai jamais la remercier assez pour ce qu'elle fait pour moi.*

*A mon très cher père  
Nadir*

*Je voudrais partager ce succès avec lui, que Dieu le protège et le garde,*

*A mes chers frangins  
Houcine, Farid, Adel et Mounir  
Qui sont très présents pour me soutenir*

*A Mes enseignants et mes collègues  
Spécialement Chérifa*

*A mes chers amies et amis  
Chacun par son propre nom*

*Karima*

## **Remerciements**

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Pr. KHÉLAFI, d'avoir accepté d'en assurer la direction de ce travail en nous faisant part de sa grande connaissance, malgré ses multiples responsabilités. Ainsi que notre Co-encadreur Mr. MOULAY ALI, pour avoir accepté de nous assister à l'aide de ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.*

*Ce travail a été mené au sein du laboratoire de génie civil à l'université Ahmed Draïa d'Adrar ainsi qu'au laboratoire LTPS et ARTS d'Adrar, sous la direction de leurs ingénieurs. Nous exprimons sincèrement toute notre reconnaissance pour leurs conseils et leur disponibilité tout le long de ce travail.*

*Nos vifs remerciements vont également au Président du jury Dr SEMCHA et à notre examinateur Mr ABBOU, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*A tous nos enseignants qui nous ont guidés et formés durant ces années.*

*Nous présentons aussi nos sincères remerciements à l'entreprise Harrouchi pour sa collaboration en nous fournissant le gravier nécessaire à la réalisation de notre projet.*

*A*

*Nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# Sommaire

Chapitre I : Etude bibliographique .....	3
1. Introduction .....	3
2. Description du béton ordinaire .....	4
3. Historicité du béton .....	4
4. Composition du béton .....	5
4.1. Pate de ciment .....	5
5. Les constituants du béton .....	6
5.1 Ciment .....	6
5.1.1 Fabrication.....	6
5.1.2. Différents types de ciments courants.....	6
5.1.3. Hydratation de ciment .....	8
5.1.4. Degré d'hydratation.....	8
5.2 Les additions.....	9
5.3 Granulats .....	9
5.3.1 Classification des granulats selon la provenance : .....	10
5.3.2 Désignation des granulats.....	11
5.4 Sable .....	11
5.4.1 Différents types de sable .....	11
5.4.2 Les sables issus d'une chaîne d'élaboration (sables artificiels) .....	11
5.4.3 Les sables naturels.....	12
5.4.4 Propriétés des sables de dune .....	12
5.4.5 Equivalent de sable :.....	12
5.5 L'eau de gâchage.....	13
5.5.1 Eau libre .....	13
5.5.2 Eau liée.....	14
5.5.3 L'eau capillaire.....	14
5.6 Adjuvant .....	14
5.6.1 Type des adjuvants .....	14
6. Les différents types du béton.....	15
6.1 Dosage de béton en kg dans un <i>M3</i> .....	16
7. Formulation de béton.....	16
7.1 Méthodes de composition des bétons .....	16
7.2 Méthodes des courbes de référence :.....	16

7.3	Méthode de FAURY .....	17
7.4	Propriétés du béton .....	19
7.4.1	Propriétés essentielles d'un béton .....	20
7.4.2	Béton frais .....	20
7.4.3	Béton durci .....	21
8.	Caractéristiques mécaniques et physiques du béton .....	21
8.1	Introduction .....	21
8.2	Résistances du béton .....	21
8.2.1	Compression .....	21
8.2.2	Traction .....	22
8.2.3	Flexion.....	22
8.3	Caractéristiques physiques du béton .....	23
8.3.1	Retrait .....	23
8.3.2	Fluage .....	23
8.3.3	La dilatation.....	23
8.3.4	Le coefficient « Poisson » .....	24
9.	Conséquences d'une augmentation de la température sur les bétons .....	24
9.1	La prise .....	24
9.2	Fissuration .....	25
10.	Conclusion.....	26
Chapitre II : .....		27
1.	Introduction .....	27
2.	Caractérisations des matériaux utilisés.....	27
2.1	Sable de dune.....	27
3.	Analyse granulométrique (Norme NF P18 560).....	28
3.1	But de l'essai .....	28
3.2	Principe de l'essai.....	28
3.3	Matériel nécessaire .....	28
3.4	Analyse granulométrique de sable de dune Sali : .....	28
4.	Modules de finesse Norme NF P18 304.....	29
4.1	Interprétation : .....	30
5.	Teneur en eau : .....	30
5.1	Appareillage et mode emploi : .....	30
5.2	Interprétation .....	30

6.	Equivalent de sable Norme (NF P 18 -598) .....	30
6.1	But de l'essai.....	30
6.2	Principe de l'essai .....	30
6.3	Interprétation : .....	31
7.	Masses volumiques : .....	31
7.1	Masse volumique absolue (norme NF P18-301).....	31
7.1.1	Principe et mode d'emploi de l'essai.....	31
7.2	Masse volumique apparente NF P18-554.....	32
8.	Sable concassé.....	32
8.1	Analyse granulométrique.....	33
8.2	Premier échantillon.....	33
8.3	Deuxième échantillon.....	34
8.4	Troisième échantillon .....	35
8.5	Interprétation .....	36
9.	CIMENT.....	37
9.1	Ciment El MATINE .....	37
9.1.1	Analyse chimique .....	37
9.2	Ciment STG.....	37
9.2.1	Essai de consistance de ciment.....	37
9.2.2	Mode d'emploi .....	38
9.2.3	On distingue les valeurs suivantes.....	38
9.3	Interprétation .....	38
10.	Essai de prise de ciment (NF P 15-473 - NF EN 196-3) .....	38
10.1	Définition et but de l'essai.....	38
10.2	Matériel utilisé et mode d'emploi.....	39
11.	Eau de gâchage.....	39
11.1	Interprétation .....	40
12.	Adjuvant .....	40
12.1	Dosage.....	40
13.	GRAVIER .....	41
13.1	Analyse granulométrique des granulats NF P 18-560 .....	41
13.2	Absorption d'eau (NF P 18-555).....	43
13.2.1	Interprétation .....	43
13.3	La masse volumique des graviers.....	43

14.	Propreté pour granulat (NFP 18-591).....	43
14.1	Mode opératoire .....	43
14.2	Interprétation : .....	43
15.	La teneur en eau .....	44
15.1	Interprétation .....	44
16.	Coefficient d'aplatissement (NFP-18 561).....	44
16.1	Mode d'emploi .....	44
17.	Los Angeles NFP-18 573 .....	45
17.1	Matériel utilisé.....	46
17.2	Principe.....	46
18.	Micro Deval en présence d'eau NFP-18 572.....	46
18.1	Principe de l'essai.....	47
18.2	Matériel utilisé :.....	47
19.	Conclusion.....	48
1.	Introduction.....	50
2.	Calcul approche de la formulation .....	50
2.1	Composition 1 et 2 : .....	51
A.	La courbe granulométrique selon la méthode FAURY :.....	51
2.2	Etude du mélange :.....	51
2.3	Préparation des matériaux :.....	52
2.3.1	Objectif.....	52
2.4	Contrôle sur béton frais.....	53
2.3.2	Affaissement au cône d'Abrams.....	53
2.3.3	La masse volumique du béton frais NF EN 12350-6 .....	54
3.	Confection des éprouvettes en béton NF P-18 404 .....	54
3.1	Mise en place.....	54
3.2	Conservation.....	55
3.2.1	Démoulage : .....	55
3.2.2	Conservation après démoulage.....	55
3.3	Formulation corrigé.....	56
3.3.1	Objectif :.....	56
3.3.2	Calcul approche de la formulation .....	56
3.4	Composition 3 : .....	56
3.4.1	Etude du mélange :.....	56



3.5	Composition 4 :	58
3.5.1	Etude du mélange :	58
3.5.2	Confection du béton :	59
4.	Conclusion :	59
Chapitre IV : Résultats et discussions		60
1.	Introduction	60
2.	Essai de la résistance mécanique	60
2.1	L'objectif	60
2.2	Principe de l'écrasement :	61
2.3	Résultats de la résistance à la compression	61
3.	Composition 1 :	62
3.1	Béton avec 100% de sable de dune et CEMII/B 42,5N EL MATINE	62
3.2	Les résultats de la résistance mécanique de composition 1 :	62
3.3	La résistance mécanique en fonction d'âge dans les deux mode (int, ext (C1)) :	63
3.4	Interprétation :	64
3.5	La résistance mécanique en fonction de température (C1)	64
3.6	Interprétation :	64
4.	Composition 2	64
4.1	Béton avec 100% de sable de dune et CEMII/B 42,5N(STG)	64
4.2	Les résultats de la résistance mécanique de composition 2 :	64
4.3	La résistance mécanique en fonction d'âge dans les deux modes (int, ext (C2)) :	65
4.4	Interprétation (2)	66
4.5	La résistance mécanique en fonction de température (C2)	66
4.6	Interprétation :	66
5.	Composition 3	66
5.1	Béton avec 30% de sable de dune SD et 70% de sable concassé SC :	66
5.2	Les résultats de la résistance mécanique de composition 3 :	67
5.3	La résistance mécanique en fonction d'âge dans les deux mode (int, ext (C3)) :	68
5.4	Interprétation	68
5.5	La résistance mécanique en fonction de température (C3)	68
5.6	Interprétation :	68
6.	Composition 4	68
6.1	Béton avec 50% de sable de dune SD et 50% de sable concassé SC	68
6.2	Les résultats de la résistance mécanique de composition 3 :	69

6.3	La résistance mécanique en fonction d'âge dans les deux modes (int, ext (C4)) :.....	69
6.4	Interprétation : .....	70
6.5	La résistance mécanique en fonction de température (C3).....	70
6.6	Interprétation : .....	70
7.	Comparaison de la résistance à la compression entre les quatre compositions :.....	70
7.1	Evolution de la résistance en fonction d'âge pour les quatre compositions (interne) .....	71
7.2	Evolution de la résistance en fonction d'âge pour les quatre compositions (externe).....	71
7.3	Interprétations :.....	71
8.	Comparaison entre les quatres compositions en fonction d'âge.....	72
8.1.	La résistance dans sept jours .....	72
8.2	La résistance dans 14 jours.....	73
8.3	La résistance dans 28 jours.....	73
8.4	La résistance dans 45 jours.....	74
8.5	Interprétations :.....	74
9.	Conclusion :.....	75
	CONCLUSION GENERALE .....	76

## Liste des tableaux

### CHAPITRE I

Tableau 1:Composition des bétons ordinaire .....	5
Tableau 2:Les types de ciments normalisé.....	7
Tableau 3:Composition minéralogique moyenne typique d'un clinker de ciment Portland.....	8
Tableau 4:Classification des granulats selon la grosseur .....	11
Tableau 5: Indication des valeurs de l'équivalent de sable.....	13
Tableau 6:Classification et utilisation des adjuvants <b>NF EN 934-2</b> .....	15
Tableau 8: Vibration recommandé en fonction de l'ouvrabilité du béton .....	20

### CHAPITRE II

Tableau 1: Résultats d'analyse granulométrique du sable dune Sali .....	29
Tableau 2: Teneur eau de sable de dune Sali .....	30
Tableau 3: Résultats d'essai de l'équivalent de sable.....	31
Tableau 4: Résultats de calcul de la masse volumique.....	32
Tableau 5 : Caractéristique du sable de dune .....	32
Tableau 6: Analyse granulométrique du sable concassé (0/3) .....	33
Tableau 7: Analyse granulométrique du 30% Sable dune+ 70% Sable concassé.....	34
Tableau 8: Analyse granulométrique du 50% Sable dune+ 50% Sable concassé.....	35
Tableau 9: Caractéristique des trois échantillons .....	36
Tableau 10 : Analyse chimique du ciment .....	37
Tableau 11: résultat de l'essai consistence de ciment STG.....	38
Tableau 12: Résultat de l'essai prise de ciment.....	39
Tableau 13 : Composition chimique de l'eau potable en (mg/l) .....	40
Tableau 14 : Caractéristiques de l'adjuvant superplastifiant SIKA.....	40
Tableau 15: Analyse granulométrique des graviers classe 3/8.....	41
Tableau 16: Analyse granulométrique des graviers classe 8/15.....	42
Tableau 17: Analyse granulométrique des graviers classe 15/25.....	42
Tableau 18: Absorption d'eau des granulats utilisés.....	43
Tableau 19: les résultats de la masse volumique absolu et apparent.....	43
Tableau 20: Propreté des granulats utilisés .....	43
Tableau 21: la teneur en eau des trois classes du gravier HARROUCHI .....	44
Tableau 22: Coefficient d'aplatissement pour la classe 3/8 .....	45
Tableau 23: Coefficient d'aplatissement pour la classe 8/15 .....	45
Tableau 24: Coefficient d'aplatissement pour la classe 15/25 .....	45
Tableau 25 : Résultat de Los Angeles pour les trois classes de graviers.....	46
Tableau 26: Résultats de l'essai micro Deval pour gravier HARROUCHI .....	47
Tableau 27: Caractéristiques du gravier .....	48

### CHAPITRE III

Tableau 1: les compositions de chaque mélange réalisé .....	50
Tableau 2: les dosages de béton dans 1 m <sup>3</sup> de composition 1 et 2 .....	51
Tableau 3: les résultats de dosage des constituants pour les compositions 1 et 2 .....	52
Tableau 4: les résultats de l'affaissement des quatre mélanges .....	53
Tableau 5: les résultats de la masse volumique des mélanges .....	54
Tableau 6: les dosages du béton avec le sable concassé (30%SC+70%SD) dans 1m <sup>3</sup> .....	57
Tableau 7: les dosages des constituants pour la composition 3.....	57
Tableau 8: les dosages du béton avec le sable corrigé (50%SD,50%SC) dans 1m <sup>3</sup> .....	58
Tableau 9: les dosages des constituants pour la composition 4.....	59

### CHAPITRE IV

Tableau 1: Résultats de la résistance mécanique (CEMII/B 42.5N +100% SD (C1)) .....	63
Tableau 2: Résultats de la résistance mécanique (100%SD+CEMII/B STG).....	65
Tableau 3: Résultats de la résistance mécanique (CEMII/B 42.5 STG+ 30%SD+70% SC) .....	67
Tableau 4: Résultats de la résistance à la compression (Ciment STG +50%SD+50%SC) .....	69

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I

Figure 1:La microstructure d'un béton mortier.....	4
Figure 2 : Pourcentages des constituants et ordre.....	5
Figure 3: Composition du béton ordinaire.....	5
Figure 4: Les étapes de fabrication de ciment .....	6
Figure 5:Hydratation du ciment.....	8
Figure 6:Evaluation des degrés d'hydratation.....	9
Figure 7:Granulat de mer.....	10
Figure 8:Granulat de rivière.....	10
Figure 9: Granulat des dunes.....	10
Figure 10:Sable de dune.....	12
Figure 11: Dosage du béton de fondation.....	16
Figure 12: Courbe de référence de Faury .....	19
Figure 13: Test du cône d'Abrams.....	20
Figure 14: Evaluation de la résistance en compression.....	22
Figure 15:Comportement du béton en compression en traction en flexion.....	22
Figure 16: Schéma d'un béton soumis à un effort de traction .....	22
Figure 18:Accroissement de la température du béton en fonction de celle des constituants.....	24
Figure 19:Evolution du temps de prise du béton en fonction de la température .....	25
Figure 20: Fissuration du béton.....	25

## CHAPITRE II

Figure 1: Sable de dune.....	27
Figure 2: Localisation du la commun Sali.....	27
Figure 3 : Machine électrique.....	28
Figure 3: Sable dune Sali.....	28
Figure 4: Série des tamis .....	28
Figure 5: Courbe granulométrique de sable de dune Sali.....	29
Figure 6: Essais d'équivalent de sable et appareillage.....	31
Figure 7: Essai de la masse volumique.....	32
Figure 10: La courbe granulométrique du sable concassé.....	34
Figure 11: Courbe granulométrique du mélange 70%SC +30%SD.....	35
Figure 12: Courbe granulométrique (50%SD+50% SC.....	36
Figure 13 : CEMII/B 42,5N(STG).....	37
Figure 14 : CEMII/B 42,5N (EL MATINE) .....	37
Figure 15: Malaxeur de ciment.....	38
Figure 16: Chronomètre.....	38
Figure 17 : Appareil de Vicat.....	38
Figure 19 : Adjuvant superplastifiant Sika.....	40
Figure 20: Carrière HAROUCHI Koussen –Adrar .....	41
Figure 21: Courbe granulométrique des trois classes des graviers HAROUCHI.....	43

Figure 22 : Les grilles a fente.....	45
Figure 23 : Appareil de LOS ANGELES .....	46
Figure 24 : Principe de l'appareil.....	46
Figure 25 : Les boules.....	46
Figures 26 : Les cylindres creux en acier de l'appareil Micro Deval.....	47
Figure 27 : Appareil Micro Deval.....	49

## CHAPITRE III

Figure 1: courbe granulométrique de mélange 100% Sali .....	51
Figure 2: préparation de béton ordinaire.....	53
Figure 3: béton malaxé.....	53
Figure 4: mesure d'affaissement.....	53
Figure 5: un arasement approprié.....	53
Figure 6: mise en place.....	53
Figure 7: mesure de la masse volumique apparente .....	54
Figure 8: mise en place par piquage .....	54
Figure 9: conservation du béton au niveau de laboratoire.....	55
Figure 10: le démoulage des éprouvettes.....	55
Figure 11: éprouvette démouler .....	55
Figure 12: éprouvettes exposés au soleil.....	55
Figure 13: éprouvettes conservé à l'intérieur.....	55
Figure 14: Courbe granulométrique de mélange de la composition 3.....	56
Figure 15: la courbe granulométrique de mélange de la composition 4.....	58

## CHAPITRE IV

Figure 1: Laboratoire génie civil de l'université d'Adrar .....	60
Figure 2: L'appareil de compression .....	61
Figure 3: Mesure la température à l'extérieure.....	61
Figure 4: Mesure la température à l'intérieure.....	61
Figure 5: Eprouvette écrasée par compression.....	62
Figure 6: Ecrasement des éprouvettes de composition 1.....	62
Figure 7: Variation de la résistance en fonction d'âge(C1) .....	63
Figure 8: Résistance à la compression en fonction de la température (C1).....	64
Figure 9: Variation de la résistance en fonction d'âge(C2).....	65
Figure 10: Résistance à la compression en fonction de température (C2). .....	66
Figure 11: Ecrasement des éprouvettes de composition 3.....	66
Figure 12: Variation de la résistance en fonction d'âge (C3).....	68
Figure 13: Résistance à la compression en fonction de température (C3). .....	68
Figure 14 : Evolution de la résistance en fonction de temps (C 4).....	69
Figure 15 : Résistance à la compression en fonction de température (C4). .....	70
Figure 16: Comparaison entre les quatre compositions de conservation intérieure. ....	71
Figure 17 : Comparaison entre les quatre compositions de conservation intérieure. ....	71
Figure 18: La variation de la résistance des quatre compositions en fonction de l'âge .....	72
Figure 19 : La variation de la résistance des quatre compositions en fonction de l'âge .....	73
Figure 20 : La variation de la résistance des quatre compositions en fonction de l'âge .....	73
Figure 21 : La variation de la résistance des quatre compositions en fonction de l'âge .....	74

## LES ABREVIATIONS

---

**BV** : Béton vibré

**E** : Eau

**C** : Ciment

**G** : Gravier

**S** : Sable

**V** : Volume

**MV<sub>APP</sub>** : Masse volumique apparente

**MV<sub>Abs</sub>** : Masse volumique absolue

**$\rho$**  : Masse volumique de béton frais (la densité)

**LA** : Coefficient Los Angeles

**ESV** : Equivalent de sable visuel

**ESP** : Equivalent de sable a piston

**Mf** : module de finesse

**MDE** : Micro Deval

**RC** : refus cumulé

**CA** : coefficient d'aplatissement

**Ms** : Masse sec

**Mh** : Masse humide

**W** : la teneur en eau



## المخلص:

قمنا في هذا العمل بدراسة تأثير درجة الحرارة وتأثير عوامل الحفظ للعينات الخرسانية على المقاومة الميكانيكية للخرسانة في المناطق الجافة. لأن الظروف الجوية الحارة تظهر جملة من المشاكل الخاصة المرتبطة بالخرسانة تنتج من درجة الحرارة العالية وفي كثير من الحالات من زيادة معدل تبخر الماء من خلطة الخرسانة الطازجة. وهذه الدراسة تهدف إلى إعطاء حلول واقتراحات حول استعمال رمال الكثبان من خلال صناعة خرسانة برمال الكثبان بحبيبات مصححة باستعمال رمل مسحوق سيعطي خصائص ميكانيكية وفيزيائية مقبولة. لذلك قمنا بتنفيذ برنامج تجريبي موسع يضم أكثر من 106 عينات اسطوانية الشكل 15×30 سم باستخدام المواد المحلية. فيما يتعلق بتركيبات الخرسانة استعملنا طريقة فوري. احتفظنا ببعض العينات في الهواء الطلق والأخرى داخل مخبر الهندسة المدنية. لقد بينا أن الخصائص الذاتية لمكونات الخرسانة سمحت لنا بالحصول على نتائج مرضية تماما فيما يخص مقاومة الميكانيكية.

في الأخير سمحت لنا نتائج المقاومة الميكانيكية بإجراء عدة مقارنات واكتشفنا أن لارتفاع في درجة الحرارة يؤثر سلبا على مقاومة الخرسانة.

## الكلمات المفتاحية

الخرسانة، المواد المحلية، مقاومة الضغط، الحرارة، طريقة فوري.

## RESUME :

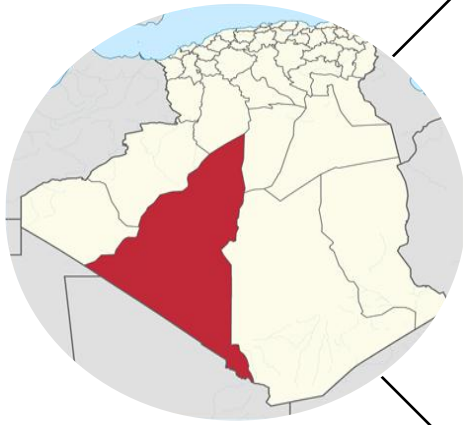
Dans ce travail, nous avons étudié l'effet de la température et la conservation des éprouvettes sur la résistance mécanique du béton dans les zones arides. Comme les conditions climatiques sévères montrent un certain nombre des problèmes particuliers liés au béton produit sous des températures élevées, dans de nombreux cas, augmentent le taux d'évaporation de l'eau du mélange de béton frais. Les sables de dunes avec une correction en utilisant du sable concassé donnent des propriétés mécaniques et physiques acceptables. Nous avons donc mis en œuvre un vaste programme expérimental de plus de 106 éprouvettes cylindriques de 15 x 30 cm en utilisant des matériaux locaux. En ce qui concerne les formulations de béton, nous avons utilisé la méthode de FAURY. Nous avons conservé une moitié des échantillons à l'extérieur et l'autre moitié à l'intérieur du laboratoire de génie civil.

Nous avons montré que les propriétés intrinsèques des composants en béton nous ont permis d'obtenir des résultats tout à fait acceptables, en ce qui concerne la résistance mécanique.

Enfin, les résultats de la résistance mécanique nous ont permis de faire plusieurs comparaisons et nous avons découvert que l'augmentation de la température a un impact négatif sur la résistance du béton.

## Mots-clés :

Béton, Matériaux locaux, Résistance à la compression, Température, Méthode Faury.



# Introduction générale

## Introduction générale

Le Sahara est un milieu désertique très aride, rude et très contraignant à la survie des êtres vivants. Cela est essentiellement lié aux pluviométries très faibles et très irrégulières, accentué par des températures très élevées et des vents forts.

Le Sahara algérien est l'un des endroits le plus vaste dans la terre, il est caractérisé par son climat sec et de température très élevée qui dépasse souvent 65 °C en été, avec un grand manque d'humidité (10 à 15% : valeurs négligeables), la durée de température est estimée à 7 mois dans l'année. Il se trouve dans un étage bioclimatique de type saharien à hiver frais.

Durant ces dernières années, la wilaya d'Adrar qui se situe au Sud-ouest algérien dans le Sahara central, connaît un grand développement surtout dans le secteur des travaux publics et de constructions où la région a été soutenue par des projets d'investissement et des ouvrages. Avec le lancement de ces derniers, la chaleur est devenue un grand obstacle et cause des problèmes à l'avancement de ces travaux de construction dans cette zone aride. Donc la résistance de béton par temps chaud devient une nécessité de grande importance qui doit être considérée sérieusement.

Le béton est de nos jours l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde. Il est vu comme une matière moderne, grâce à sa grande résistance à la compression. Le principe du béton est pourtant connu depuis l'antiquité. Bien que sa fabrication soit plutôt simple, certaines règles doivent être respectées. En effet, l'eau, le ciment, les adjuvants et les granulats qui constituent le béton sont soumis à des normes.

Malgré les bonnes performances des bétons à la température ambiante, il existe encore de nos jours des phénomènes qui sont mal compris par les chercheurs et les ingénieurs en pratique, ce béton peut présenter un comportement crucial et une instabilité aux hauts degrés de chaleur. Les qualités de la résistance mécanique, de facilité d'utilisation et de durabilité font du béton, un matériau incontournable de choix pour la réalisation de nombreux ouvrages et bâtiments de génie civil.

La température dans les régions du Sud atteint des valeurs très importantes qui influent sur la résistance et la durabilité de béton, ce dernier se dégrade régulièrement de l'extérieur vers le cœur pendant la durée de l'échauffement. Ce processus conduit à la dégradation des propriétés physiques, des propriétés de transfert et des performances mécaniques du béton du fait de la modification de sa microstructure. Ces endommagements peuvent affecter la stabilité des ouvrages et réduit sa résistance.

L'objectif de notre projet de fin d'études consiste à étudier le comportement d'un béton ordinaire composé de constituants locaux c'est-à-dire provenant de la région d'Adrar sous l'influence des hautes températures ambiantes.

Pour cela, nous avons élaboré des bétons en laboratoire, identiques à ceux fabriqués sur les chantiers d'Adrar et nous les avons conservés exposés aux températures élevées de la journée.

Ce mémoire de fin d'études s'articule autour de quatre chapitres, pour cela nous adaptons le plan de travail suivant :

### Chapitre I : Etude bibliographique.

Le premier chapitre présente une recherche bibliographique, qui comporte une synthèse bibliographique sur les méthodes non destructives d'évaluation de la qualité du béton in situ en soulignant leurs avantages et leurs inconvénients.

La deuxième partie est consacrée à la formulation et propriétés mécaniques et rhéologiques des bétons ordinaires.

### Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

Nous présentons ensuite dans le deuxième chapitre, les matériaux locaux de notre région utilisés et leurs caractéristiques chimiques et physiques avec des interprétations appropriées concernant les résultats trouvés. Donc il s'agit d'un béton élaboré avec des matériaux locaux de la région d'Adrar et formulé à l'aide de la méthode FAURY.

### Chapitre III : Formulation et confection du béton.

La contribution du troisième chapitre consiste principalement à formulation et la confection du béton, ainsi que la présentation des résultats expérimentaux de la résistance à la compression, aussi en faisant varier les conditions de conservation du béton. L'analyse de ces résultats nous permet d'établir des corrélations entre la résistance à la compression et la température élevée.

### Chapitre IV : Résultats et discussions.

Dans ce chapitre nous nous sommes basés sur la présentation de l'interprétation de l'ensemble des résultats obtenus d'après les essais de la compression, ainsi qu'une comparaison entre les données trouvées de chaque mélange.

Nous terminons notre étude par les conclusions, les références bibliographiques et les quelques recommandations pour le développement futur.



# Chapitre I

## Etude Bibliographique

## Chapitre I : Etude bibliographique

### 1. Introduction

Le béton est un mélange de plusieurs composants très différents dont les uns sont actifs et les autres inertes. Ce matériau présente des caractéristiques qui sont fonction de celles de ces composants [1].

Le matériau béton, est irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques. Le compromis trouvé entre résistance mécanique, économie, esthétique et facilité de mise en œuvre, offre à ce matériau la première place dans la construction au niveau mondial. Au niveau régional et national le béton est le matériau de construction utilisé par excellence au sein de tous les chantiers, aussi bien dans les secteurs du bâtiment que ceux des travaux publics ; il n'a pas de substitut économique et performant à condition qu'il présente les qualités requises [35].

Le béton est aujourd'hui le matériau le plus utilisé dans le monde, plus que tous les autres matériaux réunis. Sans le béton, on ne pourrait pas réaliser ce qu'on a construit aujourd'hui en matière de logement, d'écoles, d'hôpitaux et d'infrastructures. A la fois robuste et universel, l'ampleur et l'étendue de ses performances mécaniques et physiques augmentent sans cesse, et sa formulation, jusqu'à aujourd'hui très empirique, est en passe de devenir une démarche rationnelle, avec des outils d'ingénieurs construits sur des bases scientifiques qui font appel à toutes les disciplines qui entrent dans ce qu'on appelle la science des matériaux.

Le béton est un matériau artificiel obtenu en mélangeant en proportions convenables et de manière homogène, du ciment (liant), un granulat (sable + gravier), de l'eau et éventuellement des adjuvants. Le liant peut être « hydraulique » (car il fait prise par hydratation ; ce liant est couramment appelé ciment) ; on obtient dans ce cas un béton de ciment. On peut aussi utiliser un liant hydrocarboné (bitume), ce qui conduit à la fabrication du béton bitumineux.

Le coulis est un mélange très fluide de ciment et d'eau. Enfin, lorsque les granulats utilisés avec le liant hydraulique se réduisent à des sables, on parle alors de mortier. La réaction chimique qui permet au béton de ciment de faire prise est lente : à peine 50% de la résistance mécanique finale au bout de 7 jours. La valeur prise comme référence dans les calculs de résistance est celle obtenue à 28 jours (80% de la résistance finale). Il est possible de modifier (accélérer ou, au contraire, retarder) la vitesse de prise en incorporant au béton frais des adjuvants (additifs). Il existe d'autres types d'adjuvants qui permettent de modifier certaines propriétés physico-chimiques des bétons [15].

Les propriétés de béton dépendent de la nature et de la qualité de ses composants mais aussi de leurs proportions relatives. S'agissant des propriétés, il convient de distinguer celles qui concernent le béton frais et le béton durci [9].

L'exposition du béton à une température élevée provoque une dégradation chimique progressive du béton qui modifie sa microstructure. Pour comprendre le comportement de ce matériau à haute température, il est nécessaire de connaître les principales modifications physico-chimiques que subissent ses composants (la matrice cimentaire et les granulats). L'interface pâte-granulats est plus ou moins affectée selon la nature du ciment et des granulats [22].

Il est bien connu que la sécurité et la serviabilité des structures en béton ne peuvent pas d'être réalisées sans la connaissance complète des propriétés fondamentales du matériau et les conditions de service auxquelles la structure sera soumise [28].

L'objectif de ce chapitre est : de présenter l'étendue des connaissances actuelles sur le comportement du béton porté à une température élevée. La première partie portera sur la description détaillée de la pâte de ciment, ainsi que de voir des différents constituants d'un béton ordinaire, leur définitions, utilisations et évaluations et la méthode de composition de béton utilisée dans ce travail.

La deuxième partie comporte les caractéristiques mécanique et physique d'un béton et leurs propriétés

Les bétons d'usage courant confectionnés par temps chaud peuvent présenter des résistances inférieures à la valeur visée. Nous allons étudier dans 3<sup>ème</sup> partie l'influence de la température sur un béton ordinaire.

## 2. Description du béton ordinaire

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci [14].

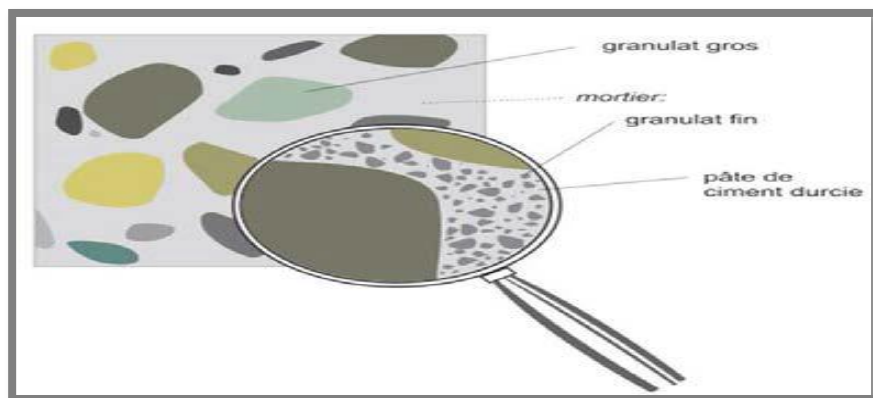


Figure 1: La microstructure d'un béton mortier [14]

## 3. Historicité du béton

L'ingénieur Bélidor [13], auteur de l'architecture hydraulique 1737, étudia la composition du béton et introduisit le mot béton dans son sens actuel. L'invention du ciment par Louis Vicat en 1817, celle du ciment Portland par Aspdin [13] en 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil en 1830 préparent l'avènement du béton. Les premières cimenteries se développent en France entre 1850 et 1860, dans le Boulonnais avec la Société des Ciments Français. C'est en fait le mariage ciment-métal, appelé ciment armé, puis béton armé, qui va donner au béton son plein essor. Le premier exemple est la barque de Lambot [13] 1848, le plus significatif, l'immeuble Hennebique à Paris 1898.

Au XXe siècle, le béton se développera considérablement et parallèlement, l'évolution de ses techniques : usage croissant des adjuvants, béton prêt à l'emploi, matériel de mise en œuvre, mise au point du béton précontraint par Freyssinet. Plus récemment, les progrès réalisés dans les bétons de hautes performances lui donnent ses lettres de noblesse dans le bâtiment, avec une réalisation comme l'Arche de la Défense, ou en génie civil : pont de l'Île de Ré, pont sur l'ÉLORN, pont de Normandie, Viaduc de Millau [13].

## 4. Composition du béton

Le béton est un matériau composite, les trois composants de base d'un béton sont : l'eau, le ciment et les granulats. Des additifs peuvent y être rajoutés dans le but de modifier les propriétés telles que la maniabilité et la résistance. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les caractéristiques physico-chimique et mécaniques des divers constituants sont différentes. Chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange (figure2, tableau1).

Tableau 1:Composition des bétons ordinaire [23]

Constituants	Volumes%	Poids%
Granulats	60-78	65-85
Ciment	7-14	9-18
Eau	14-22	5-9
Air	1-6	-
G/s	1,4	2,2
Adjuvants	Selon la fluidité désirée	

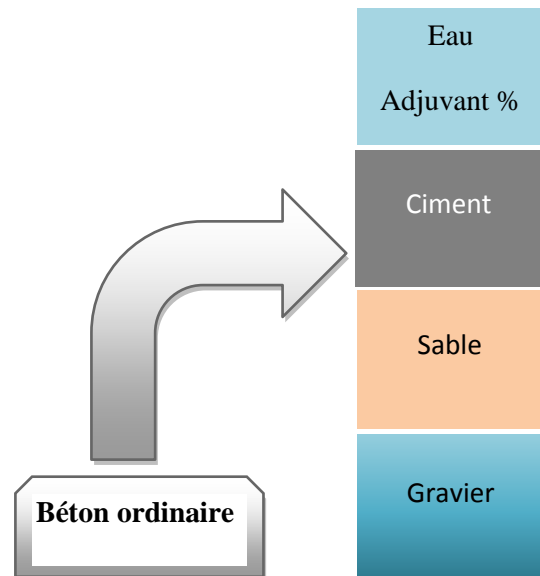


Figure 2 : Pourcentages des constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire

### 4.1. Pâte de ciment

La pâte de ciment correspond à l'ensemble (ciment + eau + air + additions+ adjuvants). La pâte présente à l'intérieur du béton, joue à la fois le rôle de liant et de remplissage. Elle contribue à l'écoulement suivant un processus rhéologique lié essentiellement à sa viscosité Celle-ci peut être présentée schématiquement comme une suspension des particules suspendues dans un liquide newtonien qui est l'eau.

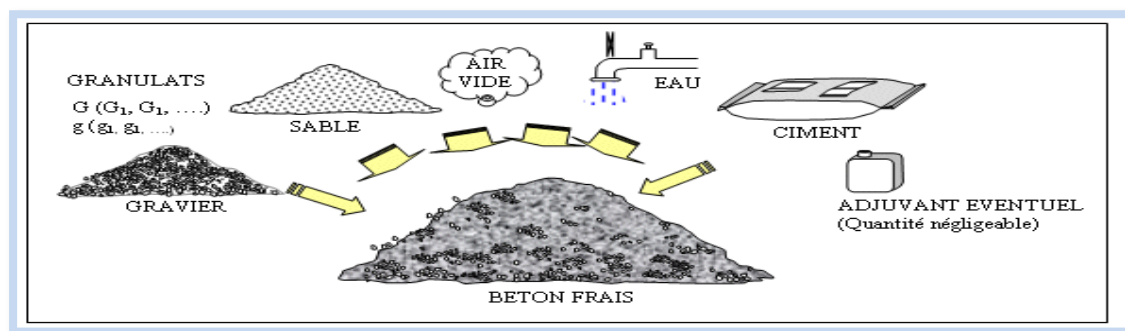


Figure 3: Composition du béton ordinaire [37].



## 5. Les constituants du béton

### 5.1 Ciment

Matériau minéral finement moulu qui, après avoir été mélangé avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par l'effet de réaction et processus d'hydratation, et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau **NF EN 206-1**.

#### 5.1.1 Fabrication

La fabrication du ciment Portland se fait à partir de la pierre calcaire et de l'argile. Ces matériaux sont extraits des carrières, concassés et stockés, puis l'analyse chimique est faite pour déterminer le dosage des matières premières. Après avoir été dosées, les matières premières sont broyées et mélangées. La poudre ainsi obtenue est introduite dans l'extrémité supérieure d'un four rotatif légèrement incliné. Un appareil est placé à l'extrémité inférieure du four pour que la température soit comprise entre 1450 et 1650 °C. Une telle température provoque la fusion partielle des matériaux et transforme chimiquement les matières premières en clinker de ciment. Le clinker se retrouve sous forme de billes ayant un diamètre de 3 à 25mm. Par la suite, le clinker est refroidi et broyé, puis on ajoute une faible quantité de gypse (environ 3 % de la masse de ciment) pour contrôler la prise du ciment. Le produit ainsi obtenu constitue le ciment Portland [35].

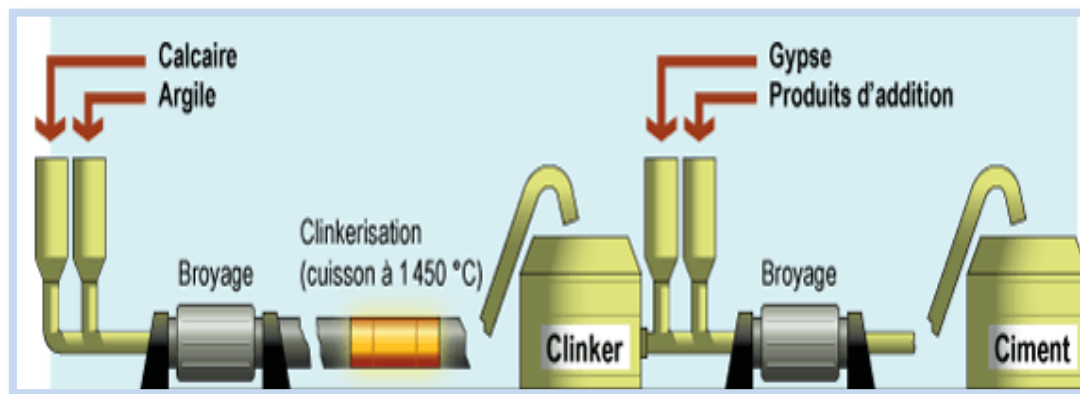


Figure 4: Les étapes de fabrication de ciment [38]

#### 5.1.2. Différents types de ciments courants

Le ciment peut être classé comme suit :

##### Selon ses résistances à la compression

La norme **NF EN 197-1**, classe les ciments courants d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme **EN 196-1**, mesurée à 28 jours en six classes de résistance.

##### Selon le type d'environnement

Certains ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux

##### Selon sa composition

La teneur des constituants autres que le gypse ajouté ou non au clinker, la norme européenne **NF EN 197-1** donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq types principaux à savoir :

CEM I Ciment Portland Artificiel.

CEM II Ciment Portland composé.

CEM III Ciment de haut fourneau.

CEM IV Ciment pouzzolanique.

CEM V Ciment aux laitiers et aux cendres [19].

Le tableau ci-dessous donne la liste des différents types de ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent [1].

Tableau 2: Les types de ciments normalisé [1]

	Type de ciment	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivant : laitier- pouzzolanes – cendres calcaires - schistes - fumées de silice	Teneur en constituants secondaires	Utilisation
CEM I	Ciments Portland	95 à 100%	-	-	Ouvrages d'art
CEM II/A	Ciment Portland composé	80 à 94%  65 à 79%	6 à 20% de l'un des constituants, sauf pour les fumées de silice limitées à 10% et les fillers à 5% ; 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus.	-	Bâtiment
CEM III/A, B ou C	Ciments de haut-fourneau	35 à 64% 20 à 34% 5 à 19%	36 à 65% de laitier de haut-fourneau 66 à 80% de laitier de haut-fourneau 81 à 95% de laitier de haut-fourneau	0 à 5%	Ouvrages-en milieux agressifs et industriels
CEM IV/A ou B	Ciments pouzzolanique	65 à 90% 45 à 64%	10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice (limitées à 10%) 36 à 55% comme ci-dessus	-	Absent en France
CEM V/A ou B	Ciments composés	40 à 64% 20 à 39%	18 à 30% de laitier de haut-fourneau et 18 à 30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes 31 à 50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	-	Ouvrages en milieux agressifs

Les principaux composés du ciment Portland sont :

Tableau 3:Composition minéralogique moyenne typique d'un clinker de ciment Portland [10]

Composition	Abréviation	Proportion
Silicate tricalcique $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	60-65
Silicate bicalcique $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	20-25
Aluminate tricalcique $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	8-12
Alumino-ferrite tétracalcique $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	8-10
Gypse $\text{CaSO}_4$	-	3-8

### 5.1.3. Hydratation de ciment

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise. On peut scinder la réaction d'hydratation en 4 étapes ou phases :

- La phase initiale : le silicate tricalcique se dissout superficiellement pour former un monosilicate de calcium hydraté et de l'ettringite ;
- La phase dormante : la pâte reste fluide, les réactions précédentes se poursuivent moins rapidement pendant une durée de 2 à 3 heures ;
- La phase de prise : la pâte acquiert une certaine consistance due à l'interpénétration des cristaux ;
- La phase de durcissement : qui se développe environ 8 heures après le début de l'hydratation et qui se poursuit pendant des années à une vitesse de plus en plus lente et dont le résultat est l'augmentation de la résistance mécanique et de la compacité [1].

La réaction principale de l'hydratation de ciment peut être présentée de façon simplifiée :

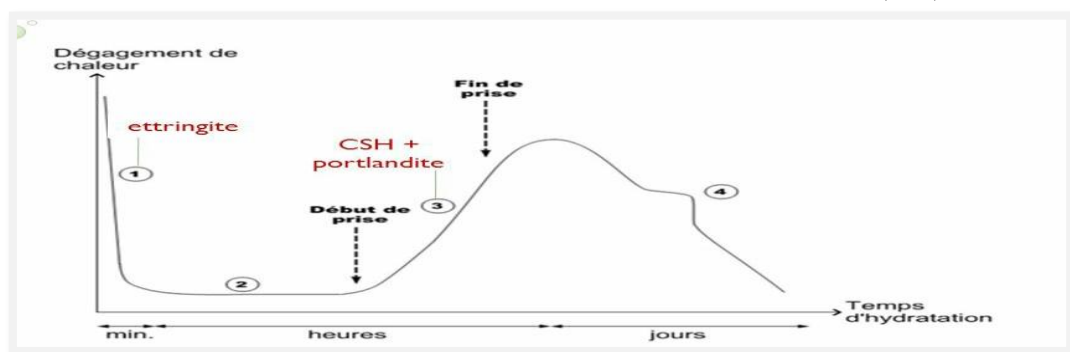
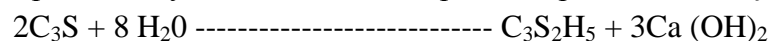


Figure 5:Hydratation du ciment [39]

### 5.1.4. Degré d'hydratation

L'évolution du degré d'hydratation a été analysée qualitativement, au jeune âge, des différences très marquées sont observées en fonction de la température et sont à mettre en relation avec le développement des résistances, après 90 jours d'hydratation, les taux de réaction atteignent des niveaux similaires (excepté pour les bétons conservés à 5 °C qui

atteignent ces niveaux à 1an). A des stades de maturation avancés, les degrés d'hydratation observés ne sont donc pas directement reproductibles aux compressions mesurées : à 1 an, plus la température est basse, plus la résistance du béton est haute alors que les degrés d'hydratation plafonnent tous au même niveau. La température affecte donc le développement de résistance sans pour autant limiter l'hydratation du béton. Ces résultats contredisent l'hydrothèse de Verbecket [16] Helmuth [16] qui suggèrent que la température avait pour effet d'encapsuler les grains anhydres dans des couches d'hydrate de faible porosité qui limiteraient ainsi leur hydratation [16].

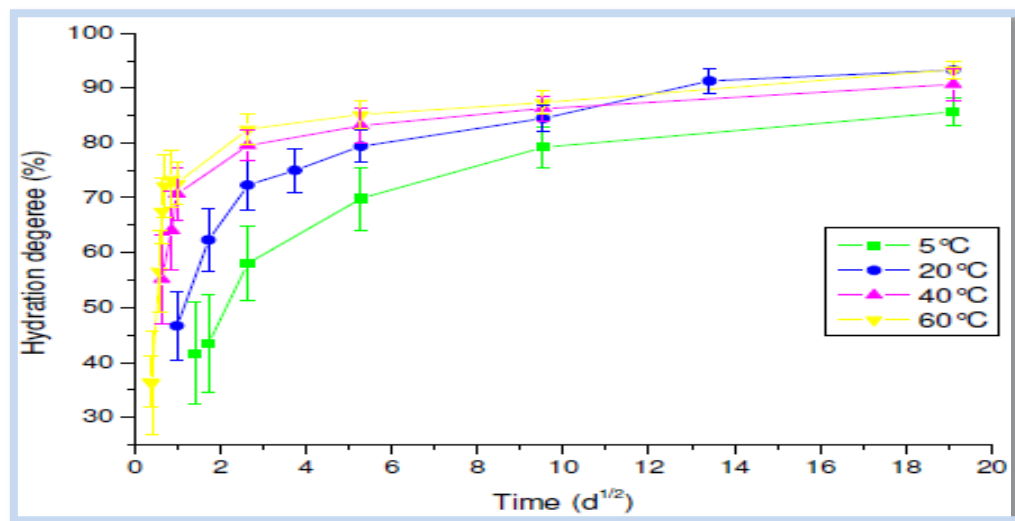


Figure 6: Evaluation des degrés d'hydratation [16]

## 5.2 Les additions

Les additions sont généralement des additions minérales sous forme de poudre fine ou de fibres qui peuvent améliorer certaines propriétés du béton. A quelques exceptions près, elles peuvent être employées tant dans le ciment que dans le béton. Parmi les additions, on compte :

- farine de roche (farine de calcaire et de quartz).
- cendre volante.
- fumée de silice.
- schiste calciné.
- laitiers granulés de haut fourneau.
- pouzzolane.
- pigments.
- fibres [7].

## 5.3 Granulats

Les granulats sont définis comme l'ensemble des grains inertes compris entre 0 mm et 40 mm (sable, graviers et cailloux, dont l'origine peut être naturelle ou artificiel **NF P 15-010**).

On appelle granulats des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (gros et fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. Il y a deux Intérêts d'utiliser des granulats dans le béton :

le 1<sup>er</sup> économique : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ; et le 2<sup>ème</sup> technique : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigides que la pâte de ciment) [15].

### 5.3.1 Classification des granulats selon la provenance :

#### A) Granulats naturels :

a) Granulats roulés : ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel.

Ainsi, ils se sont formés des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes.

Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature :

- Les granulats de rivière (d'Oued).
- Les granulats de mer.
- Les granulats de dunes.

N.B : Les granulats roulés se caractérisent par leur aspect de grains arrondis et polis.



Figure 7:Granulat de mer    Figure 8:Granulat de rivière    Figure 9: Granulat des dunes [19].

b) Granulats concassés (de carrières) : ils proviennent du concassage de roches dures (granits, porphyres, basaltes, calcaires durs...etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux à arêtes vives.

#### B) Granulats artificiels

Ils proviennent de la transformation thermique des roches (exemple : laitier du haut fourneau) ou de démolition d'ouvrages.

#### C) Granulats recyclés

Lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés.

#### D) Granulats courants

Lorsque leur masse volumique réelle est supérieure ou égale à  $2 \text{ Mg/m}^3$  (ou  $\text{t/m}^3$ ) [19]. Selon leurs dimensions, on distingue : les sables, les graviers, les cailloux, les galets et les moellons. Les dimensions soulignées sont celles de la série de base préconisée par la norme européenne (NF EN 933-2).

#### On distingue les familles de granulats suivantes

La dimension de ces granulats varie d'un dixième à plusieurs dizaines de millimètres. La norme française XP P 18-540 donne une définition des principales divisions granulométriques des granulats [24].

Tableau 4: Classification des granulats selon la grosseur [1]

Classes granulaires	Les caractéristiques dimensionnelles
fillers 0/D	où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm.
sablons 0/D	où $D < 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm.
sables 0/D	où $1 < D < 6,3$ mm.
Graves 0/D	où $D > 6,3$ mm.

### 5.3.2 Désignation des granulats

Les granulats sont souvent désignés en fonction de leur plus petite et leur plus grande dimension comme suit :

Granulat d/D : sable ou gravier.

**d** : dimension minimale des grains.

**D** : dimension maximale des grains.

Exemples : granulats rencontrés en pratique : sable 0/3, gravier 3/8, gravier 8/15, gravier 15/25 [7].

### 5.4 Sable

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80  $\mu\text{m}$  et 05 mm ; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30% [33].

Dans le sens le plus courant, on entend par "sable" une roche sédimentaire meuble constituée de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre les dimensions 0 à 5mm, non compris les fillers. A cette définition se rattachent les sables de concassage ; mais lorsqu'on dit sable, on pense essentiellement aux sables naturels abondants dans de nombreux pays et dont les réserves sont quasi inépuisables. En fait, la définition granulométrique du sable est plus compliquée, elle varie suivant les époques et diffère suivant les pays et selon la destination.

#### 5.4.1 Différents types de sable

Les sables se différencient par un grand nombre de paramètres et on peut distinguer les deux types de sables :

Les sables naturels et ceux issus d'une chaîne d'élaboration.

#### 5.4.2 Les sables issus d'une chaîne d'élaboration (sables artificiels)

Ce sont des matériaux produits dans une chaîne d'élaboration de granulats, et qui peuvent se trouver en excédent pour la production recherchée (gravier ou gravillon), ils peuvent être soit :

- Des sables roulés de dessablage qui résultent du criblage primaire d'un tout-venant.
- Des sables de concassage qui sont très souvent l'excédent de la production d'une carrière ou d'une ballastière, ces derniers sont de plus en plus utilisés en technique routière [33].

### 5.4.3 Les sables naturels

Ce sont des matériaux qui existent, dans certaines régions, en abondance dans la nature. Ils sont le résultat d'un processus complexe d'érosion et de sédimentation. Leur formation s'effectue en trois étapes successives : la décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport qui les amène à un dépôt où ils demeurent sous différentes formes. Les plus rencontrés et les plus connus sont :

- Les sables marins.
- Les sables marins littoraux.
- Les sables fluviatiles.
- Les sables éoliens.
- Sables du Sahara.
- Sables éoliens.
- Sables de regs.
- Sables géologiques en place.
- Sables gypseux.
- Sables gypso-calcaires.

### 5.4.4 Propriétés des sables de dune

Le sable dunaire est en abondance dans près de 60% de la superficie du territoire algérien. L'épaisseur moyenne de la couche sableuse est de 6m. Cette énorme quantité a amené les ingénieurs à s'interroger sur les propriétés physico-chimiques de ces sables afin de les valoriser et de les utiliser dans le domaine de la construction [33].



Figure 10:Sable de dune [44].

### 5.4.5 Equivalent de sable :

**ES** : équivalent de sable. **ESV** : équivalent de sable à vue



Tableau 5: Indication des valeurs de l'équivalent de sable [8]

ES à vue	ES au piston	Qualité de sable
ES < 65%	ES < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour les bétons de qualité ou vérification plus précis de la nature des fins par un essai au bleu Méthylène.
$65\% \leq ES < 75\%$	$60\% \leq ES < 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courant quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$75\% \leq ES < 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons haut qualité.
$ES \geq 85\%$	$ES \geq 80\%$	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation de dosage en eau.

### 5.5 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Élément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, votre béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées [40].

#### Dans le béton, l'eau de gâchage a deux fonctions

- Assurer l'hydratation du ciment. Dans le cas d'un ciment type CEMI ou II, il faut moins 25 litres d'eau pour hydrater 100 Kg de ciment.
- Fournir au béton une maniabilité suffisante pour permettre sa mise œuvre.

Aujourd'hui, les caractéristiques de l'eau destinée au gâchage des bétons sont fournies par la **norme NF FN 1008** qui définit les différents types d'eau rencontrés :

- Potable.
- Récupération de la fabrication des bétons.
- Eaux superficielles et rejets industriels.
- Eaux de nappe.
- Eaux de mer et saumâtres.
- Eaux usées [6].

#### L'eau dans la microstructure de la pâte de ciment et du béton

Dans un béton durci, l'eau peut se présenter sous formes d'eau libre, capillaire, absorbée, chimiquement liée et absorbée par les granulats. L'eau remplit plus ou moins tous les vides de la matrice et son mouvement est responsable de l'apparition de phénomènes comme : retraits de dessiccation, gonflement, fissuration du béton...etc. L'eau va donc jouer un rôle essentiel dans le comportement mécanique, mais aussi de la durabilité.

Dans le béton, presque 50% de l'eau de gâchage est consommée par les réactions d'hydratation environ 40% se trouvent dans les pores des hydrates et 10% se logent dans les vides présents dans la matrice. L'état hydrique dépend essentiellement de l'humidité relative, du degré d'hydratation et de la taille des pores [28].

##### 5.5.1 Eau libre

L'eau n'ayant pas participé à la réaction d'hydratation est dite libre ; mais elle ne l'est que relativement à l'eau liée car la grande finesse du ciment anhydre et la dimension très



faible des pores du ciment hydraté font que cette eau est soumise à des forces de surface qui limitent ses possibilités de déplacement. L'eau libre est cependant susceptible de migrer à l'intérieur de la pâte de ciment et, dans certaines conditions, de s'évaporer [8].

### 5.5.2 Eau liée

L'eau liée peut l'être chimiquement : elle entre dans la composition chimique de l'hydrate. C'est ainsi que le silicate tricalcique ( $C_3S$ ) s'hydrate en présence d'eau pour donner un hydrate de composition  $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 5H_2O$  noté en industrie cimentière C-S-H. Mais l'eau peut aussi liée physiquement à l'hydrate [8].

### 5.5.3 L'eau capillaire

Elle est constituée de la phase condensée remplissant le volume poreux dans les zones qui ne sont pas sous l'influence des forces superficielles. Cette forme d'eau est séparée de la phase gazeuse par des ménisques, elle est la première à s'évacuer ou à s'évaporer lors d'un séchage [26].

## 5.6 Adjuvant

L'emploi d'adjuvants doit répondre à la norme **NF EN 934-2**. Les adjuvants sont des produits dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5% de la masse de ciment) aux bétons, mortier ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de certaines de leurs propriétés, à l'état frais (le temps de prise, le processus de durcissement et l'ouvrabilité) ou durci (la résistance et la durabilité). Chaque adjuvant est défini par une unique fonction principale, mais peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires [31].

### 5.6.1 Type des adjuvants

Plusieurs catégories sont ainsi définies par la norme **NF EN 934-2**, on distingue essentiellement des adjuvants comme suit :

- Plastifiant /réducteur d'eau.
- Super plastifiant/haut réducteur d'eau.
- Rétenteur d'eau.
- Entraîneur d'air.
- Accélérateur de prise.
- Accélérateur de durcissement.
- Retardateur de prise.
- Hydrofuge de masse.
- Plastifiant/réducteur d'eau / retardateur de prise.
- Superplastifiants / haut réducteur d'eau/retardateur de prise.
- Plastifiant / réducteur d'eau / accélérateur de prise.

Les détails sont donnés par le tableau suivant :

Tableau 6: Classification et utilisation des adjuvants **NF EN 934-2**

Adjuvants	Leur rôle
Plastifiant/réducteur d'eau	Adjuvant qui, sans modifier la consistance, permet de réduire la teneur en eau d'un béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmente l'affaissement / l'étalement, ou qui produit les deux effets à la fois
Superplastifiants/haut réducteur d'eau	adjuvant qui, sans modifier la consistance, permet de réduire fortement la teneur en eau d'un béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmente considérablement l'affaissement / l'étalement, ou qui produit les deux effets à la fois
Rétenteur d'eau	adjuvant qui réduit la perte d'eau en diminuant le ressuage
Entraîneur d'air	Adjuvant qui permet d'incorporer pendant le malaxage, une quantité contrôlée de fines bulles d'air uniformément réparties et qui subsistent après durcissement
Accélérateur de prise	adjuvant qui diminue le temps de début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide
Accélérateur de durcissement	Adjuvant qui augmente la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise
Retardateur de prise	adjuvant qui augmente le temps de début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide
Hydrofuge de masse	adjuvant qui réduit l'absorption capillaire du béton durci
Plastifiant/réducteur d'eau / retardateur de prise	adjuvant qui combine les effets d'adjuvant plastifiant/réducteur d'eau (fonction principale) et ceux d'adjuvant retardateur de prise (fonction secondaire)
Superplastifiants / haut réducteur d'eau/retardateur de prise	adjuvant qui combine les effets d'adjuvant Superplastifiants/haut réducteur d'eau (fonction principale) et ceux d'adjuvant retardateur de prise (fonction secondaire)
Plastifiant / réducteur d'eau / accélérateur de prise	adjuvant qui combine les effets d'adjuvant plastifiant/réducteur d'eau (fonction principale) et ceux d'adjuvant accélérateur de prise (fonction secondaire)

## 6. Les différents types du béton

Le matériau béton, est devenu irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques, il existe plusieurs types notamment :

1. Béton auto-plaçant (BAP).
2. Béton de hautes performances (BHP).
3. Béton de fibres.
4. Béton compacte au rouleau (BCR).
5. Béton préfabriqué.
6. Béton à durcissement rapide.
7. Béton de terre.
8. Béton léger.
9. Béton lourd.
10. Béton extra lourd.
11. Béton réfractaire.
12. Béton de poudre réactive (BPR).

### 13. Béton ordinaire [36].

#### 6.1 Dosage de béton en kg dans un $M^3$

Voici les dosages usuels :

- 250 : béton de propreté.
- 300 : dalle piétonne, terrasse, allée de jardin, semelle de fondation.
- 350 : dalle carrossable, semelle de fondation, poteau.
- 400 : ouvrage en béton armé [41].

**Le dosage de béton est pour 1  $M^3$  est :**

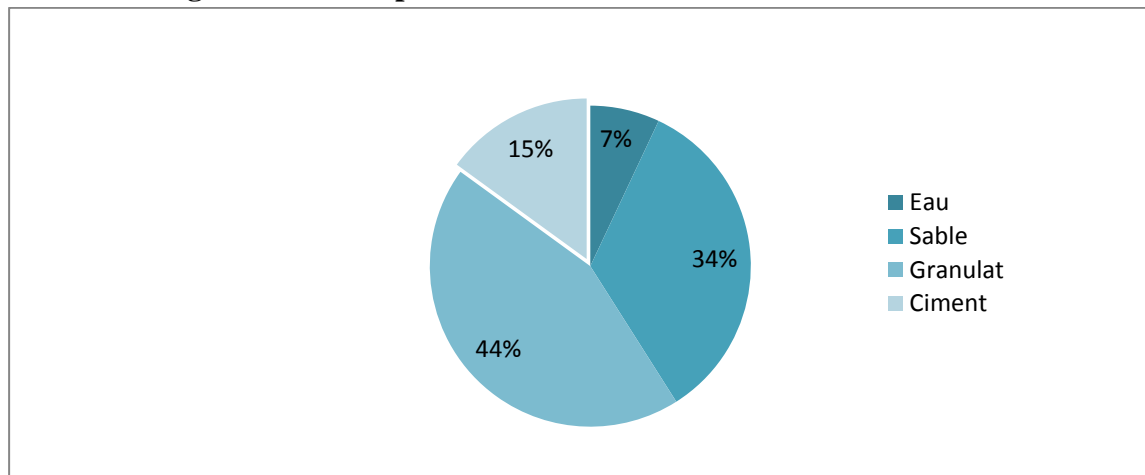


Figure 11: Dosage du béton de fondation [40]

## 7. Formulation de béton

La formulation joue le rôle important qui consiste à choisir des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre, elle doit intégrer avant tout les exigences de la norme NF EN 206-1, laquelle, en fonction de l'environnement dans lequel sera mis en place le béton, sera plus ou moins difficile vis-à-vis de la quantité minimale de ciment à insérer dans la formule ainsi que la quantité d'eau maximum tolérée. De même, à chaque environnement donné, une résistance garantie à 28 jours sur éprouvettes sera exigée aux producteurs, pouvant justifier des dosages de ciments plus ou moins supérieurs à la recommandation de la norme, et basée sur l'expérience propre à chaque entreprise, laquelle étant dépendante de ses matières premières dont la masse volumique peut varier, notamment celle des granulats [20].

### 7.1 Méthodes de composition des bétons

La recherche de la granulométrie optimale d'un béton est fondamentale, car c'est elle qui conditionne toutes les qualités du béton : ouvrabilité, résistance, imperméabilité...etc.

Les méthodes de composition sont nombreuses. On distingue celles qui utilisent des courbes de référence et celles basées sur d'autres principes [12].

### 7.2 Méthodes des courbes de référence :

Elles sont données par ordre chronologique :

- Méthode de Fuller-Thompson.
- Méthode de Bolomey.
- Etude théorique de Caquot.
- Méthode de Joisel.
- Méthode d'Abrams.

- Méthode de Vallette.
- Méthode de Faury.
- Méthode Dreux-Gorisse.
- Méthode LCPC.
- Méthode Bétolab [4].

### 7.3 Méthode de FAURY

En 1942, J. FAURY proposa [4], comme suite à une étude générale du béton, une nouvelle loi de granulation du type continu. Il s'inspirait pour cela d'une théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen. La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de  $\sqrt[5]{D}$  ; c'est pourquoi **Faury** adopta une échelle des abscisses graduée en  $\sqrt[5]{D}$ . La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors, théoriquement, une droite ; cependant, **Faury** a distingué les grains fins et moyens ( $<D/2$ ) des gros grains ( $>D/2$ ) et la pente de la droite de référence n'est pas là même pour chacune de ces deux catégories.

On trace donc pour l'ensemble du mélange, ciment compris, une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en  $\sqrt[5]{D}$  [4]. L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à  $D/2$  et son ordonnée  $Y$  est donnée par une formule tenant compte de la grosseur  $D$  du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est à choisir dans des tableaux en fonction de la qualité des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense) [4].

Cette valeur se calcule par la formule suivante :

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

**D** : grosseur maximum de l'agrégat (en mm).

**R** : rayon moyen du coffrage (en mm) (parties de l'ouvrage les plus ferrillées).

**A** : coefficient tenant compte de la forme des agrégats et de la consistance du béton.

**B** : dépend du serrage. Il varie de 1, pour une vibration puissante, à 1.5 pour un serrage moyen. [4].

Tableau 7: Valeur du coefficient A [4]

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

Le calcul est-il fait selon les étapes suivantes :

$$D_{max} = D_n \left(1 + \frac{x}{2y}\right)$$

$D_{n-1}$  : le diamètre qui correspond au tamis n-1.

X : le refus sur le tamis n-1.

Y: le refus entre  $D_{n-1}$  et  $\frac{D_{n-1}}{2}$ .

Alors  $D_{max} = D_n \left(1 + \frac{x}{2y}\right)$

$$Y \frac{D_{max}}{2} = 27 + 17.8 \sqrt[5]{D_{max}} + 3.5$$

On calcul  $\frac{D}{2}$

D : la fraction max de la classe supérieure.

$D_{100\%} \dots D$  : le diamètre du tamis situé avant le premier tamis d'analyse granulométrique.

D'après ce calcul la courbe de référence de Faury est définie par trois points

$$[0.0065 ; 1], \left[\frac{D}{2}; Y \frac{D_{max}}{2}\right], [D_{100\%}; 100\%],$$

Après le traçage la courbe granulaire de FUARY.

La quantité E, d'eau est donnée par la formule suivante :

$$E \frac{0.39}{\sqrt[5]{D}} * 1000 \dots \dots \dots (2)$$

Détermination des éléments secs

Eléments secs ES= 1000- E

Pour notre cas on a choisi le dosage de ciment à 350Kg /m<sup>3</sup>

Donc le volume de ciment dans un mètre cube de béton égal  $V_C \frac{350}{M_{vabs}}$

Alors le pourcentage de ciment égal  $\frac{V_C}{ES} * 1000$

Les pourcentages

-D'après la courbe on obtient alors :

-Le pourcentage de sable.

-Le pourcentage de gravier (3/8).

-Le pourcentage de gravier (8/15).

-Le pourcentage de gravier (15/28).

-La composition d'un mètre cube de béton en volume égal à :

Sable = le pourcentage de sable × ES.

Gravier (3/8) = le pourcentage de 3/8 × ES.

Gravier (8/15) = le pourcentage de 8/15 × ES.

Gravier (15/25) = le pourcentage de 15/25 × ES.

Ciment = le dosage choisi par un mètre cube.

Eau = calculé par la formule (2).

La composition en masse : les quantités massiques des granulats sont déterminées par la formule suivante :

$$\text{Le volume en litre} \times \frac{\text{La densité absolue}}{\text{la densité apparente}} = \text{la masse en kg}$$

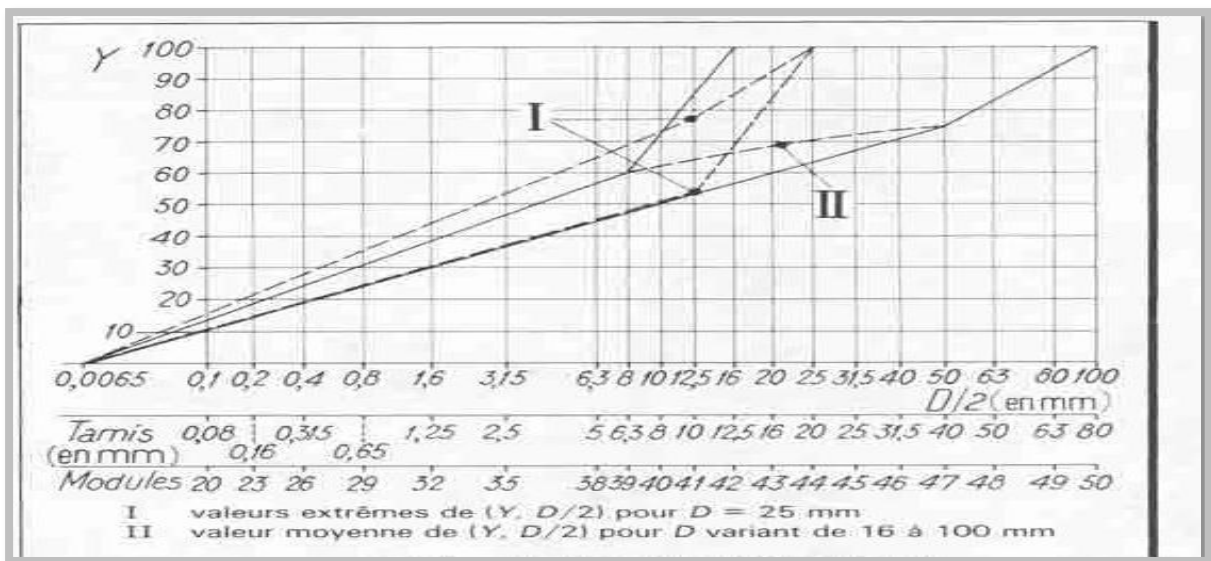


Figure 12: Courbe de référence de Faury [4]

## 7.4 Propriétés du béton

**Modulable** : c'est-à-dire qu'on peut lui faire prendre facilement des formes volumiques assez simples, une grande variété des formes qu'il peut épouser c'est à cause de la maniabilité.

**Durci** : avec le temps le béton doit devenir un matériau dur et relativement indéformable c'est-à-dire mécaniquement résistant.

**Compacité** : La résistance à la compression d'un béton contenant suffisamment de liant croit avec sa compacité. Maniabilité et résistance mécanique sont deux (02) objectifs contraires :

- Eau en excès et bonne maniabilité, mauvaise résistance.
- Granulat roulé bonne maniabilité, mauvaise résistance.
- Granulats concassés mauvaise maniabilité, bonne résistance.

Pour réaliser un béton qui répond aux deux critères, il faut optimiser tous les facteurs [15].

#### 7.4.1 Propriétés essentielles d'un béton

Pour utiliser au mieux le béton, il faut bien connaître ses propriétés à l'état frais et à l'état durci.

#### 7.4.2 Béton frais

Ouvrabilité (ou maniabilité) : qualité du béton ; qui se traduit par la capacité du béton de bien remplir tous l'espace du coffrage et d'assurer un bon enrobage des armatures. L'ouvrabilité d'un béton est couramment appréciée par le test du cône d'Abrams, ou le béton est mis dans un moule conique, l'affaissement du béton une fois le moule enlever donne une appréciation sur sa maniabilité. La mise en place du béton dans le moule se fait en 4 couches d'épaisseurs égales, piquer à l'aide d'une tige à raison de 25 coups pour chaque couche. Le cône est ensuite enlevé doucement sans secousses [15].

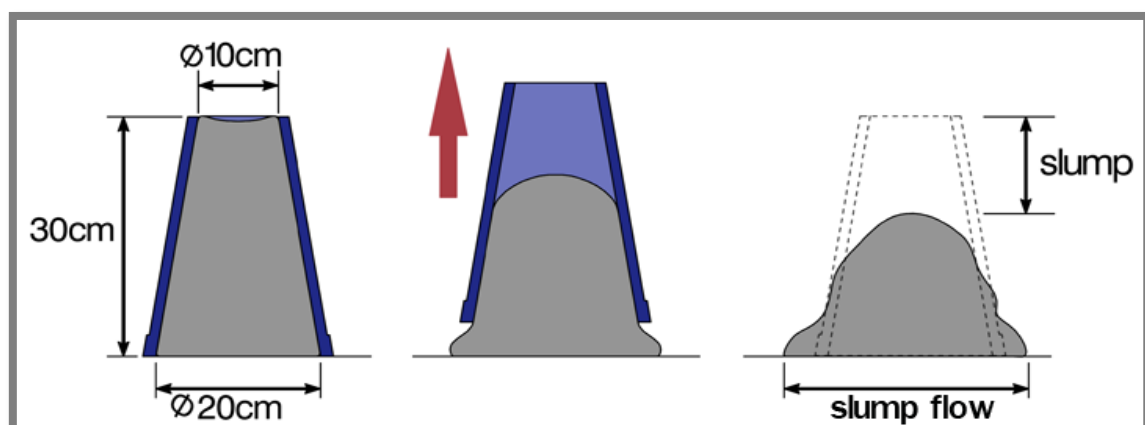


Figure 13: Test du cône d'Abrams [42].

En fonction de l'affaissement mesuré, la maniabilité du béton est appréciée et une manière de sa mise en œuvre est recommandée.

Le tableau suivant montre les différentes formes de béton selon leur affaissement trouvé

Tableau 7: Vibration recommandée en fonction de l'ouvrabilité du béton [42]

Affaissement	Béton	Mise en œuvre
0– 2cm	Très ferme	Vibration puissante
3 – 5cm	Ferme	Bonne vibration
6 – 9cm	Plastique	Vibration courante
10 – 13cm	Mou	Piquage
>13cm	Très Mou	Leger piquage



### 7.4.3 Béton durci

Résistance mécanique : La résistance mécanique la plus importante pour le béton étant la résistance à la compression, elle est couramment mesurée sur des éprouvettes cylindriques 16x32cm (16cm de diamètre et 32cm de hauteur) ou 15x30cm.

Le béton reste toujours avec leurs inconvénients tels que : Temps de durcissement relativement long, une exécution peu précise et difficulté de reprise des ouvrages en cas de transformations.

Le Béton de ciment présente une excellente résistance à la compression, mais une faible résistance à la traction, et donc aussi à la flexion à peu près 1/10 de sa valeur de compression [15].

## 8. Caractéristiques mécaniques et physiques du béton

### 8.1 Introduction

La résistance mécanique et la déformation sont des caractéristiques importantes du béton, car elles jouent un grand rôle non seulement pour la stabilité, mais aussi pour la durabilité des ouvrages. Lorsque le béton est soumis à l'action d'une charge rapidement croissante, il se comporte comme un matériau fragile. D'une part, sa rupture n'est pas précédée de déformations importantes et d'autre part, sa résistance à la traction est beaucoup plus faible que sa résistance à la compression. La résistance à la traction s'annule même complètement si des fissures de retrait se sont développées. Le choix judicieux des matériaux, une mise en œuvre correcte, l'adoption de dispositions constructives appropriées jouent un rôle essentiel dans l'art de construire. Toutefois, comme une partie importante de ses activités est consacrée aux problèmes de dimensionnement des constructions, l'ingénieur attache une importance particulière aux caractéristiques de résistance mécanique et de déformation des matériaux, car leur connaissance lui est indispensable pour réaliser des constructions à la fois sûres et économiques. Dès la fin de la mise en œuvre, le béton est soumis à des déformations, même en absence de charges [15].

### 8.2 Résistances du béton

#### 8.2.1 Compression

Le béton seul est un matériau naturellement résistant à la compression, il est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours,  $f_{c28}$ . En France, par convention, la résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les bétons courants ont une résistance de 20 à 30 MPa, ceux de qualité atteignent 40 à 50 MPa, et les bétons à hautes performances peuvent dépasser 100 MPa. Le diagramme représentatif de la loi de comportement du béton montre que la contrainte maximale de compression  $f_c$  est atteinte pour une déformation de l'ordre de  $2 \cdot 10^{-3}$ . La ruine de l'éprouvette se produit pour une déformation de l'ordre de  $3,5 \cdot 10^{-3}$ . La pente de la partie linéaire du diagramme définit le module d'élasticité instantané  $E$ ; (module de Young). Sa valeur peut être évaluée par des relations empiriques telles que celle donnée par les règles françaises :  $E = 11000 f_c^{1/3}$  (MPa). Un béton de 40 MPa de résistance a donc un module de déformation longitudinale instantanée de l'ordre de 38 GPa [9].



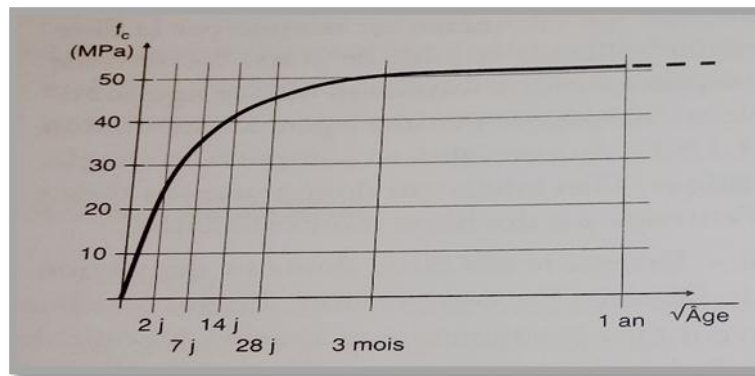


Figure 14: Evaluation de la résistance en compression [2]

### 8.2.2 Traction

La résistance en traction  $f_{ct}$  est très faible (environ dix fois plus faible qu'en compression), et associée à une capacité de déformation  $\epsilon_{ct}$  extrêmement limitée, de l'ordre de 0.1%. Sa rupture en traction est brutale et sans signe : elle est faible [2].

L'utilisation de béton seul pour résister à des efforts de traction est donc impossible, car les méthodes de calcul du BAEL ou même des Eurocode négligent complètement la résistance à la traction du béton pour des problèmes de sécurité. Il faudra donc faire bien attention lors de la conception de vos constructions à ce qu'un minimum d'éléments en béton (comme des suspentes) soit en traction et surtout à bien dimensionner les armatures en acier qui vont reprendre ces efforts. Plus vous aurez de tractions, plus vous devrez ferrailer vos éléments et plus le prix de votre construction sera élevé [40].

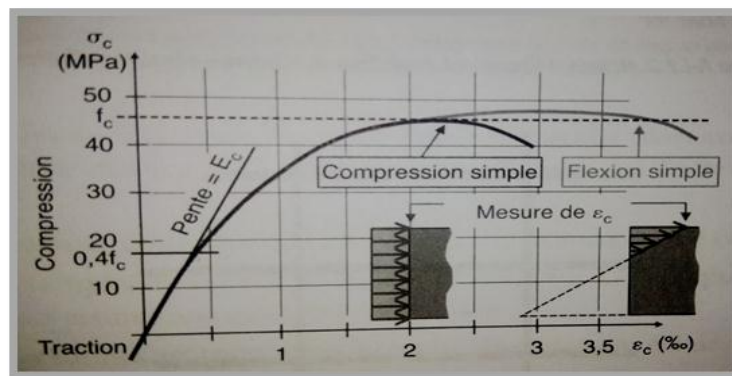


Figure 15: Comportement du béton en compression en traction en flexion [2]

### 8.2.3 Flexion

La flexion est le troisième type d'effort que vous pourrez rencontrer dans la construction, classiquement dans les poutres, bien qu'il ne soit qu'une combinaison d'efforts de compression et d'efforts de traction [40].

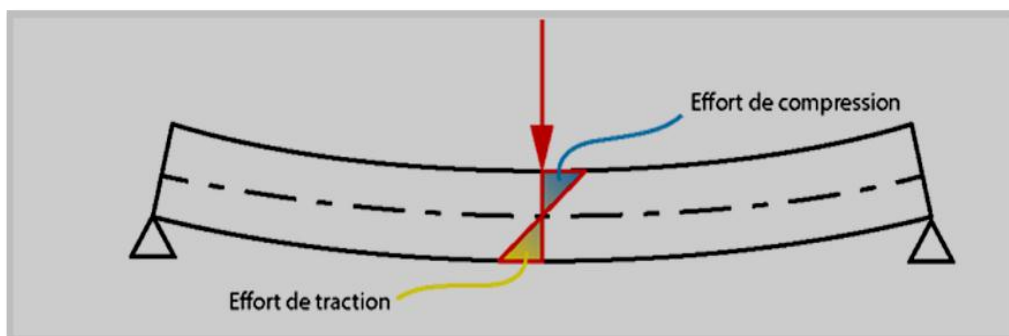


Figure 16: Schéma d'un béton soumis à un effort de traction [40].

## 8.3 Caractéristiques physiques du béton

### 8.3.1 Retrait

Est un raccourcissement spontané consécutif à l'évaporation d'une partie de l'eau que le béton contient. Par effet du second ordre, ce retrait est à son tour générateur de contraintes qui peuvent conduire à la fissuration. En France, l'amplitude du retrait atteint couramment 0.3%. C'est trois fois plus que la déformation admissible du béton en traction, d'où le risque de fissuration. Le retrait est particulièrement dévastateur si on laisse libre cours à l'évaporation durant les premiers jours. Aussi il est de bonne pratique de faire une « cure », dont l'efficacité est maintenue au moins durant les 7 premiers jours. Cette « cure » consiste à prévenir l'évaporation :

- Soit en maintenant la surface du béton humide en la couvrant par des serpillières mouillées ou/et en arrosant,
- Soit en pulvérisant un « produit et cure » formant un film étanche en surface, qui empêche l'évaporation : lorsqu'aucun revêtement adhérent n'est prévu, cette seconde solution est la plus pratique et la plus efficace, à condition que le film ait été pulvérisé en quantité et avec le soin nécessaire [5].

On attribue généralement cinq origines différentes à ce phénomène :

Le retrait de séchage : il se produit avant la prise et se manifeste par l'apparition d'eau à la surface du béton (ressuage). L'évaporation de cette eau peut se poursuivre par la formation de fissures très ouvertes mais en générale peu profondes.

Le retrait de dessiccation : il est le résultat de l'évaporation de l'eau excédentaire (non utilisé pour l'hydratation du ciment). Il se produit généralement pendant le temps d'exposition du béton à l'air libre.

Le retrait endogène : il résulte de la contraction accompagnée les réactions d'hydratation (appelé contraction de « Le châtelier »). Son évaluation est liée à la cinétique du durcissement.

Le retrait thermique : il se produit lors du refroidissement des ouvrages dont la température s'est accrue lors des réactions exothermiques d'hydratation.

Le retrait de carbonatation : il intervient lors de la réaction entre le gaz carbonique de l'air et la chaux (Portlandite) formée pendant la prise [6].

### 8.3.2 Fluage

Sous charge maintenue, la déformation du béton augmente avec le temps de façon régulièrement décélérée : c'est le fluage. Il atteint 80% à 90% de son développement dès cinq ans de charge maintenue, mais dix à quinze ans sont nécessaires pour son développement complet. La déformation totale alors atteinte est de l'ordre du triple de la déformation initiale [2].

### 8.3.3 La dilatation

Puisque le coefficient de dilatation thermique du béton est évalué à  $1 \times 10^{-5}$ , pour une variation de  $\pm 20$  °C on obtient :  $\Delta l = \pm 2 \text{ ‰} \times \text{longueurs}$ . Pour chaînage en béton armé. De 20 m de longueur et un écart de température de 20 °C, on a une dilatation de :  $2 \text{ ‰} \times 2000 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}$  [6].

### 8.3.4 Le coefficient « Poisson »

Condition de fissuration d'un béton : Le phénomène de retrait étire le béton de telle façon que l'allongement résultant compense le raccourcissement imposé par le retrait, si l'élément était libre de se déformer. Le retrait augmente avec le temps, la tension interne aussi : si elle dépasse la limite de rupture du béton, la fissuration se produit [6].

$$\frac{\text{Déformation transversale}}{\text{déformation longitudinale}} = \text{dont la valeur varie entre 0.15 et 0.30}$$

## 9. Conséquences d'une augmentation de la température sur les bétons

Le béton est sensible aux paramètres que sont la température, l'hygrométrie, la vitesse du vent, qui agissent sur :

- la rhéologie du béton et son évolution ;
- la vitesse de prise ;
- la cinétique de durcissement ;
- l'évaporation et la dessiccation du béton.

L'augmentation de la température du béton est une cause de perte de maniabilité et chaque constituant y participe différemment en fonction de son dosage et de sa chaleur massique. Par exemple, on retiendra, toute chose égale par ailleurs, que, dans le domaine courant :

- une augmentation de 10 °C du ciment élève de 1 °C la température du béton ;
- une augmentation de 10 °C de l'eau élève de 2 °C la température du béton ;
- une augmentation de 10 °C des granulats élève de 7 °C la température du béton [21].

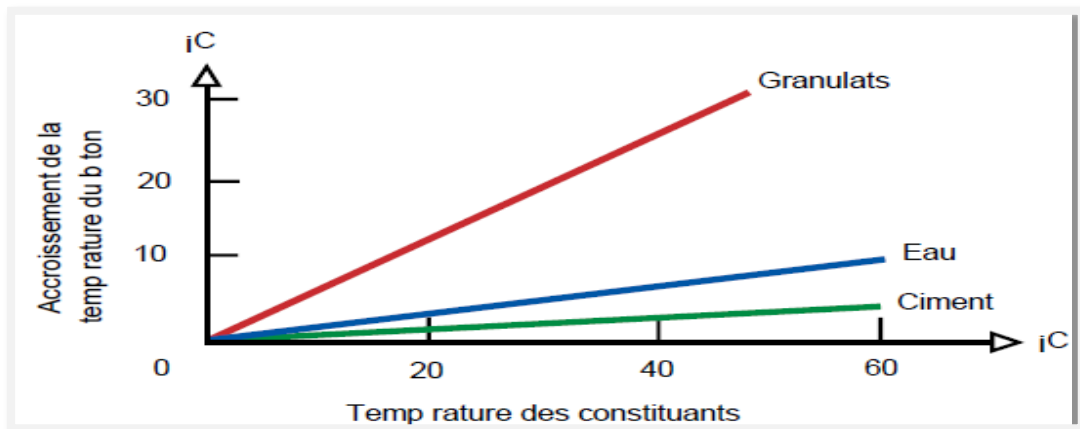


Figure 17:Accroissement de la température du béton en fonction de celle des constituants [21]

### 9.1 La prise

La prise et le durcissement du ciment sont dus à des réactions chimiques (formation de gel, hydratation) dont le développement dépend dans une forte mesure de la température. Le temps de prise est réduit de moitié environ quand la température passe de 15° à 25° et il devient quatre fois plus court quand elle passe de 5° à 30°. La maniabilité de bétons chauds diminue donc très rapidement, ce qui incite à leur ajouter davantage d'eau qu'il est nécessaire. En outre, un béton qui perd sa maniabilité ne peut plus être suffisamment serré ou ne plus l'être assez uniformément.

Ces deux défauts, excès d'eau et manque de serrage, entraînent une diminution de la résistance du béton.

Une prise trop rapide ou irrégulière peut avoir encore d'autres inconvénients relatifs à la technique de construction. Qu'on songe, par exemple, au bétonnage au moyen de coffrages glissants qu'il faut déplacer à un stade bien déterminé de la prise du béton [21].

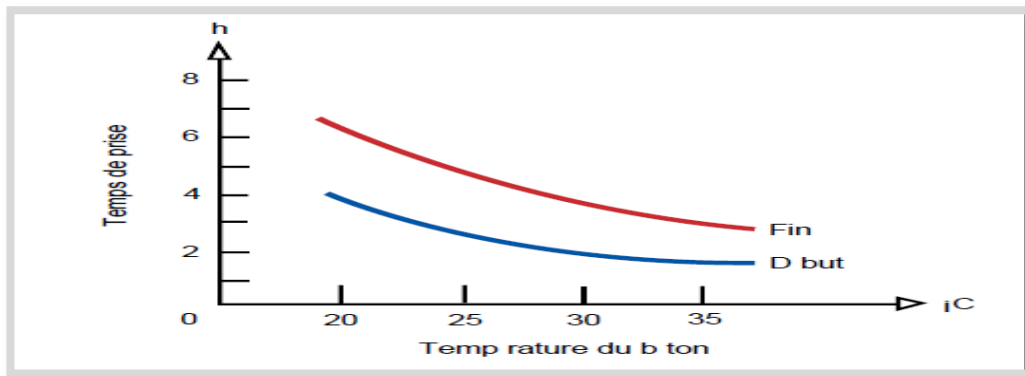


Figure 18: Evolution du temps de prise du béton en fonction de la température [21]

## 9.2 Fissuration

Le béton frais mis en place à température élevée a tendance à se fissurer sous l'effet de la rapide évaporation de son eau. Cette évaporation peut facilement atteindre 1L par m<sup>2</sup> et par heure. On peut se faire une idée des conséquences possibles d'une telle perte d'eau en représentant cette dernière par un volume de fissure :

1L d'eau perdue correspond à une fissure de 20 m de long, 1 mm de largeur et 5 cm de profondeur. Pour 1 m<sup>2</sup> de surface, ceci conduirait à un réseau de fissures écartées de 9 cm dans deux directions orthogonales. Ceci se produirait effectivement si le volume du béton ne pouvait aussi diminuer, dans une certaine mesure, perpendiculairement à la surface. Les fissures de ce genre se produisent peu après la mise en place du béton, pendant sa prise. Secondairement, le risque de fissuration est augmenté quand la quantité d'eau est exagérée, à cause du retrait plus grand qui en résulte et de la plus faible résistance à la traction du béton. Un refroidissement irrégulier du béton peut aussi aggraver la fissuration [40].



Figure 19: Fissuration du béton [43]

## 9.3 Diminution des résistances finales

La résistance finale des bétons est influencée par la température à laquelle ils ont été soumis pendant leur durcissement. Un béton placé à une température de 30° durcit plus rapidement, mais atteint finalement une résistance moins élevée que s'il est conservé à une température plus basse.

Indépendamment des raisons déjà citées, cet effet est imputable aux contraintes internes plus grandes qui résultent d'un retrait plus rapide [17].

## 10. Conclusion

Cette synthèse bibliographique nous a montré que nombreux produits peuvent être utilisés dans la formulation du mortier et aussi du béton. Les objectifs sont :

- Améliorer certaines propriétés mécaniques et physiques.
- Différentes additions minérales peuvent être ajoutées à la matrice cimentaire.
- Différents types des adjuvants sont utilisés pour les formulations des bétons.
- Différentes catégories de granulats et diverses origines sont utilisés.
- Meilleure liaison des constituants de béton avec l'eau de gâchage.

La deuxième partie de ce chapitre était basée sur les caractéristiques physiques et mécaniques du béton ordinaire, aussi il était question de montrer l'effet de la haute température sur le comportement de béton au jeune âge et pendant le durcissement.



# Chapitre II

## caractérisation des matériaux utilisés

## Chapitre II : Caractérisations des matériaux utilisés

### 1. Introduction

La qualité et le comportement mécanique du béton est le résultat d'une interaction complexe entre ses divers constituants, l'emploi judicieux de ses matériaux dans la construction exige la connaissance de leurs diverses propriétés : physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques, et qui permet de faire un choix répondant à leur destination. Par ailleurs, il est essentiel que ces matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène à grande échelle et possédant par conséquent des propriétés uniformes et la détermination des dosages optimaux. Ainsi que l'illustration des certaines interprétations ne pourraient être possible que si les différents constituant sont bien caractérisés.

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés durant ce projet de fin d'études, les procédures des malaxages pour confectionner nos mélanges, ainsi que les différents essais expérimentaux pour les caractériser à l'état frais et durci. Et on va présenter aussi les compositions des différents mélanges utilisés dans le cadre de cette étude.

Des essais physiques, chimiques, et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoires suivants :

- Laboratoire L.T.P. S d'Adrar.
- Laboratoire L.T.P.O d'Adrar.
- Laboratoire RTAS d'Adrar.
- Laboratoires de département de Génie Civil de l'université d'Adrar.
- Laboratoire ANRH d'Adrar.

### 2. Caractérisations des matériaux utilisés

#### 2.1 Sable de dune

Dans tous les mélanges de notre étude, nous avons utilisé un sable local prélevé de dunes d'Erg Sali, commune appartenant à la daïra de Reggane située au centre-Ouest de la wilaya d'Adrar, à environ 130 km du chef-lieu de la wilaya.



Figure 20: Sable de dune [44]

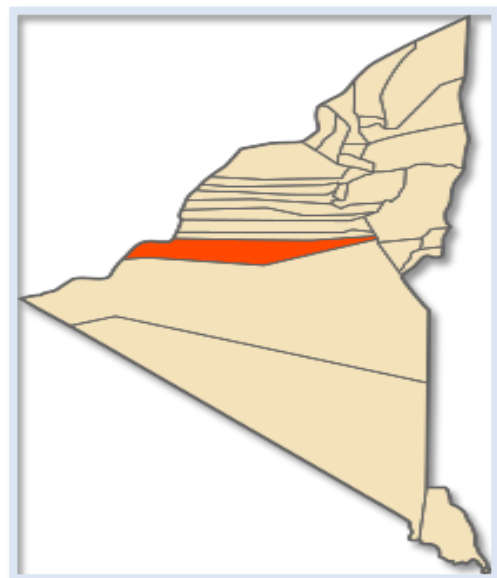


Figure 21: Localisation du la comun Sali [45]



### 3. Analyse granulométrique (Norme NF P18 560)

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

#### 3.1 But de l'essai

La granulométrie ou l'analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. Et pour tracer la courbe de référence, l'analyse granulométrique a trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension.
- En déduire le Module de finesse (Mf) du sable.

Refus sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.

Tamisât (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

#### 3.2 Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.

#### 3.3 Matériel nécessaire

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

Les tamis sont de dimension normalisée, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. La dimension nominale de tamis se situe dans une progression géométrique de raison.



Figure 3 : Machine électrique [46] Figure 22: Sable dune Sali Figure 23: Série des tamis

#### 3.4 Analyse granulométrique de sable de dune Sali :

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous ainsi que la courbe obtenue.



Tableau 8: Résultats d'analyse granulométrique du sable dune Sali

Masse de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Tamisât (%)
1600	1,6	0	0	0	100
	1,25	8,98	8,98	0,56	99,44
	1	22,88	31,84	1,99	98,01
	0,8	96,16	128	8	92,00
	0,63	432	560	35	65,00
	0,5	143,84	703,84	43,99	56,01
	0,4	112	815,84	50,99	49,01
	0,315	144,16	906	60	40,00
	0,25	80	1040	65	35,00
	0,16	223,68	1263,68	78,98	21,02
	0,125	144,48	1408,16	88,01	11,99
	0,1	79,48	1488	92,98	7,02
	0,08	78,4	1566,4	97,88	2,12
	0,005	33,6	1600	100	00
fond	00	00	00	00	

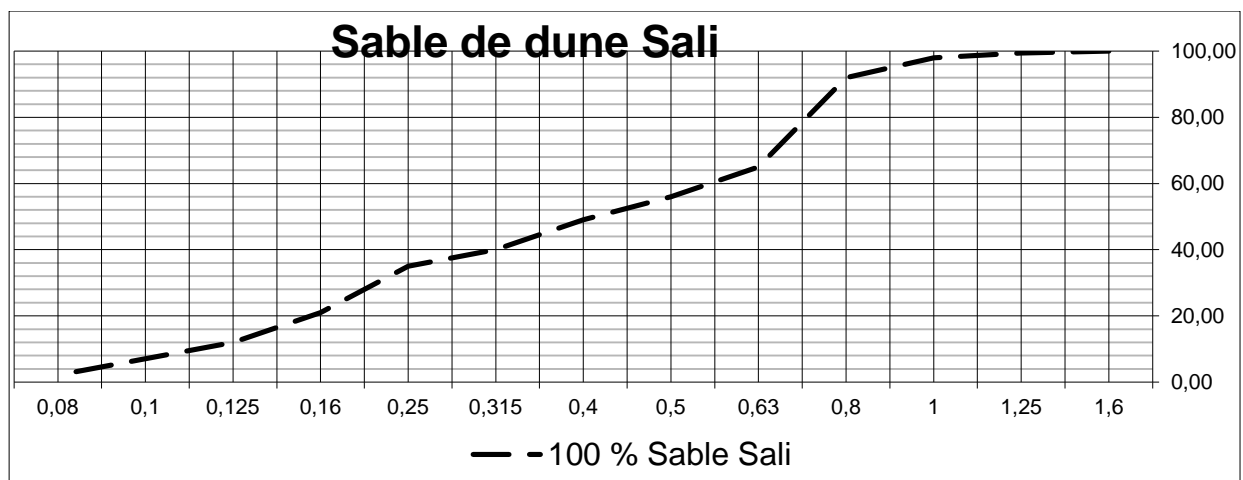


Figure 24: Courbe granulométrique de sable de dune Sali

#### 4. Modules de finesse Norme NF P18 304

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (Mf).

$$Mf = \frac{\sum RC}{100}$$

RC : refus cumulé en (%) sous les tamis de module 0,16 à 5.

Lorsque Mf est compris entre :

- 1,8 et 2,2: le sable est à majorité de grains fins.
- 2,2 et 2,8: on est en présence d'un sable préférentiel.

➤ 2,8 et 3,3: le sable est un peu grossier, il donnera des bétons résistants mais moins maniables [32].

Pour les sables utilisés dans notre étude on a trouvé la valeur suivante :  $MF = 1,8$

#### 4.1 Interprétation :

Nous avons trouvé que le sable de dune de Sali qu'on a utilisé dans le mélange est : un sable à majorité de grains très fins.

### 5. Teneur en eau :

But de l'essai : Détermination de la quantité d'eau contenue dans un sol.

#### 5.1 Appareillage et mode emploi :

On a utilisé pour cet essai une balance, une étuve et une tare.

La teneur en eau d'un échantillon de sol est le rapport exprimé en % de la quantité d'eau évaporée après un étuvage d'une durée de 24h à une température élevée au poids de l'échantillon sec.

On a pesé une quantité de 1500g de sable et met dans l'étuve pour une durée de 24h

La formule :

$$W = [(M_h - M_s) / M_s] \times 100$$

Le résultat est donné dans le tableau suivant :

Tableau 9: Teneur eau de sable de dune Sali

Echantillon	MS(g)	Mh(g)	W%
Sable de dune de Sali	50	50,2	0,4

#### 5.2 Interprétation

Le sable de Sali est un sable très sec car il ne contient aucune humidité.

### 6. Equivalent de sable Norme (NF P 18 -598)

Cet essai d'équivalent de sable permet, selon un processus normalisé, de quantifier la notion de propreté d'un sable [1].

#### 6.1 But de l'essai

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

#### 6.2 Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur h1 : sable propre + élément fins,
- Hauteur h2 : sable propre seulement. On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est :  $ES = h_2 / h_1 \times 100$ .

Selon que la hauteur h2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine :

- ESV : équivalent de sable visuel.

- ESP : équivalent de sable au piston.

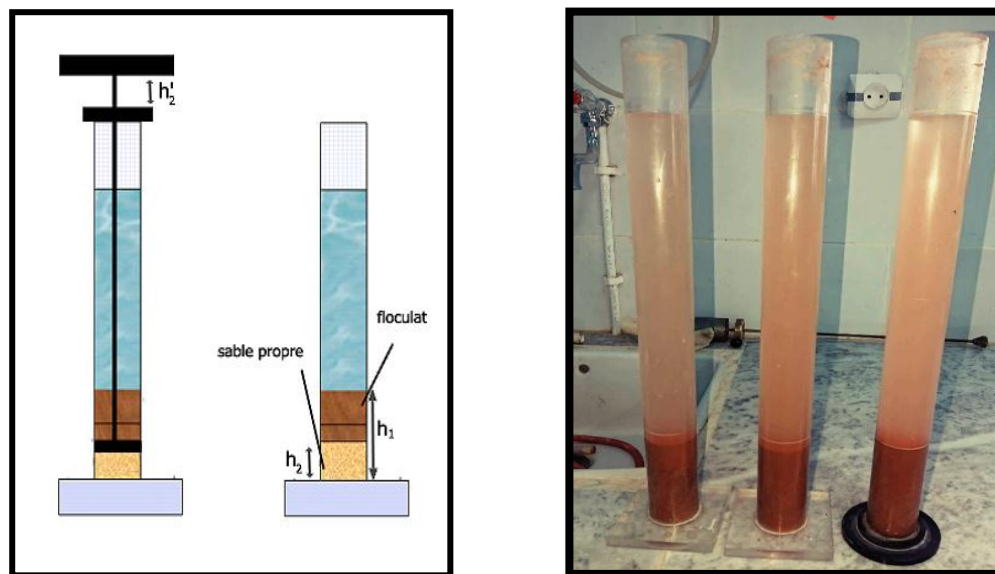


Figure 25: Essais d'équivalent de sable et appareillage

Tableau 10: Résultats d'essai de l'équivalent de sable

Composant	Equivalent de sable			Limite de valeur	Observation
Sable de dune	ESp	83,69	81,98	Esp ≥ 80%	Sable très propre
		83,14			
		79,12			
	ESv	85,86	88,64		
		93,20			
		86,81			

### 6.3 Interprétation :

Selon la norme **NF P18 598**, ce sable est très propre et acceptable pour la composition de béton et de mortier.

## 7. Masses volumiques :

### 7.1 Masse volumique absolue (norme NF P18-301)

Cet essai est défini comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées.

#### 7.1.1 Principe et mode d'emploi de l'essai

Dans ce travail, nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est simple, rapide et utilise un matériel courant du laboratoire. Il faut :

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume  $V_1$  d'eau.
2. Peser un échantillon sec  $M$  de sable (environ 100 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Lire le nouveau volume  $V_2$ .

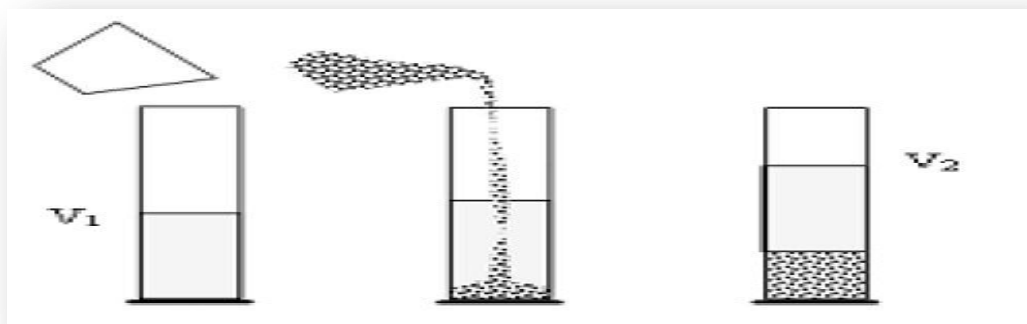


Figure 26: Essai de la masse volumique [47]

- La formule qui nous permis la détermination de la masse volumique qui est :

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

$\rho_s$  : Masse volumique absolue  $\text{kg/m}^3$ .

$M_s$  : Masse des grains solide.

$V_1$  : Volume de l'eau.

$V_2$  : Volume total (grains + vide) [34].

## 7.2 Masse volumique apparente NF P18-554

Cet essai est défini comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

$$\rho_a = \frac{M}{V}$$

$\rho_a$  : Masse volumique apparente  $\text{kg/m}^3$ .

$M$  : Masse totale de l'échantillon.

$V$  : Volume total de l'échantillon.

Les résultats des essais de la masse volumique apparente  $\rho_a$  et la masse volumique absolue  $\rho_s$  de sable sont enregistrés dans le tableau suivant :

Tableau 11: Résultats de calcul de la masse volumique

Composant	Masse volumique Apparent ( $\text{Kg/m}^3$ )	Masse volumique Absolue ( $\text{Kg/m}^3$ )
Sable de dune	1636	2696

Tableau 12 : Caractéristique du sable de dune

Module de finesse	1,58		Très fin
Equivalent de sable (%)	81,98	88,64	Très propre
Masse volumique apparente ( $\text{kg/m}^3$ )	1636		-
Masse volumique absolue ( $\text{kg/m}^3$ )	2696		-
Teneur en eau %	0,4		Sable sec

## 8. Sable concassé

Le sable de dune qu'on a utilisé est prélevé de la carrière HARROUCHI qui est située à KOUSSEN, 30 km au sud de la ville d'Adrar.

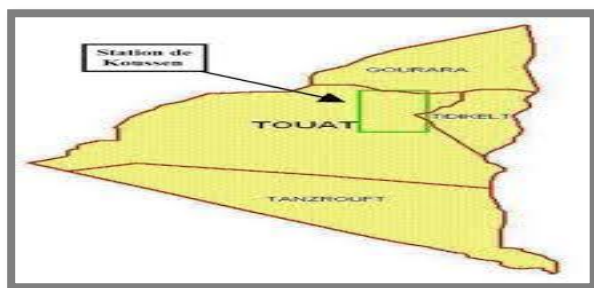


Figure 8: Location de carrière HARROUCI



Figure 9: Sable concassé

### 8.1 Analyse granulométrique

Dans cette étude Nous avons utilisé trois échantillons :

- Premier échantillon : 100% sable concassé + 3/8gravier + 8/15gravier + 15/25gravier + Adjuvant.
- Deuxième échantillon : 30% du sable dune +70%du sable concassé + 3/8gravier + 8/15gravier +15/25gravier + Adjuvant.
- Troisième échantillon : 50 % du Sable concassé+ 50% du sable de dune + 3/8gravier + 8/15gravier +15/25gravier + Adjuvant.

Les tableaux suivants représentent les résultats d'analyse granulométrique obtenus suivi par sa courbe :

#### 8.2 Premier échantillon

Tableau 13: Analyse granulométrique du sable concassé (0/3)

Masse de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Tamisât (%)
1200	5	0,0	0,0	0,0	100
	4	2,55	2,55	0,21	99,79
	2,5	90,61	93,16	7,76	92,24
	1,25	380,63	473,79	39,48	60,52
	0,63	382,55	856,34	71,35	28,65
	0,5	225,45	1081,79	90,14	9,86
	0,315	93,33	1175,12	97,92	2,08
	0,25	8,22	1183,34	98,61	1,40
	0,16	6,89	1190,23	99,18	0,82
	0,125	4,98	1195,21	99,59	0,41
	0,08	3,55	1198,76	99,89	0,11
Fond	1,09	1199,85	99,99	0,01	

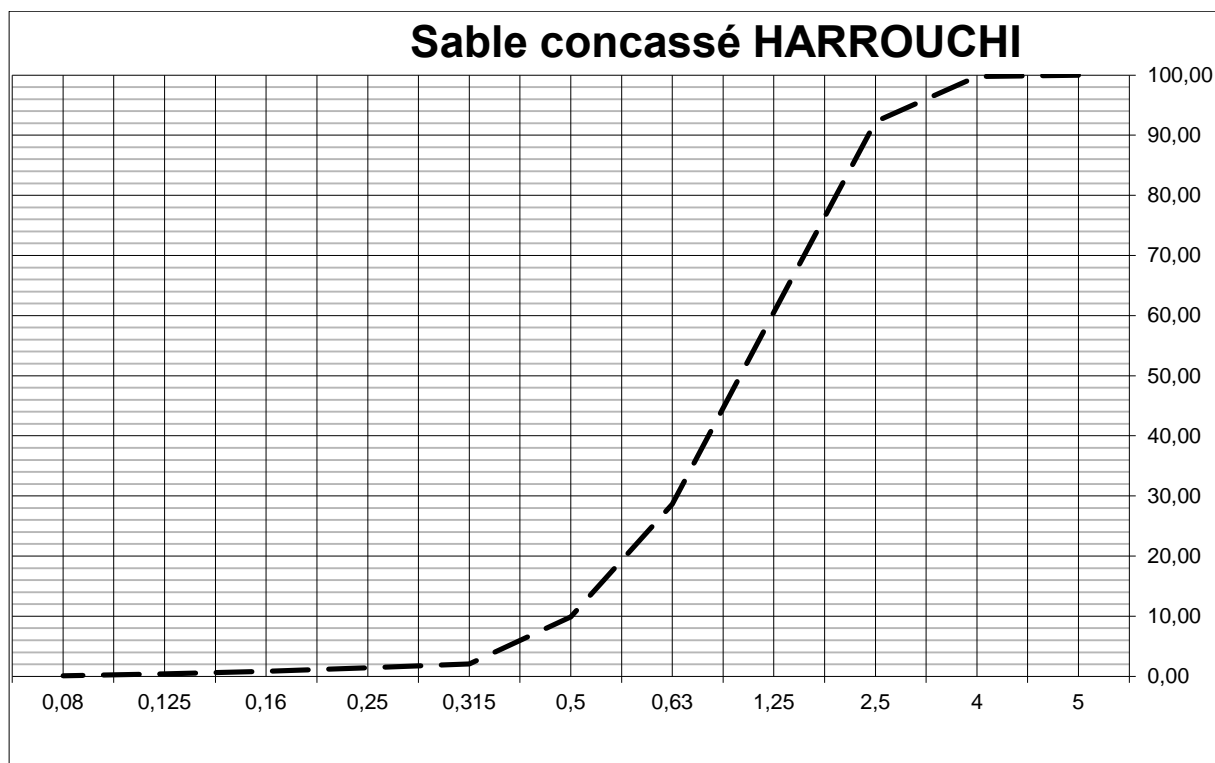


Figure 27: La courbe granulométrique du sable concassé

### 8.3 Deuxième échantillon

Tableau 14: Analyse granulométrique du 30%Sable dune+ 70% Sable concassé

Masse de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Tamisât (%)
1200	5	00	00	00	100
	4	2,8	2,80	0,23	99,77
	2,5	50,50	53,30	4,44	95,56
	1,25	100,09	153,39	12,78	87,22
	0,63	379,96	533,35	44,45	55,55
	0,5	301,16	834,51	69,54	30,46
	0,315	290,07	1124,58	93,72	6,29
	0,25	35,99	1160,57	96,71	3,29
	0,16	20,17	1180,74	98,40	1,61
	0,125	11,90	1192,64	99,39	0,61
	0,08	4,4	1197,04	99,75	0,25
	Fond	2,7	1199,74	99,98	0,02

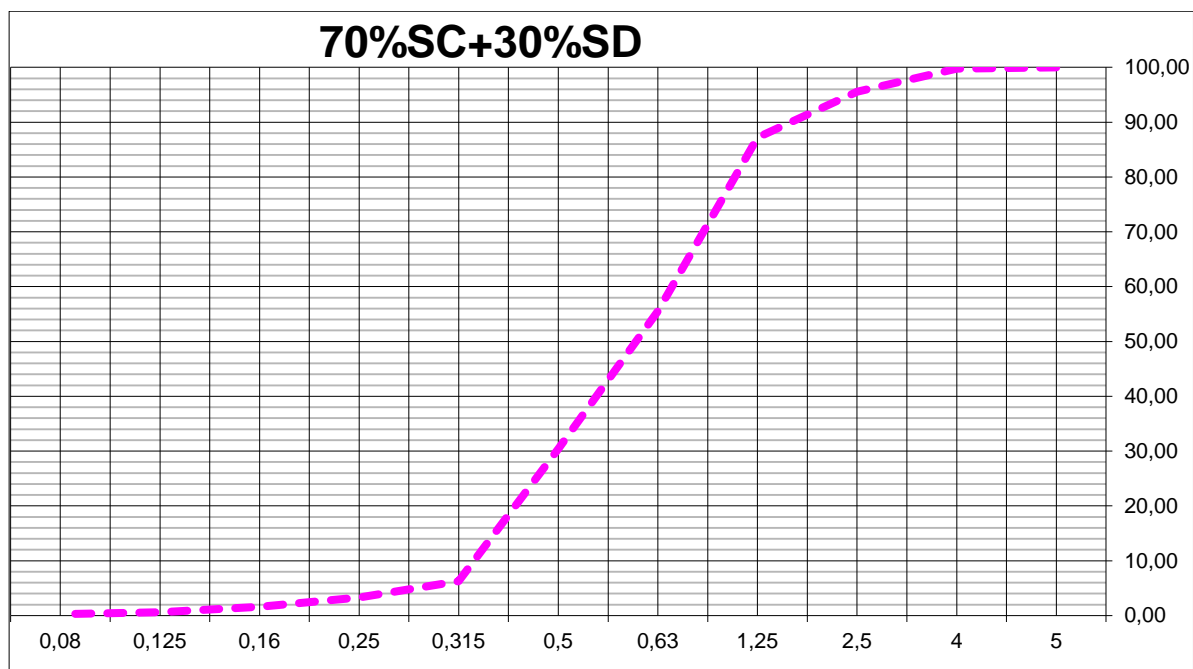


Figure 28: Courbe granulométrique du mélange 70%SC +30%SD

#### 8.4 Troisième échantillon

Tableau 15: Analyse granulométrique du 50% Sable dune+ 50% Sable concassé

Masse de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Tamisât (%)
1200	5	00	00	00	100
	4	3,60	3,60	0,30	99,70
	2,5	65,72	69,32	5,78	94,22
	1,25	108,02	177,34	14,78	85,22
	0,63	365,01	542,35	45,20	54,80
	0,5	341,58	883,93	73,66	26,34
	0,315	179,07	1063	88,58	11,42
	0,25	72,01	1135,01	94,58	5,42
	0,16	35,04	1170,05	79,50	2,50
	0,125	17,20	1187,25	98,94	1,06
	0,08	9,80	1197,05	99,75	0,25
	Fond	2,70	1199,75	99,98	0,02

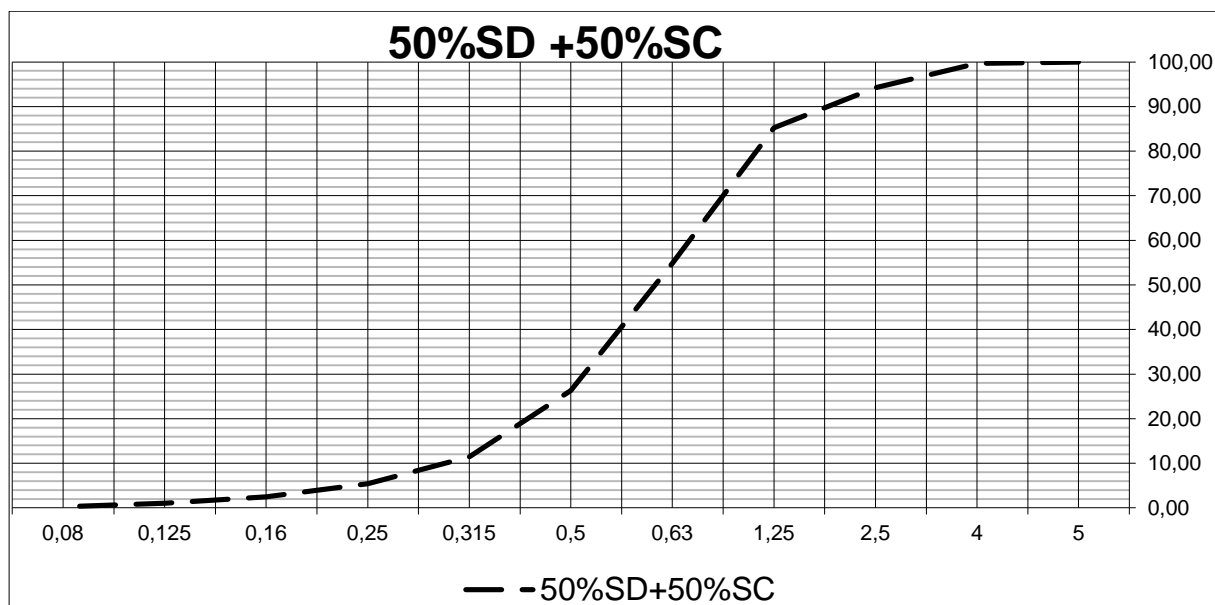


Figure 29: Courbe granulométrique (50%SD+50% SC)

Tableau 16: Caractéristique des trois échantillons

Les échantillons	Module de finesse	Equivalent de sable %	Masse volumique apparente (Kg/ m <sup>3</sup> )	Masse volumique absolue (Kg/m <sup>3</sup> )
100% Sable concassé	3,15	65,41	1354	2846
30% du sable dune +70% du sable concassé	2,54	69,25	1520	2858
50% du sable dune +50% du sable concassé	2,51	75,11	1484	2738

### 8.5 Interprétation

Pour le premier échantillon qui contient 100% de sable concassé, et d'après la valeur du  $M_f$  qui est égale à 3,15, on conclut que ce sable concassé est un sable peu grossier, il donnera des bétons résistants mais moins maniables. Encore pour l'équivalent de sable qui prend le pourcentage de 65,41. Nous avons trouvé que le sable concassé est un sable légèrement argileux mais de propreté admissible pour les bétons de qualité courant quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.

Pour le deuxième échantillon qui contient de 30% de sable + 70% de sable concassé, et d'après la valeur du  $M_f$  qui est égale à 2,54, on conclut qu'on est en présence d'un sable préférentiel. Aussi pour l'équivalent de sable qui prend le pourcentage de 69,25, nous avons trouvé que le sable corrigé est un Sable légèrement argileux mais de propreté admissible pour les bétons de qualité courant quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.

Pour le troisième échantillon qui contient de 50% de sable + 50% de sable concassé, et d'après la valeur du  $M_f$  qui est égale à 2,51, on conclut qu'on est en présence d'un sable préférentiel. Aussi pour l'équivalent de sable qui prend le pourcentage de 75,11, nous avons



trouvé que le sable corrigé est un sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

## 9. CIMENT

Dans notre projet, nous avons utilisé 2 qualité de ciment : El MATINE CEMII/B 42,5N et CEMII/B 42,5N(STG).



Figure 30 : CEMII/B 42,5N(STG)



Figure 14 : CEMII/B 42,5N (EL MATINE)

### 9.1 Ciment El MATINE

Ce premier type de ciment utilisé dans notre projet dit ELMATINE est un ciment Portland composé C.P. J CEMII/B 42,5N selon **la norme NA442**, provenant de la cimenterie Hammam Eddalaa Msila, la fiche technique du ciment est donnée en annexe.

#### 9.1.1 Analyse chimique

L'analyse chimique du ciment utilisé a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentage massique dans le tableau suivant [32] :

-

Tableau 17 : Analyse chimique du ciment [32]

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Perte au feu
18,13	4,42	3,03	60,78	1,84	2,34	0,64	0,13	0,10	0,23	8,36

### 9.2 Ciment STG

Dans le but de l'utilisation des matériaux locaux, nous avons choisi le ciment STG qui est un ciment Portland composé C.P. J CEMII/A-L 42.5N, fabriqué par la cimenterie Sidi Moussa dans la commune de Timektene située à 290 km de la ville d'Adrar.

#### 9.2.1 Essai de consistance de ciment

La consistance normale de la pâte ciment est la quantité d'eau nécessaire pour avoir une pâte normale plastique. Elle est calculée en pourcent du poids de ciment et donnée comme étant le rapport eau/ciment.

L'appareillage utilisé :

- Appareil de Vicat.
- Malaxeur normalisé.
- Chronomètre.
- Balance.

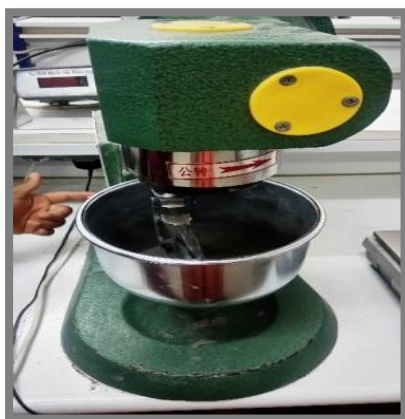


Figure 31: Malaxeur de ciment



Figure 16: Chronomètre



Figure 17 : Appareil de Vicat

### 9.2.2 Mode d'emploi

On a préparé 500g de ciment, une pâte pure de rapport E/C=0,26. Puis on verse l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le ciment, on met le malaxeur en marche et on déclenche le chronomètre.

La pâte sera à consistance normale si «  $d = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$  » : si «  $d > 7\text{mm}$  » : il n'y a pas assez d'eau, si «  $d < 5\text{mm}$  » : il y a trop d'eau.

Dans les 2 cas, on jette la pâte, on nettoie et on sèche le matériel et ensuite on recommence avec une nouvelle quantité d'eau.

### 9.2.3 On distingue les valeurs suivantes

La pâte sera à consistance normale si l'épaisseur ainsi mesurée est de  $6\text{mm} \pm 1\text{mm}$  (index entre 5 et 7mm).

- Si l'index est  $> 7\text{mm}$  la quantité d'eau est petite.
- Si l'index est  $< 5\text{mm}$  il y a trop d'eau.

Dans les deux cas, on jette la pâte, on nettoie et on sèche le matériel et ensuite on recommence avec une nouvelle quantité d'eau. Les résultats dans le tableau suivant :

Tableau 18: résultat de l'essai consistance de ciment STG

Essais	Ciment (g)	Eau (g)	D (mm)	E/C (%)
1	500	125	32	25
2	500	130	26	26
3	500	135	9.5	27
4	500	165	7	33

### 9.3 Interprétation

Donc pour avoir une bonne consistance, il faut que le pourcentage d'eau doive être prise 33% et plus proche à la dernière (STG) et pour ciment EL MATINE c'est 42%.

## 10. Essai de prise de ciment (NF P 15-473 - NF EN 196-3)

### 10.1 Définition et but de l'essai

La présence de régulateur de prise dans la masse des liants hydrauliques offre à ces derniers, après gâchage, une prise qui commence après quelques heures.

Il est donc nécessaire de connaître le temps de début de prise des liants hydrauliques en vue de déterminer le temps disponible pour la mise en œuvre in situ des mortiers et des bétons dont ils sont confectionnés. Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques : le début de prise et la fin de prise.

### 10.2 Matériel utilisé et mode d'emploi

C'est le même appareil qui est utilisé (dans les mêmes conditions) à l'exception de la Sonde qui cisaille l'échantillon, le diamètre est beaucoup plus petit ( $\Phi = 1.13 \text{ mm}$ ).

Une fois la pâte à consistance normale obtenu, on procède au changement de la sonde de Vicat par l'aiguille de Vicat et on l'amène à la surface de l'échantillon et on la relâche sans élan (sans vitesse). L'aiguille alors s'enfonce dans la pâte et lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), on relève la distance  $d$  séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base [29].

On recommence l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés (10 à 15 min) jusqu'à ce que  $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ .

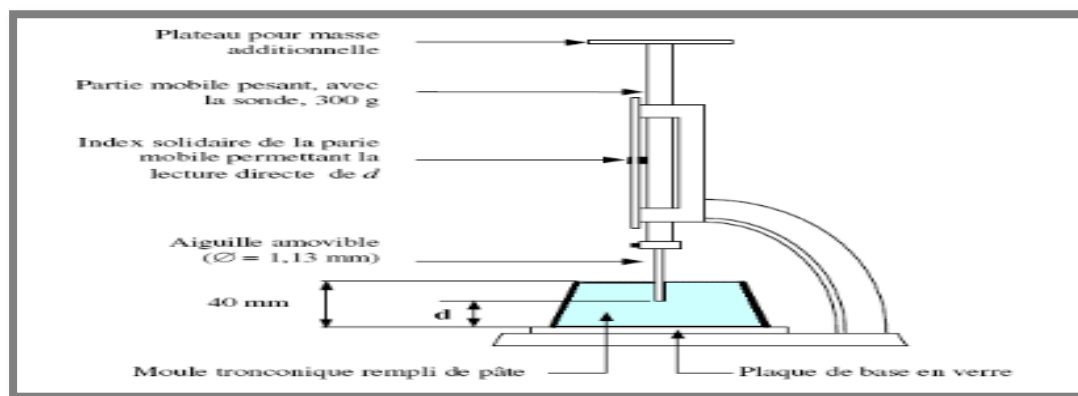


Figure 18: Principe de l'appareil Vicat de l'essai de prise[29]

Les résultats de la prise de ciment pour les deux types sont dans le tableau suivant :

Tableau 19: Résultat de l'essai prise de ciment

Ciment STG	Début de prise	3h15min
	Fin de prise	3h32min
Ciment El MATINE	Début de prise	2h50min
	Fin de prise	3h10min

### 11.Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la confection du béton est celle du robinet de laboratoire génie civil de l'université d'Adrar qui vient du branchement de château d'eau de Tililan. Nous avons donc utilisé dans le mélange de mortier une eau pure, propre, exempte de sels et de matières organiques.

On a fait l'analyse chimique de l'eau du laboratoire au niveau de l'agence nationale des ressources hydraulique ANRH à Adrar. Les résultats des analyses sont présentés dans

l'annexe. L'eau utilisée est de bonne qualité avec une caractérisation physico-chimique acceptable.

Les résultats de l'analyse dans le tableau suivant :

Tableau 20 : Composition chimique de l'eau potable en (mg/l)

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PH	Conductivité
80	33	7	160	214	22,78	228	162	7,57	1,36

### 11.1 Interprétation

Les résultats des analyses de l'eau de gâchage obtenus sont positifs, donc l'eau de gâchage ne présente aucune agressivité.

## 12. Adjuvant

A travers l'étude que nous faisons, il doit être l'adjuvant que nous utilisons dans le mélange atteint des avantages considérables entre autre l'amélioration de la maniabilité, l'utilisation du béton dans les conditions difficiles. Pour cela on a contraint d'utiliser l'adjuvant comme apport pour le béton présentant des caractéristiques de superplastifiant type sikaplast Provenant de la société SIKKA, ses caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :



Figure 32 : Adjuvant superplastifiant Sika

Tableau 21 : Caractéristiques de l'adjuvant superplastifiant SIKKA

Adjuvant	Nom commercial	Forme Couleur	Densité	Propreté
Super plastifiant	SIKAPLAST BV 40±	Liquide marron	1.040± 0.015	Plastifiant/réducteur d'eau pour hautes résistance mécanique

Pour plus d'information sur le produit, la fiche technique à l'annexe

### 12.1 Dosage

Le dosage du l'adjuvant Sikaplast est déterminé suivant la durée du retard de prise Souhaitée. Plage de dosage recommandée : 1.5% du poids du ciment, 4.86 litre par 350 kg de ciment.

### 13. GRAVIER

La carrière que nous avons choisie pour l'approvisionnement des granulats est celle de HARROUCHI qui appartient à l'Entreprise Privé des Granulats, elle se situe à 28 km au Nord-Est de la ville de d'Adrar.



Figure 33: Carrière HAROUCHI Koussen –Adrar

On a déterminé les propriétés physiques des trois classes de graviers HARROUCHI par des essais expérimentaux pour connaître l'étendue de sa résistance et son impact dans le béton.

#### 13.1 Analyse granulométrique des granulats NF P 18-560

Pour tracer la courbe granulométrie de référence, on prend trois différents diamètres de graviers et pour chaque diamètre, on prend les quantités suivantes :

Diamètre 3 – 8	⇒⇒⇒⇒⇒	(1600 g)
Diamètre 8 – 15	⇒⇒⇒⇒⇒	(3000 g)
Diamètre 15 – 25	⇒⇒⇒⇒⇒	(5000 g)

On obtient les masses de graviers selon la relation suivant ( $0.2x D_{max}$ ) ou un peu plus. Les résultats de l'analyse granulométrique des trois classes sont indiqués dans les tableaux suivants, ainsi que leur courbe granulométrique

Tableau 22: Analyse granulométrique des graviers classe 3/8

Masse	Tamis	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus Cumulés (%)/Ms	Tamisât (%)
3000	12,5	0	0	0	100
	10	7,8	7,8	0,26	99,74
	8	29,4	37,2	1,24	98,76
	6,3	497,7	534,9	17,83	82,17
	5	1094,9	1629,8	54,33	45,67
	4	818,4	2448,2	81,61	18,39
	fond	551,8	3000	-	-

Tableau 23: Analyse granulométrique des graviers classe 8/15

Masse	tamis	Poids refus partiels	Poids refus cumulé	Poids refus cumulé (%) / Ms	Tamisât (%)
4000	20	0	0	0	100
	16	709,3	709,3	17,73	82,27
	12,5	2005,6	2714,6	67,87	32,14
	10	603,7	3318,3	82,96	17,04
	8	402	3720,3	93,01	6,99
	6,3	226,2	3946,5	98,66	1,34
	fond	53,2	4000	-	-

Tableau 24: Analyse granulométrique des graviers classe 15/25

Masse	tamis	Poids refus partiels	Poids refus cumulé	Poids refus cumulé (%) / Ms	Tamisât (%)
5000g	31,5	7,5	7,5	0,15	99,85
	25	98,8	106,3	2,126	97,874
	20	1616,2	1722,5	34,45	65,55
	16	2360,7	4083,2	81,66	18,34
	12,5	853,8	4937,0	98,74	1,26
	10	63,0	5000	100	0
	fond	0	0	0	0

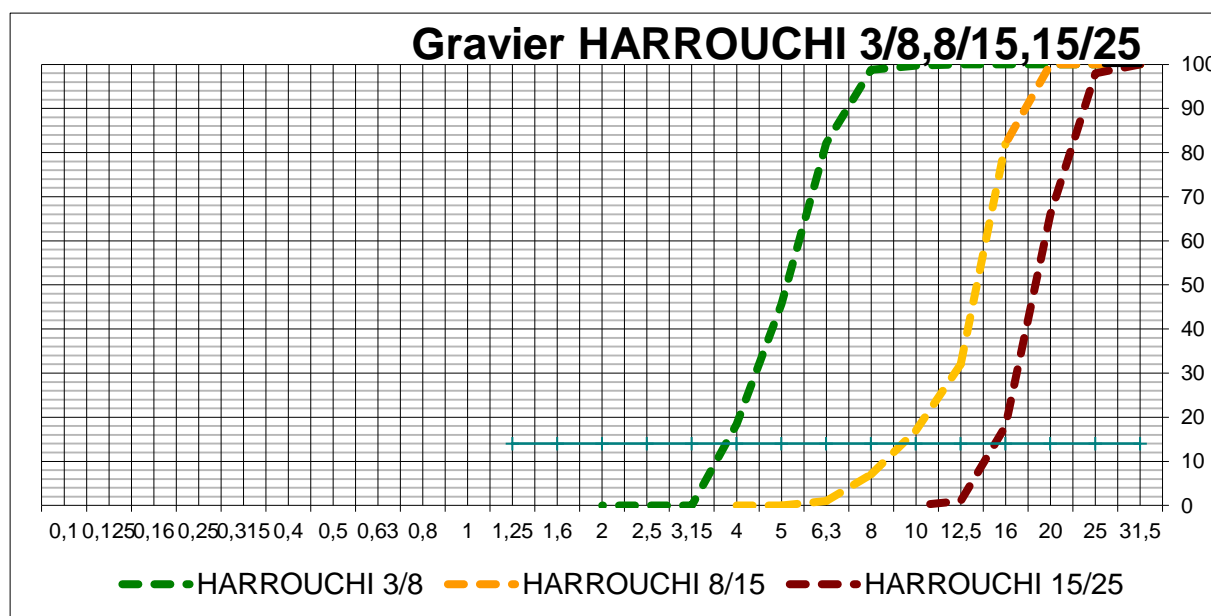


Figure 21: Courbe granulométrique des trois classes de graviers HARROUCHI



### 13.2 Absorption d'eau (NF P 18-555)

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion dans l'eau pendant 24 heures à 22 °C à la masse sèche de l'échantillon, conformément à la norme **NF P 18-555**.

On prend 1500 g des trois classes de graviers (3/8) et (8/15) (15/25). Les résultats de cet essai sur les granulats utilisés sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 25: Absorption d'eau des granulats utilisés

Les échantillons	Classe (3/8)	Classe (8/15)	Classe (15/25)
Poids humide échantillons P1 (g)	1500	1500	1500
Poids sec échantillons P2 (g)	1492,2	1495	1496
Formule de la propreté $P (\%) = (p1 - p2/p2) * 100$	0,5	0,33	0,26

#### 13.2.1 Interprétation

On conclut que les graviers absorbent une très faible quantité d'eau.

### 13.3 La masse volumique des graviers

Les résultats des essais de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue de sable sont enregistrés dans le tableau suivant :

Tableau 26: les résultats de la masse volumique absolu et apparent

Les masses volumiques	3/8	8/15	15/25	Les normes
Masse volumique absolue (Kg/m <sup>3</sup> )	2736	2696	2767	NF P18-555
Masse volumique apparente (Kg/m <sup>3</sup> )	1435	1376	1453	NF P18-553

### 14. Propreté pour granulat (NFP 18-591)

A l'instant de ce qui se pratique pour les sables, les graviers doivent être propres avant leur utilisation dans la fabrication des bétons.

#### 14.1 Mode opératoire

Peser 1000 g de gravier soit M0 et le placer dans le tamis, laver l'échantillon jusqu'à ce que l'eau qui traverse les tamis soit claire, essuyer l'excès en eau à l'aide d'un chiffon et peser la nouvelle masse, soit P1.

Les résultats de cet essai sur les granulats utilisés sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 27: Propreté des granulats utilisés

	Classe 3/8	Classe 8/15	Classe 15/25
Poids humide échantillon P1 (g)	1500	1500	1500
Poids sec échantillon P2 (g)	1492,2	1495	1497,9
Propreté P (%) = $((P1 - P2) / P2) \times 100$	0,70	0,33	0,14

#### 14.2 Interprétation :

Le gravier utilisé est propre.

## 15. La teneur en eau

On utilise pour cet essai les trois classes de graviers, on prend 1500g de chaque classe, met dans l'étuve pour 24h, après on a pesé

Les résultats sont enregistrés dans le tableau suivant :

Tableau 28: la teneur en eau des trois classes du gravier HARROUCHI

Les échantillons	Classe 3/8	Classe 8/15	Classe 15/25
Ms (g)	1500	1500	1500
Mh (g)	1500	1500	1500
W%	0	0	0

### 15.1 Interprétation

Les trois classes du gravier utilisé sont sèches.

## 16. Coefficient d'aplatissement (NFP-18 561)

Le but de l'essai est de mesurer le coefficient d'aplatissement (CA) qui caractérise la forme des granulats. Le CA s'obtient en faisant une double analyse granulométrique par voie sèche, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulats :

- une série de tamis normalisés à mailles carrées.
- une série de tamis (grille) à fentes parallèles de largeurs normalisées.

### 16.1 Mode d'emploi

L'essai consiste en un double tamisage :

1. Peser et éliminer tous les grains de la fraction inférieure à 4 mm et supérieure à 80 mm.
2. Peser et retenir séparément tous les grains de fraction  $d_i/D_i$  comprise entre 4 mm et 80 mm.
3. Tamiser chaque classe granulaire  $d_i / D_i$  à l'aide d'une grille à fentes parallèles d'écartement  $E = D_i/2$ .
4. Peser les passants à travers chaque fente.



Figure 22 : Les grilles à fente

Les résultats de cet essai sur les granulats utilisés sont donnés dans les tableaux suivants :



Tableau 29: Coefficient d'aplatissement pour la classe 3/8

3000 g				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classe granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Me (g)	(Me/Mg)*100
10	7,89	6,3	0,8	10,14
8	29,4	5	7,4	25,17
6.3	497,7	4	140	28,13
5	1094,9	3,15	266,4	24,33
4	818,4	2,5	212,3	25,94
M = $\sum Mg = 2448,29$		$\sum Me = 626,9$		
$A = \frac{\sum Me}{\sum Mg} \times 100 = 25,61\%$				

Tableau 30: Coefficient d'aplatissement pour la classe 8/15

4000 g				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classe granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Me (g)	(Me/Mg)*100
16	709,3	10	87,0	12,26
12,5	2005,6	8	361,9	18,04
10	603,7	6,3	163,0	27
8	402,0	5	106,3	26,44
6,3	226,2	4	76,0	33,59
M = $\sum Mg = 3946,8$		$\sum Me = 794,2$		
$A = \frac{\sum Me}{\sum Mg} \times 100 = 20,12\%$				

Tableau 31: Coefficient d'aplatissement pour la classe 15/25

5000 g				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classe granulaires d/D (mm)	Mg (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Me (g)	(Me/Mg)*100
31,5	0	20	0	0
25	98,8	16	0	0
20	1616,2	12,5	263,9	16,32
16	2360,7	10	347,8	14,73
12,5	853,8	8	143,7	16,83
10	63,0	6,3	21,7	34,44
M = $\sum Mg = 4992,5$		$\sum Me = 777,1$		
$A = \frac{\sum Me}{\sum Mg} \times 100 = 15,56\%$				

## 17. Los Angeles NFP-18 573

L'essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Il s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des assises de chaussée, y compris les couches de roulement. Le

matériau évolue pendant l'essai, d'une part par suite du choc des boulets sur le granulat (rupture fragile des éléments), d'autre part par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine et sur les boulets [29].

### 17.1 Matériel utilisé

La machine Los Angeles et les boulets sont montrés sur les photos ci-dessous :

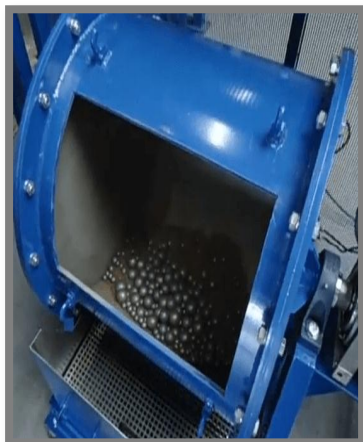


Figure 23 : Appareil de Los Angeles Figure 24 : Principe de l'appareil Figure 25 : Les boules

### 17.2 Principe

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés et aux frottements réciproques dans la machine Los Angeles. Le poids de la charge de boulets varie en fonction du type de granularité.

Si  $P$  est le matériau soumis à l'essai,  $p$  le poids des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance combinée à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques s'exprime par la quantité :  $CLA = 100 \times p / P$  Cette quantité sans dimension est appelée, par définition, "coefficient Los Angeles" du matériau.

Les résultats de cet essai sur les granulats utilisés sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 32 : Résultat de Los Angeles pour les trois classes de graviers

Classe granulaire	Nombre de boulets	Poids d'éléments > 1.6mm m'(g)	Poids d'éléments > 1.6mm m=M-m (g)	LA=100m	observations
3/8	7	4255,90	744,10	14,88	≤ très bon à bon
8/15	9	4322,70	677,30	13,55	
15/25	11	4255,5	744,5	14,89	

## 18. Micro Deval en présence d'eau NFP-18 572

L'essai permet de déterminer la résistance à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Le matériau évolue pendant l'essai par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive) à sec ou en présence d'eau.

### 18.1 Principe de l'essai

Si  $M$  est la masse du matériau soumis à l'essai et si  $m$  la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à l'usure s'exprime par le coefficient Micro-Deval qui s'écrit :  $CMD = 100 \times m/M$ .

### 18.2 Matériel utilisé :

- Une balance.
- Les tamis.
- La machine micro Deal.
- Etuve à 105 °C.



Figure 26 : les cylindres creux en acier de l'appareil Micro Deval



Figure 34: Appareil Micro Deval

Les résultats de cet essai sur les granulats utilisés sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 33: Résultats de l'essai micro Deval pour gravier HARROUCHI

Classe granulaire	Masse abrasive	Poids d'éléments > 1,6mm m'(g)	Poids d'éléments < 1,6mm m=M-m(g)	MDE = $100 \cdot \frac{m}{M}$	Observations
3/8	2000	332,7	167,3	33,46	Médiocre ≥25
8/15	4000	350,2	149,8	29,96	Médiocre ≥25
15/25	5000	410,2	89,8	17,96	Bon à moyen 13-20

Tableau 34: Caractéristiques du gravier

Les échantillons	3/8	8/15	15/25
Masse volumique apparent (Kg/m <sup>3</sup> )	1435	1376	1453
Masse volumique absolue (Kg/m <sup>3</sup> )	2736	2696	2767
Absorbation (%)	0,5	0,33	0,26
Propreté (%)	0,70	0,33	0,14
Coefficient d'aplatissement (%)	25,61	20,12	15,56
Micro Deval (%)	33,46	29,96	17,96
Los Angeles (%)	14,88	13,55	14,89

## 19. Conclusion

Dans ce chapitre II, nous avons caractérisé les différents matériaux utilisés conformément aux normes préconisées dans le domaine de génie civil.

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux locaux servant à la formulation du béton correct qui seront étudiés au chapitre III suivant.

- ❖ La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.
- ❖ Nous avons introduit du gravier de HARROUCHI, le sable de Sali, et les ciments STG, et EL MATINE qui sont des matériaux disponibles sur le marché, ainsi que l'adjuvant SIKA, plus de l'eau de gâchage provenant du robinet du laboratoire et qui est bien conforme aux normes.
- ❖ Notre recherche bibliographique s'appuie sur la normalisation française et européenne qui a permis de dégager les principaux arguments sur lesquels nous appuyons notre approche méthodologique.



# Chapitre III

## formulation et confection du béton

## Chapitre III : Formulation et confection du béton

### 1. Introduction

Après avoir adopté les différents composants essentiels à notre travail, et obtenir les informations de la recherche bibliographique, et après avoir déterminé les différentes caractéristiques des matériaux locaux disponibles dans le marché d'Adrar, on prépare à former le mélange du béton à l'aide de la méthode de FAURY dans un climat caractérisé par des températures soigneusement surveillées pendant toute la période des essais, et une humidité très faible.

Ensuite on procède à chercher le dosage convenable à chaque composition pour laquelle on obtient une maniabilité acceptable et une bonne propriété mécanique. Et en fin nous allons présenter le protocole de la confection des éprouvettes utilisées dans notre étude.

De façon générale, il est impossible de déterminer les proportions d'un béton à partir de tableaux basés sur des valeurs moyennes ou de données informatisées : les matériaux utilisés sont essentiellement variables et plusieurs de leurs propriétés ne peuvent être vraiment estimés quantitativement. Par conséquent, il est seulement possible d'évaluer les combinaisons optimales des matériaux. Il n'est donc pas surprenant que, pour obtenir un béton satisfaisant, il faille, non seulement calculer ou estimer les proportions des matériaux disponibles, mais aussi réaliser des gâchées d'essai.

C'est au niveau de sa fabrication que doit porter toute l'attention des responsables du béton. Hormis sa mise en œuvre et sa conservation, c'est la fabrication elle-même qui joue un grand rôle dans la qualité du béton.

#### 1.1 Principe :

Dans cette partie on explique le mode de travail de notre étude, après la détermination des quantités des composants de chaque mélange pour un mètre cube de béton, on doit transférer les quantités pour un volume d'éprouvette de (15x30cm).

Tableau 35: les compositions de chaque mélange réalisé

Composition 1	Composition 2	Composition 3	Composition 4
100%SD+ciment MATINE+3classes des graviers+Adjuvant	100% SD+ ciment STG + 3 classes des graviers+Adjuvant	30% SD+ 70% SC + ciment STG+3 classes des graviers+Adjuvant	50% SD+50% SC + ciment STG+3 classes des graviers+Adjuvant

### 2. Calcul approche de la formulation

Notre étude de formulation du béton est basée sur la méthode de **FAURY**. Les détails de la formulation correspondante à la carrière HARROUCHI, 100% sable dune SALI, et on a varié entre deux types du ciment EL MATINE et STG. Relative à  $E/C = 0,53\%$  et  $C = 350 \text{ kg/m}^3$ .



## 2.1 Composition 1 et 2 :

### A. La courbe granulométrique selon la méthode FAURY :

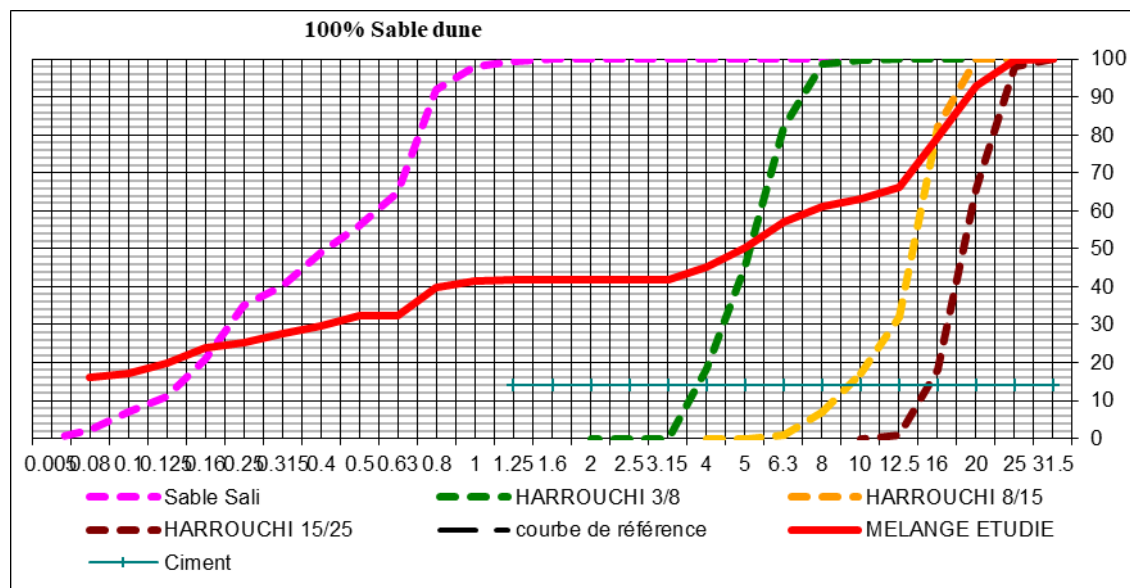


Figure 35: courbe granulométrique de mélange 100% Sali

## 2.2 Etude du mélange :

L'étude de composition de béton consiste à définir les quantités des différents constituants :

Graviers, sable, ciment ainsi que la quantité d'eau et les adjuvants, afin de réaliser un béton de quantité.

A partir de la courbe granulométrique du mélange qui on a tracé à l'aide de la méthode Faury, on a commencé a extrait les dosages des constituants des deux compositions Les dosages obtenus pour 1m<sup>3</sup> de béton sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 36: les dosages de béton dans 1 m<sup>3</sup> de composition 1 et 2

Composition du béton à 100% sable de dune béton C25			
	Pourcentages (%)	Masses (Kg)	Volumes apparents (L)
Ciment Matine / STG	14	350	113
Sable	28	604	225
G: 3/8 HARROUCHI	18	396	145
G: 8/15 HARROUCHI	19	411	153
G:15/25 HARROUCHI	21	467	169
Σ	100	2229	
Adjuvant	1,5	5,25	4,86
Eau		189	
Le rapport E/C		0,53	
Le rapport G/S		2,11	

Notre projet consiste à l'essais de la compression par des moules cylindriques pour cela nous allons faire sortir les calculs d'une éprouvette cylindrique de (15/30cm) de compositions 1et

2. À partir du dosage des composants du béton d'un 1m<sup>3</sup> (Annexe). Les résultats trouvés sont effectués dans le tableau suivant

Tableau 37: les résultats de dosage des constituants pour les compositions 1 et 2

Composition du béton à 100% sable de dune Béton C25		
Composition	la masse (kg) pour	Les masses pour 24 éprouvettes de chaque mélange
Ciment	1.86	44.64
Sable	3.20	76.8
Gravier 3/8	2.10	50.40
Gravier 8/15	2.17	52.08
Gravier 15/25	2.48	59.52
Eau	0.99	23.76
Adjuvant	0.028	0.66

### 2.3 Préparation des matériaux :

On pèse les quantités nécessaires des différents matériaux : sable de dune, ciment, adjuvant ; eau. Par une balance électronique

Dans cette partie de l'étude, nous avons réalisé deux type de mélange, de la même composition, mais qui se diffère dans le type de ciment :

- **Composition 1** : 100% SD + Ciment C.P.J. CEM II/B 42.5 N (EL MATINE).
- **Composition 2** : 100% SD + Ciment C.P.J. CEM II/A-L 42.5 N (STG).

#### 2.3.1 Objectif

Nous avons varié entre les types de ciment pour faire une comparaison de résistance entre le matériau local STG et ciment importé EL Matine.

#### 2.3.2 Malaxage

Pour obtenir une pâte homogène du béton, les étapes de malaxage doivent être les suivant, premièrement on prend la température du lieu (laboratoire), et on met la bétonnière de l'laboratoire à axe incliné et en la mise en marche, le sable et les trois classe de gravier sont déjà introduit dans la bétonnière, pour l'homogénéiser pendant environ 30 s, quand elle est en train de tourner, on verse 1/2 à 2/3 de l'eau nécessaire à la gâchée, et on laisse tourner quelques secondes pour qu'il soit bien mouillé, après on ajoute le ciment qui va se délayer dans l'eau et se réparti uniformément autour des grains de gravier, on mélange l'adjuvant Superplastifiants avec l'eau restant est ensuite l'introduire dans le malaxeur .et on le laisse quelques minutes pour assurer un bonne répartition des constituants et on le surveille jusqu'à ce qu'il devient un mélange homogène. On arrête enfin le malaxeur et on commence les essais à l'état frais immédiatement.





Figure 36: préparation de béton ordinaire



Figure 37: béton malaxé

## 2.4 Contrôle sur béton frais

Nous nous intéressons dans cet essai au contrôle du béton frais, à sa sortie du malaxeur (bétonnière), en mesurant son affaissement et sa masse volumique à l'aide de l'équipement approprié.

### 2.3.2 Affaissement au cône d'Abrams

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams ou slump (figure 2) est décrit dans la norme NF EN 1235-2. Il est facile à réaliser et couramment utilisé. Cet essai est pour but de mesurer de consistance du béton et son ouvrabilité.

Le moule tronconique ( $D = 20 \text{ cm}$ ,  $d = 10 \text{ cm}$ ,  $h = 30 \text{ cm}$ ), étant légèrement huilé et fixé sur la plaque d'appui, on le remplit en trois couches d'égale hauteur, mises en place par piquage à raison de 25 coups par couche à l'aide de la tige de piquage. Après le cône est arasé bien nivellement au supérieur, finalement on le lève immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler, la mesure exprimée en cm, est réalisée sur le point le plus haut du béton et dans le minute qui suit le démoulage

L'affaissement de des quatre mélanges de béton sont portés dans le tableau suivant



Figure 38: mesure d'affaissement



Figure 39: un arasement approprié



Figure 40: mise en place

Tableau 38: les résultats de l'affaissement des quatre mélanges

Affaissement (cm)	Composition 1	Composition 2	Composition 3	Composition 4
7j	21	20.6	21	21.1
14 j	20	20.7	19	21.1
28j	20.5	20	20.5	20.5
45j	20	20	19.5	20.5

### 2.3.3 La masse volumique du béton frais NF EN 12350-6

On mise en place du béton frais par couche dans un éprouvette cylindrique de 1 dm de volume V et de masse (m1), on vibre le béton dans le moule par 25 coups à l'aide de la tige de piquage, après un arasement approprié, on pèse l'ensemble (l'éprouvette et le béton)

On répète l'opération trois fois, et puis on garde la moyenne des trois résultats



Figure 41: mesure de la masse volumique apparente

La masse volumique des mélanges sont dans le tableau suivant :

Tableau 39: les résultats de la masse volumique des mélanges

Type de mélange	La masse volumique (g)
Composition 1	2505
Composition 2	2651
Composition 3	2865
Composition 4	2885

## 3. Confection des éprouvettes en béton NF P-18 404

Le moule utilisé pour la confection des éprouvettes, est un moule normalisé en acier en forme cylindrique (15x30cm)

### 3.1 Mise en place

Le béton est mis en œuvre et serré à refus en trois couches pour les cylindres 15/30cm, les moules sont huilés et fixés, on le remplit en d'égale hauteur, mises en place par piquage à raison de 25 coups par couche à l'aide de la tige de piquage, ou vibré avec une table vibrante. L'opération de finition a été effectuée à l'aide d'une règle à araser.



Figure 42: mise en place par piquage



### 3.2 Conservation

Just après le remplissage des moules, on a stocké dans l'ambiance du laboratoire, le démoulage de toutes les éprouvettes a été effectués 24h après le coulage.



Figure 43: conservation du béton au niveau de laboratoire

#### 3.2.1 Démoulage :

Le démoulage des éprouvettes s'est effectué avec le plus grand soin pour éviter les ruptures et les fissurations des éprouvettes. On les démoulés à l'aide de clé mulette.



Figure 44: le démoulage des éprouvettes



Figure 45: éprouvette démouler

#### 3.2.2 Conservation après démoulage

Le démoulage des éprouvettes s'est effectué avec le plus grand soin pour éviter les ruptures, après nous avons fait varier la conservation des éprouvettes ; à l'intérieur (laboratoire), et à l'extérieur (exposé au soleil), à l'âge de 7, 14, 28 et 45 jours

L'opération a été effectuée pour toutes les mélanges

Le totale des éprouvettes pour les deux mélange (100% sable dune) sont : 48 éprouvettes.



Figure 46: éprouvettes exposés au soleil



Figure 47: éprouvettes conservé à l'intérieur

### 3.3 Formulation corrigé

Après l'obtention de la formulation du béton de 100% sable dune, nous avons corrigé cette dernière par le sable concassé 0.3 de HARROUCHI :

Dans cette partie de l'étude, nous avons réalisé deux autres type de mélange, de la même composition, mais qui se diffère dans la quantité de sable dune et sable concassé :

- Composition 3 : 30 % SD + 70% Sable Concassé.
- Composition 4 : 50% SD + 50% Sable Concassé.

#### 3.3.1 Objectif :

Pour améliorer les propriétés de sable, la dureté de béton et l'accès à une bonne résistance on a corrigé le sable dune avec un sable concassé. Afin d'obtenir une bonne structure en béton.

#### 3.3.2 Calcul approche de la formulation

Notre étude de formulation du béton est basée sur la méthode de **FAURY**. Les détails de la formulation correspondante à carrière HARROUCHI pour gravier 3/8, 8/15, 15/25 plus le sable concassé 0.3, 100% sable dune SALI, et on a varié entre deux types du ciment EL MATINE et STG.

Relative à

$E/C = 0.53$  et  $C = 350 \text{ kg/m}^3$

#### 3.4 Composition 3 :

##### a. La courbe granulométrique du mélange corrigé (70%SC+30%SD)

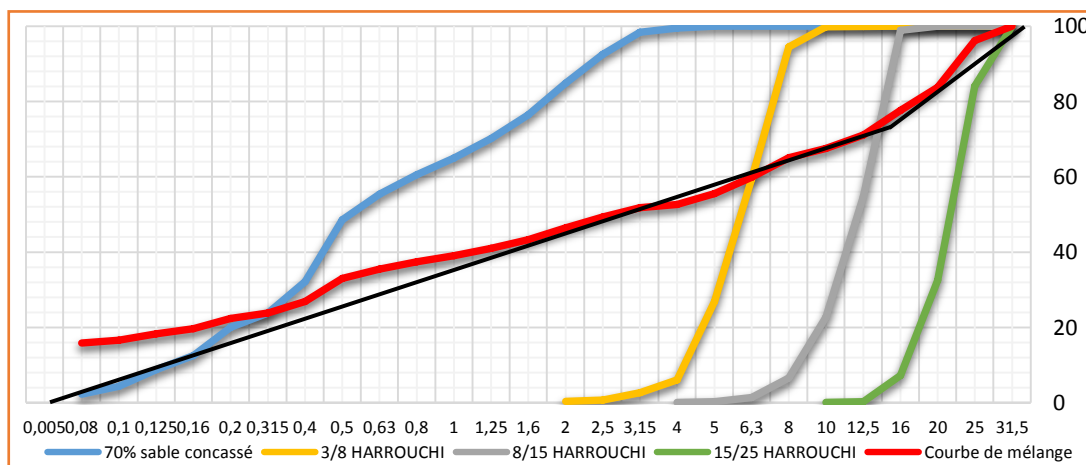


Figure 48: Courbe granulométrique de mélange de la composition 3

#### 3.4.1 Etude du mélange :

L'étude de cette composition 3 consiste à effectuer les différentes quantités des constituants : Graviers, sable, sable concassé, ciment ainsi que la quantité d'eau et les adjuvants de mélange du béton (30%SD + 70%SC), obtention de ces dernières sont réalisé graphiquement en utilisant la méthode FAURY.

Les dosages obtenus pour  $1\text{m}^3$  de béton sont consignés dans le tableau ci-dessous :  
Tableau 40: les dosages du béton avec le sable concassé (30%SC+70%SD) dans  $1\text{m}^3$

Composition du béton à 30% SD+70%SC			
Béton C25			
	Pourcentages (%)	Masses (Kg)	Volumes apparents (L)
Ciment	14	350	113
Sable	19,6	422,8	259
Sable concassé 0/3	8,4	181,2	121
G: 3/8 HARROUCHI	18	396	283
G: 8/15 HARROUCHI	19	411	294
G: 15/25 HARROUCHI	21	467	311
$\Sigma$	100	2229	1472
Adjuvant	1,5	5,25	4,86
Eau		189	
Le rapport E/C		0,53	
Le rapport G/S		2,11	

Nous allons faire sortir les calculs d'une éprouvette cylindrique (15/30cm) de composition 3. À partir du dosage des composants du béton d'un  $1\text{m}^3$  (Annexe). Les résultats trouvés sont effectués dans le tableau suivant

Tableau 41: les dosages des constituants pour la composition 3

Composition du béton à 70%SC,30%SD		
Béton C25		
Composition	la masse (kg) pour un seul éprouvette	Les masses pour 24 éprouvettes
Ciment	1,86	44,64
Sable	2,24	53,78
Sable concassé 0/3	0,96	23,04
Gravier 3/8	2,09	50,37
Gravier 8/15	2,18	52,32
Gravier 15/25	2,48	59,52
Eau	0,99	23,76
Adjuvant	0,028	0,66

### 3.5 Composition 4 :

a. La courbe granulométrique du mélange corrigé (50%SD+50%SC)

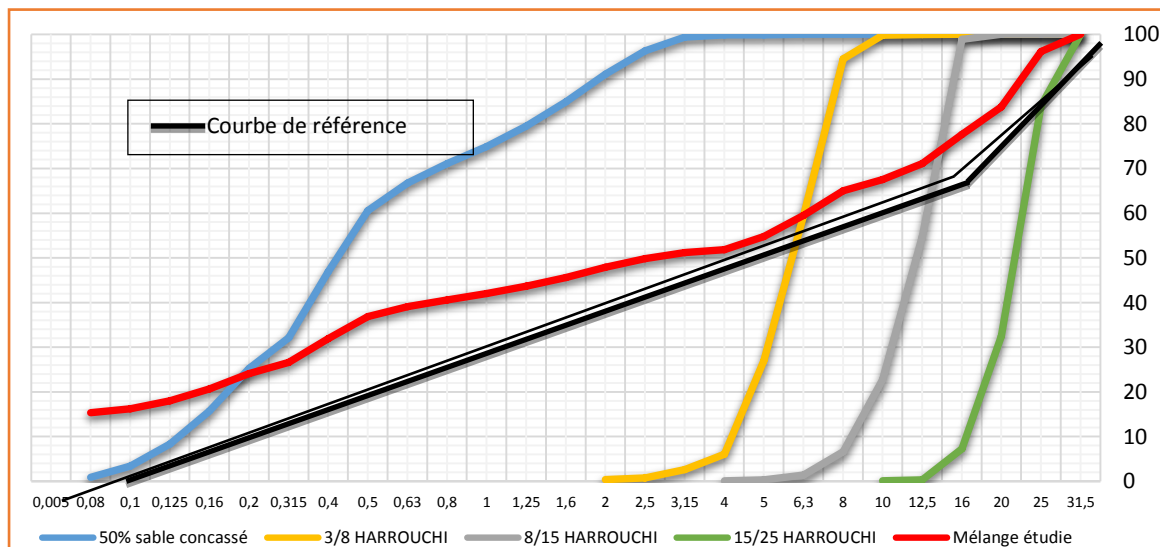


Figure 49: la courbe granulométrique de mélange de la composition 4

#### 3.5.1 Etude du mélange :

L'étude de cette composition 3 consiste à effectuer les différentes quantités des constituants : Graviers, sable, sable concassé, ciment ainsi que la quantité d'eau et les adjuvants de mélange du béton (50%SD,50%SC), obtention de ces dernières sont réalisé graphiquement en utilisant la méthode FAURY.

Les dosages obtenus pour 1m<sup>3</sup> de béton sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 42: les dosages du béton avec le sable corrigé (50%SD,50%SC) dans 1m<sup>3</sup>

Composition du béton à 50% SD, 50%SC			
Béton C25			
	Pourcentages (%)	Masses (Kg)	Volumes apparents (L)
Ciment	14	350	113
Sable	14	302	189
Sable concassé 0.3	14	302	216
G: 3/8 HARROUCHI	18	396	283
G: 8/15 HARROUCHI	19	411	294
G: 15/25 HARROUCHI	21	467	311
Σ	100	2229	1406
Adjuvant	1,5	5,25	4,86
Eau		189	
Le rapport E/C		0,53	
Le rapport G/S		2,11	

Nous allons faire sortir les calculs d'une éprouvette cylindrique (15/30cm) de composition 4. À partir du dosage des composants du béton d'un 1m<sup>3</sup> (Annexe). Les résultats trouvés sont effectués dans le tableau suivant :

Tableau 43: les dosages des constituants pour la composition 4

Composition du béton à 50%SD, 50%SC sable de dune Béton C25		
Composition	la masse (kg) d'un seul éprouvette	Les masses pour 24 éprouvettes de chaque mélange
Ciment	1,86	44,64
Sable	1,60	25,37
Sable concassé 0/3	1,60	25,37
Gravier 3/8	2,09	50,16
Gravier 8/15	2,18	52,32
Gravier 15/25	2,48	59,52
Eau	0,99	23,76
Adjuvant	0,028	0,66

### 3.5.2 Confection du béton :

Cette formulation corrigée des deux compositions de (50%SD+50%SC) et (30%SD+70%SC). Ce réalisent de la même façon appliquée sur le mélange de 100% sable dune, et avec les mêmes étapes de la formulation et la même méthode. Ainsi que les préparations et la confection du béton à l'aide des éprouvettes cylindriques.

## 4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons déterminé la formulation de béton convenable à notre étude.

On a proposé quatre compositions différentes, ainsi que la quantité d'eau, adjuvant, ciment et agrégats qui s'adapte avec chaque composition à l'aide de la méthode Faury. Puis exposé les résultats des propriétés du béton frais. Ensuite on a vu la procédure suivie pour la confection des éprouvettes cylindrique ainsi que le mode conservatoire destiné pour notre étude.



# Chapitre IV

## Résultats et discussions



## Chapitre IV : Résultats et discussions

### 1. Introduction

La résistance mécanique des bétons dépend de plusieurs facteurs à savoir : la qualité des granulats, le type de ciment, le rapport E/C...etc. Le travail présenté dans ce chapitre a pour objectif de caractériser expérimentalement l'influence de la température sur la résistance mécanique du béton ordinaire. Le comportement de ce dernier sera étudié par des essais de résistance à la compression. Cette propriété est généralement considérée comme la plus importante qui projette généralement une image globale de la qualité de béton étudié. D'après ce qu'on a caractérisé dans le chapitre précédent, nous avons confectionné un béton ordinaire conservé dans des 2 conditions climatiques.

Nous allons interpréter les résultats obtenus de l'essai de la compression, ainsi qu'une comparaison entre les données trouvées de chaque mélange.



Figure 50: Laboratoire génie civil de l'université d'Adrar

### 2. Essai de la résistance mécanique

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme (NFP 18-406), sur des éprouvettes cylindriques (15x30 cm<sup>2</sup>). Nous avons réalisé la mesure de la résistance sur vingt-quatre éprouvettes, six pour chaque âge, chaque trois éprouvette sont soumises à une condition climatique différente. Les résultats de la résistance à la compression  $f_{cj}$  obtenus à l'âge de 7, 14, 28 et 45 jours pour chaque mélange représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement est sur un appareil de compression universel normalisé (NF P 18-406)

L'expression des résultats sera donnée par la relation  $f_{cj} = F/S$  (en MPa) est la charge maximale et S la surface de compression de l'éprouvette.

#### 2.1 L'objectif

Le but de l'essai pour connaître la résistance à la compression du béton, qui est mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.



Figure 51: L'appareil de compression

Dans ce travail, nous avons étudié les caractéristiques mécaniques de quatre mélanges de béton de sable des dunes à savoir :

- Composition 1 : 100% SD + ciment EL MATINE+ 3/8 gravier+8/15 gravier+15/25 gravier + Adjuvant.
- Composition 2 : 100% SD+ ciment STG+3/8+gravier+8/15 gravier+15/25 gravier + Adjuvant.
- Composition 3 : (30% SD + 70%SC) +3/8 gravier+8/15 gravier+15/25 gravier + Adjuvant.
- Composition 4 : (50% SD + 50%SC) +3/8 gravier+8/15 gravier+15/25 gravier + Adjuvant.

## 2.2 Principe de l'écrasement :

Les conditions climatiques ont une grande influence sur la résistance de béton. Pour cela on a mesuré la température intérieur (laboratoire) et extérieur avant de faire l'écrasement.

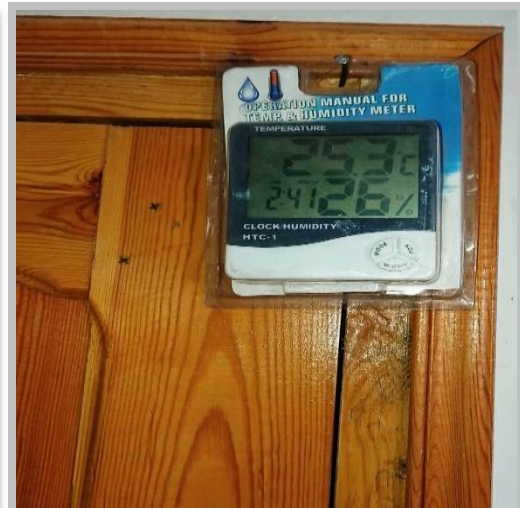


Figure 52: Mesure la température à l'extérieure    Figure 53: Mesure la température à l'intérieure

## 2.3 Résultats de la résistance à la compression

Les éprouvettes de contrôle des bétons d'usage courant confectionnés par temps chaud peuvent présenter des chutes de résistance.



Figure 54: Epreuve écrasée par compression

### 3. Composition 1 :

#### 3.1 Béton avec 100% de sable de dune et CEMII/B 42,5N EL MATINE



Figure 55: Ecrasement des éprouvettes de composition 1

#### 3.2 Les résultats de la résistance mécanique de composition 1 :

Le tableau 1 présente les résistances à la compression du béton avec (100% sable de dune + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25 + CEMII/B 42,5N (EL MATINE) + adjuvant + eau). Pour la composition 1 (100% SD)

L'ensemble des résultats des résistances en compression  $f_{cj}$  de la première composition sont présentés dans le tableau suivant

Tableau 44: Résultats de la résistance mécanique (CEMII/B 42.5N +100% SD (C1))

Age		Poids (Kg)	Contrainte (MPa)	Moyenne (MPa)	Températures °C		Af (cm)
					1	2	
7jours	Int	12,945	32,42	30,87	30	29	21
		12,970	30,17				
		12,993	30,02				
	Ext	12,915	25,19	25,51	35	34	
		13,015	25,44				
		12,790	25,92				
14jours	Int	12,345	29,58	31,40	32	27,8	20
		12,670	29,51				
		12,655	35,12				
	Ext	11,904	25,95	25,78	33	30	
		11,875	25,34				
		11,935	26,06				
28jours	Int	13,145	32,68	33,27	29	27,5	20.5
		12,975	32,03				
		12,339	32,12				
	Ext	12,995	30,22	30,16	30	29	
		12,985	30,56				
		12,980	29,70				
45jours	Int	13,185	33,63	33,71	32	25,2	20
		13,265	33,26				
		13,120	34,25				
	Ext	12,955	30,05	30,47	38	32	
		13,220	28,93				
		13,030	32,43				

3.3 La résistance mécanique en fonction d'âge dans les deux mode (int, ext (C1)) :

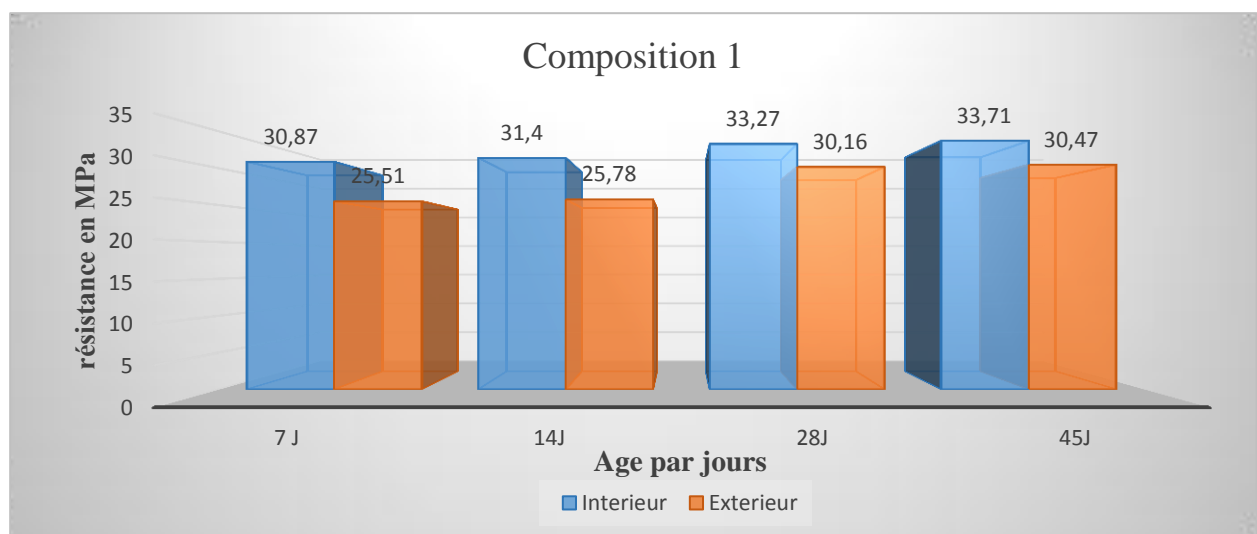


Figure 56: Variation de la résistance en fonction d'âge(C1)



### 3.4 Interprétation :

D'après la (figure 7) nous avons constaté qu'il y a une augmentation de la résistance à la compression pour les deux modes de conservation (intérieure et extérieure) en fonction d'âge. On peut dire que les échantillons placés à l'intérieure de laboratoire pour une durée de 45 jours (25.2 °C) affichent une résistance à la compression plus élevée par rapport à ceux conservés à l'air libre (32 °C). On peut conclure que la température influence négativement sur la résistance mécanique du béton.

### 3.5 La résistance mécanique en fonction de température (C1)

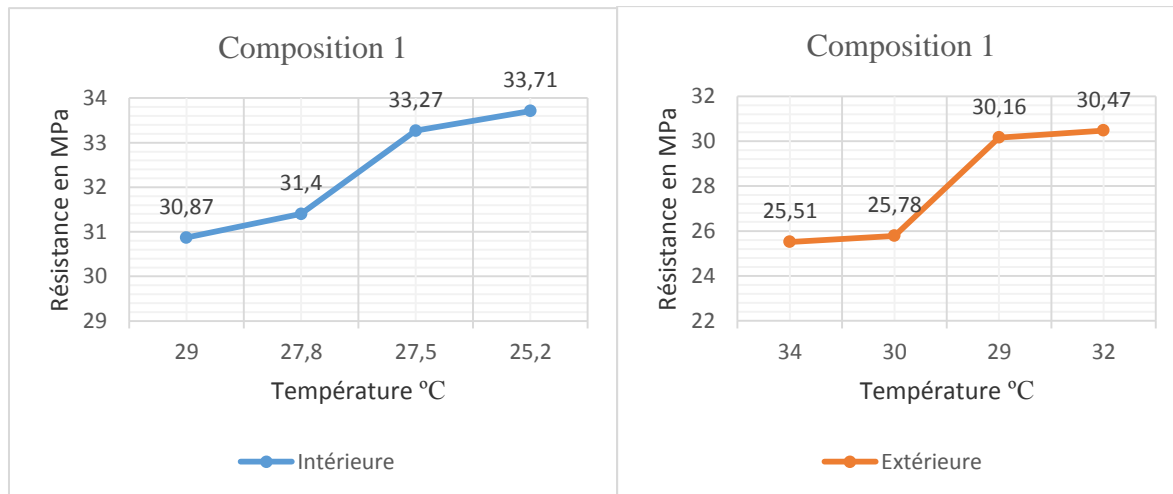


Figure 57: Résistance à la compression en fonction de la température (C1)

### 3.6 Interprétation :

D'après la (figure 8), la résistance a diminué à cause de l'évaporation d'eau rapide dans le béton, alors les conditions climatiques lors de la mise en œuvre ont une grande influence sur la qualité finale du béton. On sait que le béton est sensible aux paramètres que sont la température, l'hygrométrie, la vitesse du vent...etc. qui agissent sur la rhéologie du béton et son évolution, la vitesse de prise, la cinétique de durcissement, l'évaporation et la dessiccation du béton.

## 4. Composition 2

### 4.1 Béton avec 100% de sable de dune et CEMII/B 42,5N(STG)

Le tableau 2 présente les résultats de la résistance à la compression du béton avec 100% de sable SD et CEMII/B 42,5N (STG), suivant les deux modes de conservation. Cette composition comprend (100% sable de dune + CEMII/B 42,5N (STG) + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25+ eau + adjuvant).

### 4.2 Les résultats de la résistance mécanique de composition 2 :

L'ensemble des résultats des résistances en compression  $f_{cj}$  de la deuxième composition sont présentés dans le tableau suivant

Tableau 45: Résultats de la résistance mécanique (100%SD+CEMII/B STG)

Age		Poids (Kg)	Contrainte (MPa)	Moyenne (MPa)	Températures C°		Af (cm)
					1	2	
7 jours	Int	12,670	28,73	29,69	30	27,5	20,6
		13,105	31,07				
		12,970	29,26				
	Ext	13,020	25,37	27,32	35	32	
		12,930	27,42				
		13,020	29,16				
14jours	Int	12,585	40,32	37,47	30	28	20,7
		12,590	34,16				
		12,510	37,94				
	Ext	13,015	32,63	33,45	33	32	
		13,330	29,56				
		12,900	38,16				
28jours	Int	13,00	38,71	38,38	30	27,3	20
		13,400	30,60				
		13,190	45,82				
	Ext	12,490	30,06	33,91	32	30	
		12,550	36,09				
		12,630	35,59				
45jours	Int	13,350	40,90	39,7	35	28,2	20,5
		13,290	39,70				
		12,720	38,50				
	Ext	13,030	32,56	34,47	40	39	
		13,090	34,90				
		13,150	35,95				

#### 4.3 La résistance mécanique en fonction d'âge dans les deux modes (int, ext (C2)) :

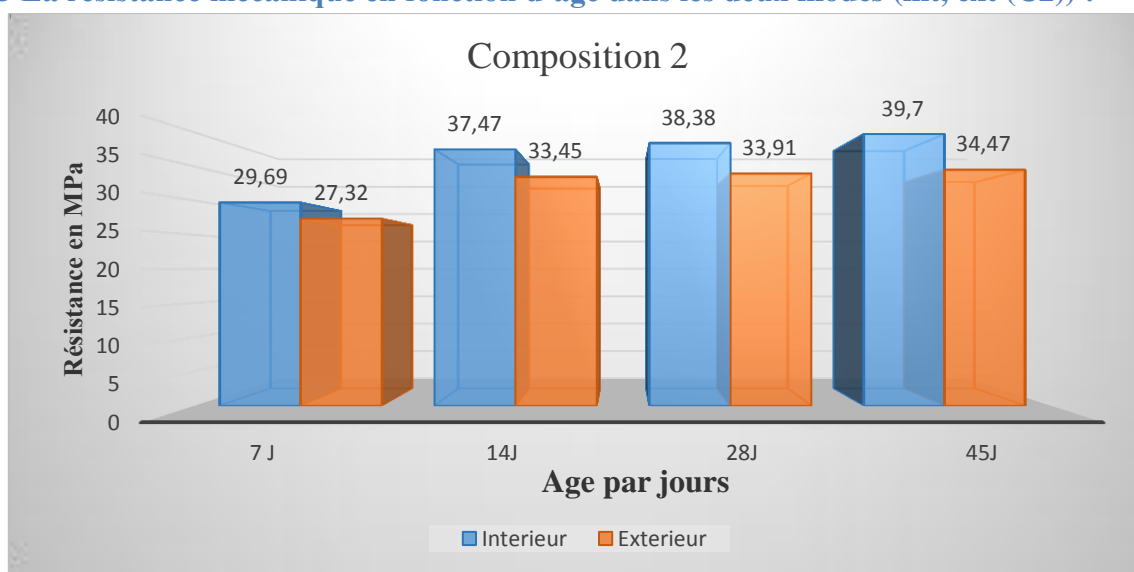


Figure 58: Variation de la résistance en fonction d'âge(C2)

#### 4.4 Interprétation (2)

On remarque que la température a affecté négativement sur la résistance du béton. Nous remarquons aussi qu'il y a une augmentation de la résistance mécanique en fonction d'âge.

Les échantillons conservés à l'intérieur de laboratoire affichent donc des meilleurs résultats par rapport à ceux exposés au soleil.

#### 4.5 La résistance mécanique en fonction de température (C2)

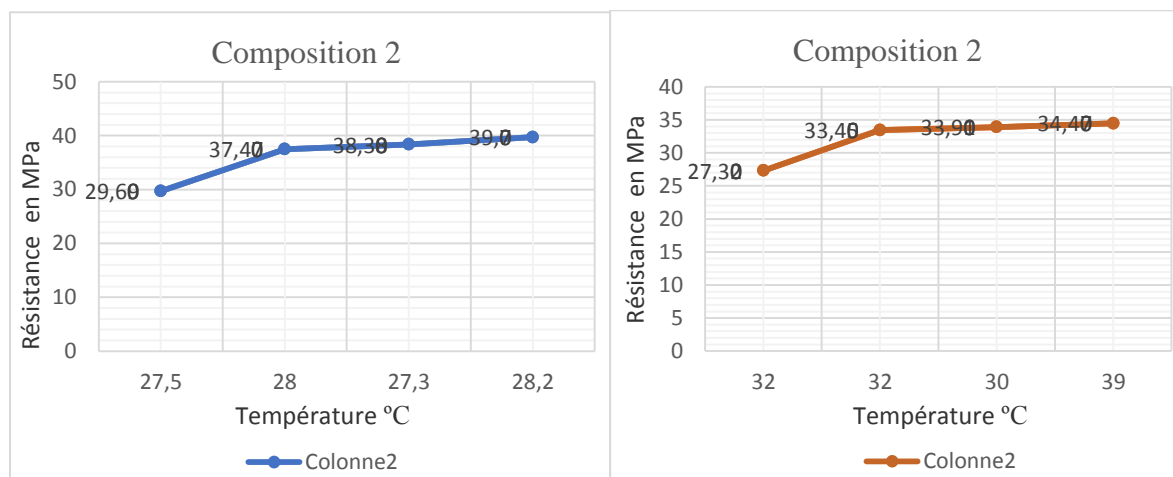


Figure 59: Résistance à la compression en fonction de température (C2).

#### 4.6 Interprétation :

D'après la (figure11), il y a une augmentation de la résistance en fonction de la température. Cependant, nous remarquons aussi que la température affecte négativement sur la résistance à la compression du béton. On sait qu'il y a toujours un risque de fissuration dus à l'évaporation trop rapide de l'eau contenue dans le béton.

### 5. Composition 3

#### 5.1 Béton avec 30% de sable de dune SD et 70% de sable concassé SC :

Pour améliorer les propriétés de sable et par conséquent la résistance du béton, on a corrigé le sable dune avec un sable concassé. Afin d'obtenir une bonne compacité du béton.



Figure 60: Ecrasement des éprouvettes de composition 3

### 5.2 Les résultats de la résistance mécanique de composition 3 :

Le tableau 3 présente les résultats de la résistance à la compression du béton de sable (30% SD + 70% SC), suivant les deux modes de conservation étudiés. Cette composition comprend (70% sable de dune+ 30% sable concassé + ciment STG + gravier 3/8 +gravier 8/15 +gravier 15/25+ eau + adjuvant).

Tableau 46: Résultats de la résistance mécanique (CEMII/B 42.5 STG+ 30%SD+70% SC)

Age		Poids (Kg)	Contrainte (MPa)	Moyenne (MPa)	Températures °C		Af (cm)
7jours	Int	13,275	35,34	37,78	29	28,4	21
		13,340	40,67				
		13,340	37,35				
	Ext	13,140	36,51	35,74	33	30,2	
		13,150	34,79				
		13,195	35,92				
14jours	Int	13,235	41,91	41,13	35	20,2	19
		13,315	40,89				
		13,260	40,60				
	Ext	13,225	34,82	36,40	24	21	
		13,140	36,78				
		13,160	37,61				
28jours	Int	13,185	45,82	44,92	26	20,2	20,5
		13,235	44,27				
		13,390	44,68				
	Ext	13,110	41,88	38,56	29	21	
		13,010	37,36				
		13,105	36,44				
45jours	Int	13,200	45,90	45,07	20	20,2	19,5
		13,330	44,56				
		13,404	44,75				
	Ext	13,190	42,30	40,79	22	21	
		13,110	40,52				
		13,109	39,55				



### 5.3 La résistance mécanique en fonction d'âge dans les deux mode (int, ext (C3)) :

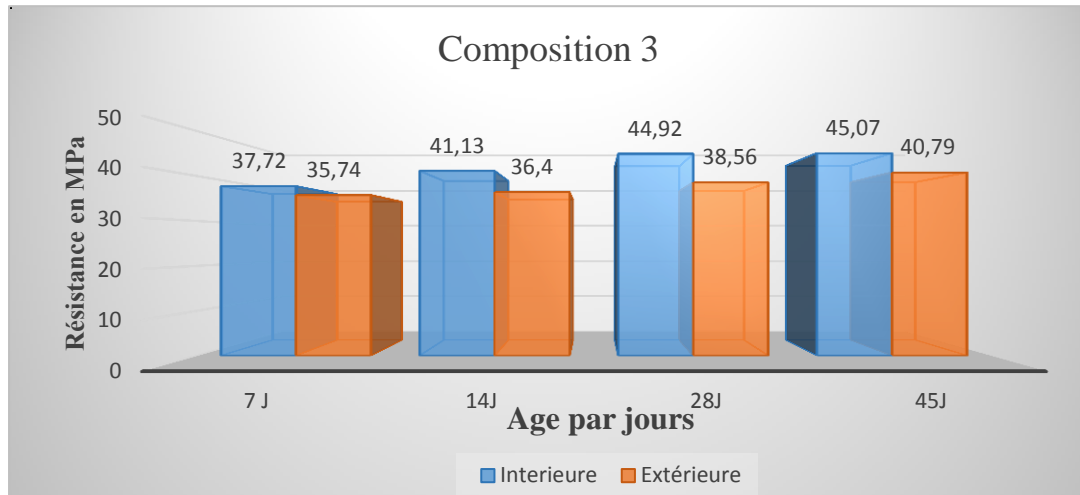


Figure 61: Variation de la résistance en fonction d'âge (C3)

### 5.4 Interprétation

Après la correction de sable (30%SD +70%SC), nous observons une amélioration acceptable de la résistance mécanique après 45 jours (>40 MPa).

On peut dire que les échantillons placés au niveau du laboratoire affichent une résistance à la compression plus élevée par rapport à ceux conservés à l'air libre (extérieur).

### 5.5 La résistance mécanique en fonction de température (C3)

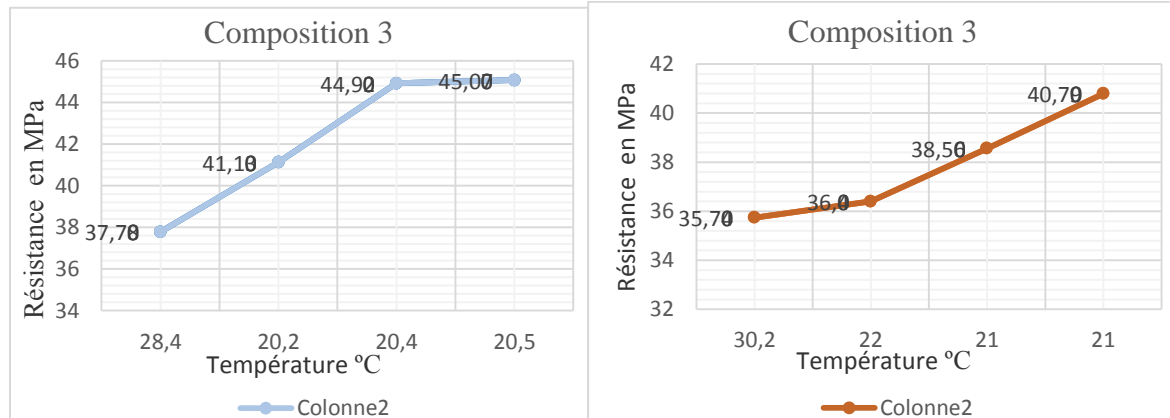


Figure 62: Résistance à la compression en fonction de température (C3).

### 5.6 Interprétation :

On remarque d'après la (figure 14) une résistance qui augmente en fonction de température. On peut dire qu'il y a une hydratation normale car il n'y a pas risque d'évaporation d'eau.

## 6. Composition 4

### 6.1 Béton avec 50% de sable de dune SD et 50% de sable concassé SC

Le tableau 4 présente les résultats de la résistance à la compression du béton de sable (50% SD + 50% SC), suivant les deux modes de conservation étudiés. La composition 4 comprend (50% sable de dune+ 50% sable concassé + ciment STG + gravier 3/8 +gravier 8/15 +gravier 15/25+ eau + adjuvant).

### 6.2 Les résultats de la résistance mécanique de composition 3 :

L'ensemble des résultats des résistances en compression  $f_{cj}$  de la quatrième composition sont présentés dans le tableau suivant

Tableau 47: Résultats de la résistance à la compression (Ciment STG +50%SD+50%SC)

Age		Poids (Kg)	Contrainte (MPa)	Moyenne (MPa)	Températures °C		Af (cm)
					1	2	
7jours	Int	12,460	36,78	36,65	25	23	21,1
		12,800	34,57				
		12,720	38,62				
	Ext	12,770	32,52	30,73	39	43	
		12,590	30,23				
		12,795	29,45				
14jours	Int	12,930	41,80	39,37	28	23	21.1
		13,105	41,10				
		13,150	35,23				
	Ext	13,340	34,53	33,26	38	40	
		13,020	30,37				
		13,025	34,90				
28jours	Int	13,160	38,40	39,61	29	27,8	20,5
		13,909	41,35				
		13,150	39,10				
	Ext	13,025	32,66	33,37	35	43	
		13,230	30,56				
		12,915	36,91				
45jours	Int	13,029	39,40	39,86	30	27	20,5
		13,100	39,88				
		13,220	40,30				
	Ext	13,026	33,28	33,69	35	35	
		13,300	33,80				
		13,010	33,99				

### 6.3 La résistance mécanique en fonction d'âge dans les deux modes (int, ext (C4)) :

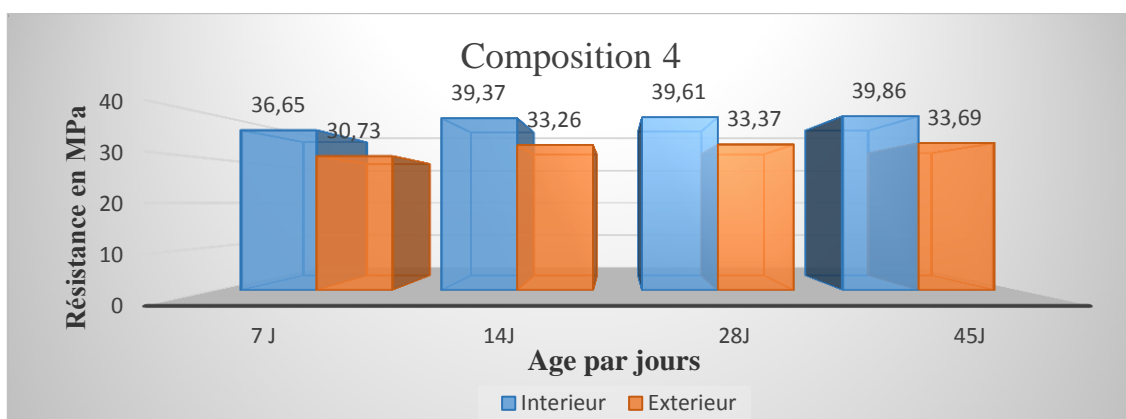


Figure 63 : Evolution de la résistance en fonction de temps (C 4)

### 6.4 Interprétation :

D'après la (figure 16), nous avons remarqué à travers les résultats une amélioration acceptable dans la résistance mécanique.

Aussi, on a observé que la résistance mécanique des éprouvettes conservées à l'intérieur est plus élevée, que ceux exposées aux facteurs naturels.

### 6.5 La résistance mécanique en fonction de température (C3)

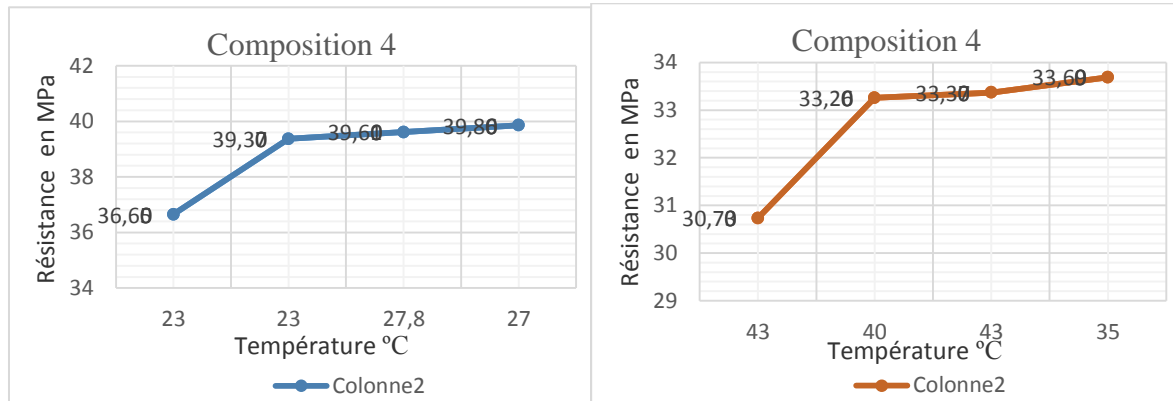


Figure 64 : Résistance à la compression en fonction de température (C4).

### 6.6 Interprétation :

On remarque d'après la (figure 17), que la température augmente, la résistance a diminuée.

Les conséquences de la température élevée sont :

- Evaporation rapide de l'eau de gâchage.
- Accélération des temps de prise.
- Fissuration de retrait thermique.
- Baisse des résistances mécaniques.

## 7. Comparaison de la résistance à la compression entre les quatre compositions :

Dans cette partie nous voulons comparer la résistance mécanique entre les quatre compositions réalisé en fonctions de l'âge (7, 14,28 et 45 jours).

Les histogrammes ci-dessous représentent une comparaison entre les quatre composition de condition de conservation interne.

### 7.1 Evolution de la résistance en fonction d'âge pour les quatre compositions (interne)

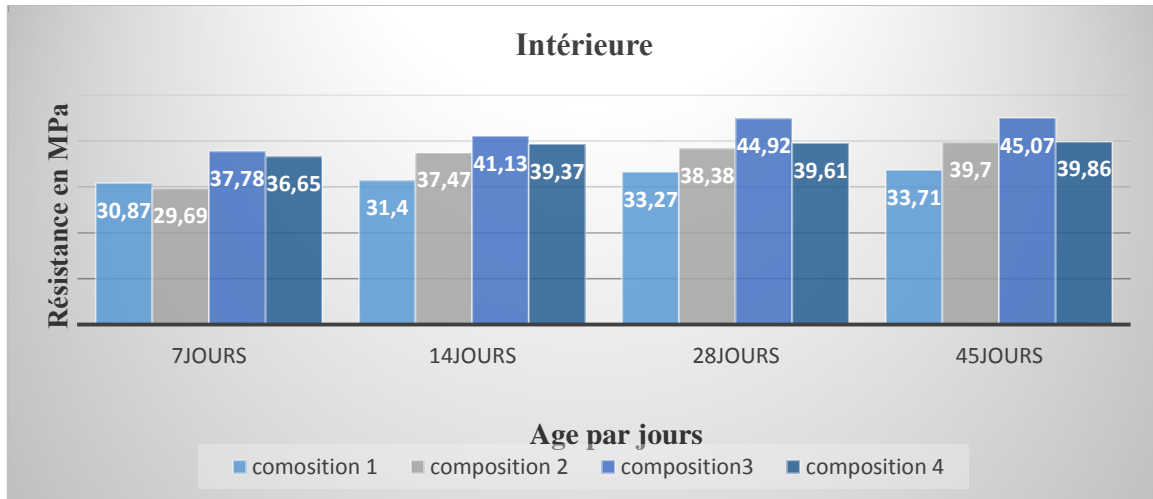


Figure 65: Comparaison entre les quatre compositions de conservation intérieure.

### 7.2 Evolution de la résistance en fonction d'âge pour les quatre compositions (externe)

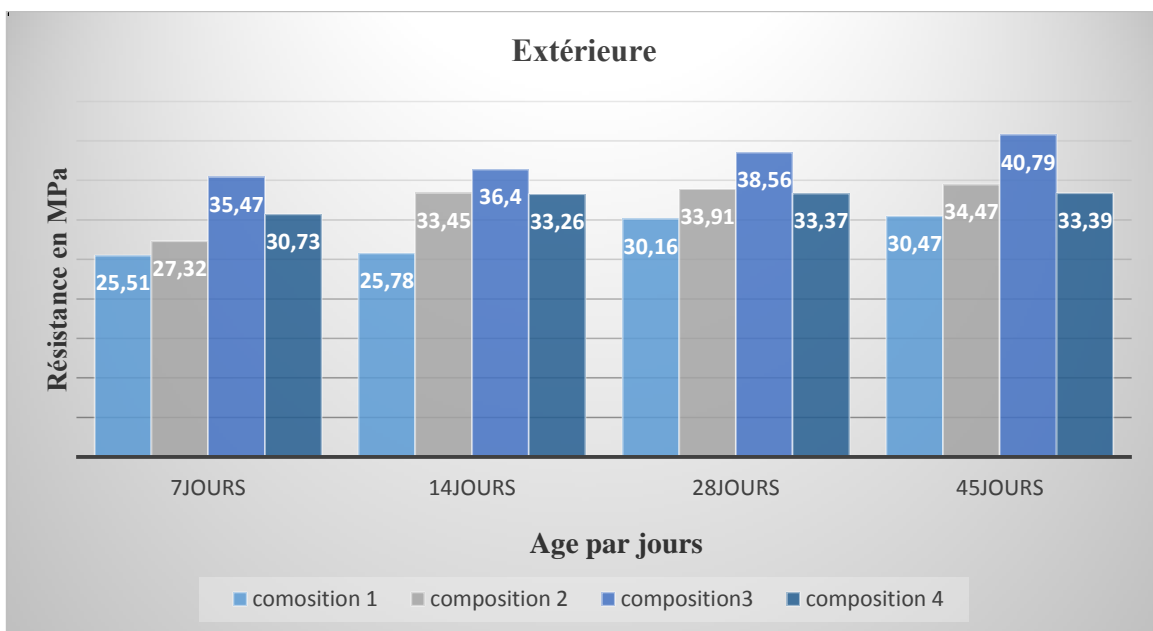


Figure 66 : Comparaison entre les quatre compositions de conservation intérieure.

### 7.3 Interprétations :

Nous remarquons après les figures 18 et 19 une augmentation de la résistance en fonction de temps dans les deux milieux.

Pour la composition 1 (100% SD), nous avons constaté qu'il y a un accroissement de la résistance à la compression pour les deux modes de conservation (intérieure et extérieure) en fonction de l'âge.

Pour la composition 2 On remarque que la résistance de la composition avec le ciment CEMII/B STG donné des résultats acceptables et élevée que celle de la composition1 avec le ciment CEMII/B 42,5N EL MATINE.

Pour la composition 3 (30% SD + 70% SC), nous avons constaté qu'il y a une augmentation de la résistance à la compression, par contre le premier mode et deuxième mode. On peut dire que la troisième composition montre une meilleure résistance par rapport la composition 1 et 2. Cette augmentation de résistance dans le composition 3 due à la correction de sable dune avec le sable concassé de 0/3 D, qui a permis d'évoluer la résistance.

D'après les résultats des propriétés mécaniques (compression) du béton obtenus pour l'ensemble des mixtures, la composition 3 affiche une nette amélioration, par rapport à la première et la deuxième composition à 45 jours, et cela dans tous les modes. Cependant, il faut signaler aussi, que les échantillons conservé dans laboratoire de 45 jours (intérieure), ont donné les meilleurs résultats.

Delà on peut dire que les échantillons conservé dans un milieu conservé ont affichés une amélioration de la résistance à la compression par rapport à ceux conservés dans un milieu sec (air libre).

Ceci est dû probablement au phénomène de l'évaporation d'eau, et que la procédure d'hydratation se poursuit sans interruption, contrairement au milieu sec où l'évaporation se fait d'une manière rapide, sans laisser suffisamment d'eau pour une hydratation normale.

Aussi cette différence dans les résultats peut être due à la granulométrie des sables. Cette influence peut être expliquée par la présence des vides à l'intérieur de la matrice, influant d'une manière négative sur la résistance mécanique du béton de sable.

Les échantillons conservés dans un milieu humide ont donné les meilleures résistances mécaniques.

Le climat sec influe négativement sur la résistance mécanique de béton. Ceci est dû à l'évaporation rapide d'une quantité d'eau des couches superficielles. Alors que dans le climat humide l'évaporation est limitée et la procédure d'hydratation se poursuit d'une manière continue, ceci veut dire que l'humidité joue un rôle primordial dans le développement de la résistance à la compression, même en présence d'une température élevée.

## 8. Comparaison entre les quatres compositions en fonction d'âge

### 8.1. La résistance dans sept jours

A travers les résultats de compression trouvée, on peut dire que au bout de 7 jours, la résistance mécanique atteint à peine 75 % de la résistance finale.

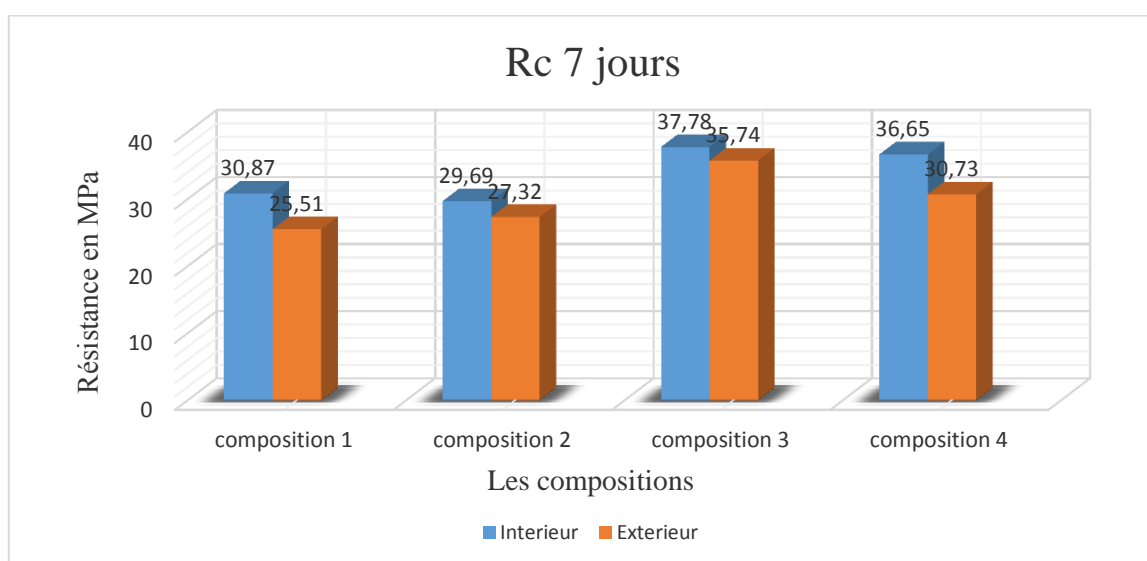


Figure 67: La variation de la résistance des quatre compositions en fonction de l'âge

## 8.2 La résistance dans 14 jours

A travers les résultats de compression trouvée, on peut dire que au bout de 14 jours, la résistance mécanique atteint à peine 80 % à 85% de la résistance finale. (Proche de 7j)

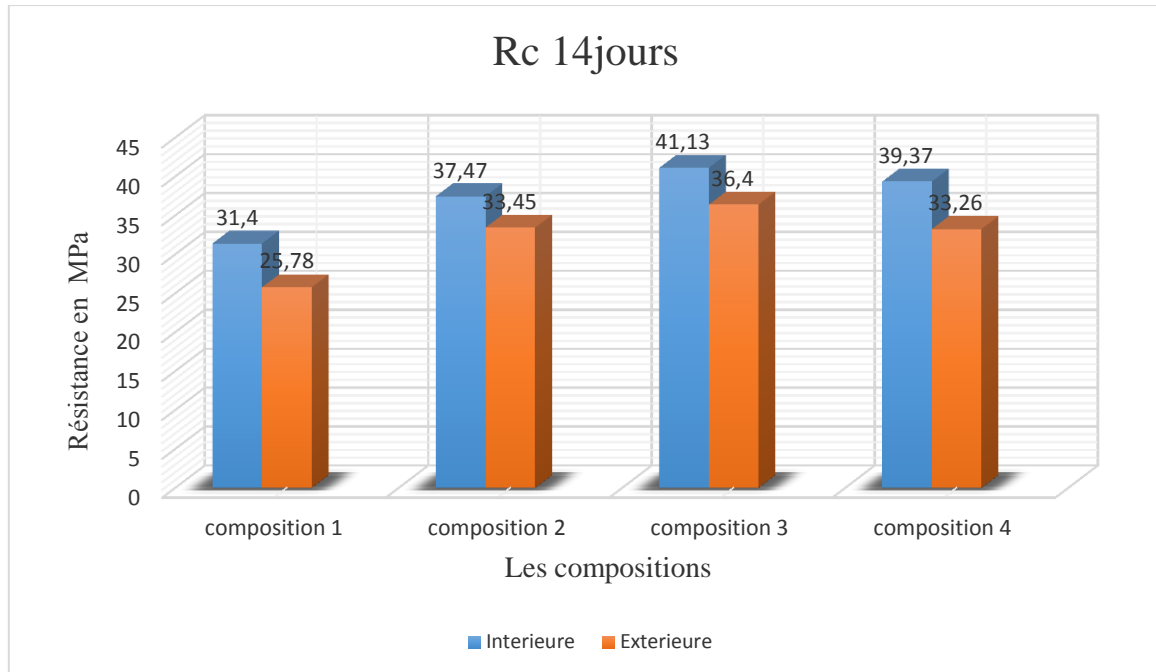


Figure 68 : La variation de la résistance des quatre compositions en fonction de l'âge

## 8.3 La résistance dans 28 jours

Outre la composition des bétons, la résistance en compression à 28 jours est la principale caractéristique utilisée pour faire la distinction entre les différents types de bétons. Elle permet de comprendre le processus de dégradation des bétons soumis à hautes températures de chaque composition.

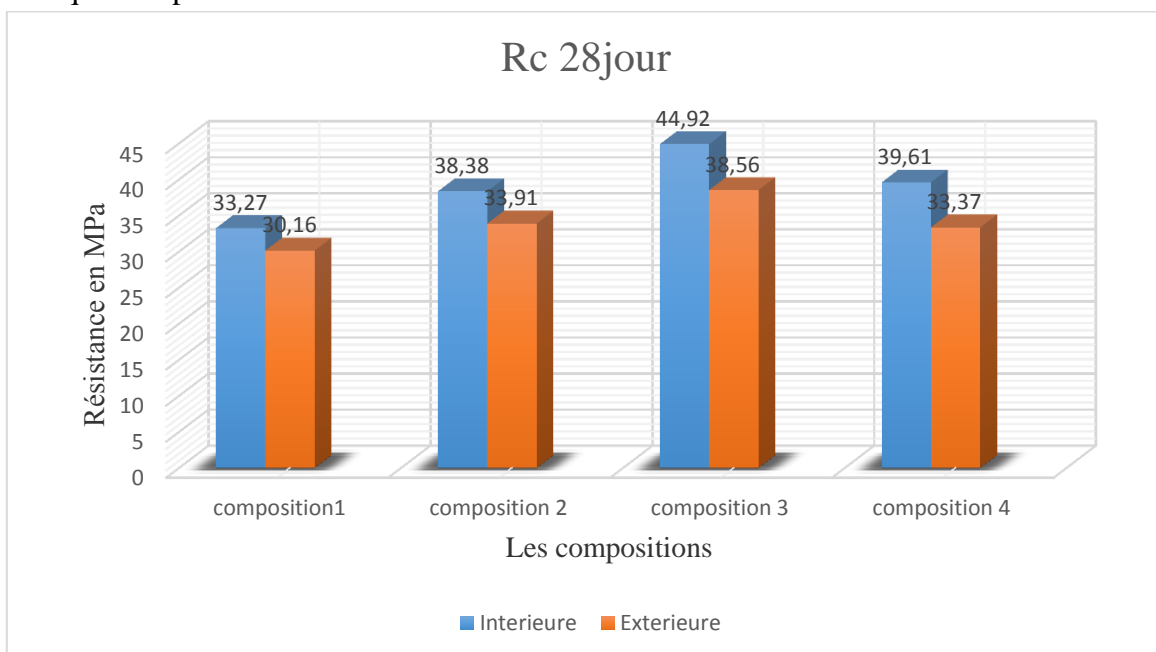


Figure 69 : La variation de la résistance des quatre compositions en fonction de l'âge

## 8.4 La résistance dans 45 jours

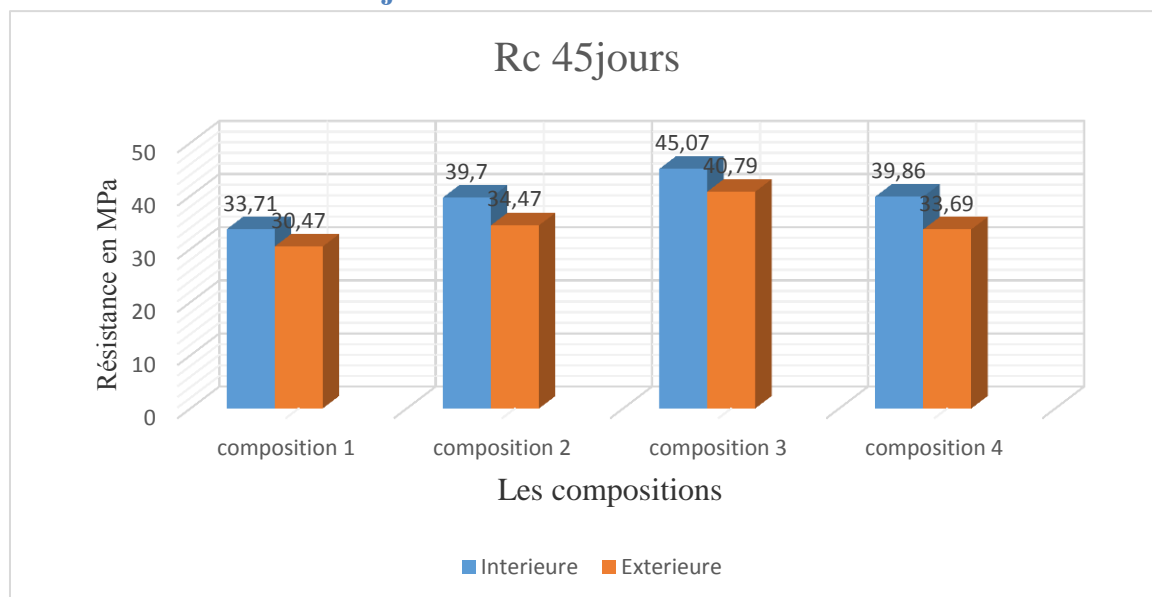


Figure 70 : La variation de la résistance des quatre compositions en fonction de l'âge

## 8.5 Interprétations :

Ces résultats consistent en l'étude de la relation entre les résistances mécaniques des bétons déterminées par les essais d'écrasement et l'influence de température aux différents âges (7, 14, 28 et 45 jours) de chaque composition dans les deux modes de conservation étudiée.

Les conditions climatiques influent sur la prise et le durcissement du béton. Lors la température est élevée la prise et le durcissement du béton sont plus rapide

La (figure 20) qui montre les relations entre les résistances de l'ensemble des bétons aux différents compositions à l'âge de 7 jours. La température constatée pour les quatre compositions dans la mise en œuvre est  $> 25\text{ C}^\circ$ . Donc se produit une accélération des temps de prise.

Nous avons remarqué des résultats de compression convenable dans les compositions 1 et 2, peut être causé de la qualité des constituants de mélange du béton. Aussi pour les compositions 3 et 4 qui sont donné des résultats supérieurs de celle précédente, en raison de la correction granulaire de sable de dune.

D'après la (figure 21) nous avons remarqué des résultats de compression donne des valeurs acceptables au sein de béton aux 14 jours dans les compositions 1 et 2, et ces valeurs étaient en croissance pour les compositions 3 et 4 dans les deux conditions de conservations.

A l'âge de 28 jours (figure 22) celui-ci intervient après sa prise et se poursuit pendant plusieurs semaines. On considère que le béton atteint sa résistance maximale pour les quatre compositions. Nous avons observé que la résistance mécanique des compositions effectué les meilleurs résultats (des valeurs optimal) pour les deux conditions malgré la perturbation de degré de température

Au bout de 45 jours est assez proches tandis qu'à 28 jours on a noté une certaine différence de 4% à 5% pour les deux conditions de conservation analysées. Donc le béton atteint sa résistance maximale.

Les bons résultats qui sont trouvée afin de la réalisation du béton avec 4 différentes compositions peuvent être causés par plusieurs facteurs :

-L'utilisation d'adjuvant à savoir : plastifiants sikaplast

- La qualité du ciment CEM II utilisé dans les mélanges
- Sable de dune Sali utilisé dans la confection du béton
- La correction de sable de dune avec un sable concassé
- l'utilisation des trois classes des graviers dans le mélange.
- la mise en œuvre du béton

## 9. Conclusion :

Ce chapitre regroupe l'ensemble des résultats expérimentaux pour les différentes formulations du béton. D'après les résultats obtenus, on peut dire que :

- La comparaison de tous les résultats de l'écrasement, il a été constaté que la composition optimale de l'amélioration par rapport au béton de référence avec 100% de sable de dune c'est la composition avec 30% de sable de dune SD et 70% de sable concassé SC).
- La quantité (pourcentage) de sable de dune influe sur la résistance mécanique de béton de sable.
- Les modes de conservation influent sur la résistance mécanique de béton de sable de dune.
- Plus la quantité de sable concassé est importante et plus la résistance à la compression augmente.

L'augmentation de la température dégrade les propriétés mécaniques du béton. En conclure que ce défaut de résistance peut être contourné en évitant le coulage aux heures les plus chaudes et en veillant à stocker à l'ombre les granulats. Une fois coulé, le béton doit être protégé pour éviter l'évaporation rapide de l'eau contenue dans le béton.





# Conclusion générale

## CONCLUSION GENERALE

Durant l'élaboration de ce travail et à partir des résultats et analyses, des conclusions et des recommandations peuvent être soulignés dans ce mémoire.

Cette étude entre dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux pour la réalisation d'un béton ordinaire.

Le premier objectif de la présente étude était d'apporter, de façon expérimentale, une meilleure compréhension du comportement des bétons ordinaires à base des matériaux locaux à hautes température dans la région de d'Adrar.

Ce travail a été réalisé par l'utilisation des plans d'expériences qui nous ont permis d'obtenir quatre différentes compositions du béton, où on a effectué un changement dans le type de béton, puis dans le sable utilisé, sachant que la composition de base de cette béton introduit le sable de dune de Sali et le sable concassé ainsi que les trois classes des graviers locaux ( 3/8, 8/15 et 15/25) approvisionnés de la carrière HARROUCHI, le ciment CEM II 42.5 de deux qualités, ciment STG (local) et EL Matine, un adjuvant Sikaplast plastifiant réducteur d'eau.

Les objectifs principaux de notre travail étaient, d'identifier les mécanismes élémentaires conduisant à la dégradation des bétons sous l'effet de la température en utilisant pour la formulation du béton la méthode Faury. Aussi, nous avons choisi les conservations des éprouvettes à l'intérieur et à l'extérieur, du laboratoire.

Les principaux points que nous pouvons retenir comme conclusion sont :

- Les résistances mécaniques des éprouvettes exposées au soleil sont inférieures à celles conservées à l'intérieur au niveau de laboratoire.
- Les bétons à base de sable de dune avec les trois classes de granulats donnent des valeurs de compression satisfaisantes.
- Parmi les dosages des bétons étudiés, on constate que le dosage de  $350 \text{ kg/m}^3$  donne les meilleures résistances à la compression avec des rapports E/C et G/S optimales.
- La correction du sable de dune par l'ajout de sable concassé dans la formulation du béton donne de très bons résultats à la compression.
- La composition 3 avec le pourcentage de 70% SC et 30% SD était le plus efficace en termes de résistance.
- Lors de la formulation des bétons, on remarque que la méthode de FAURY est la plus facile, plus utilisable dans les bureaux d'études et plus rapide que celle des autres méthodes
- Les super plastifiants contribuent à l'amélioration de la maniabilité et de la résistance des bétons pour les trois granulats étudiés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### Les livres

- [1] **Jean Festa, Georges Dreux** « Nouveau guide de béton et de ses constituants », édition Eyrolles, France, 2006
- [2] **Jean-Louis Granju** « Introduction au béton armé théorie et application courantes selon L'Eurocode 2 », édition afnor, France, 2012
- [3] **Damien Ricotier** « Dimensionnement des structures en béton selon l'Eurocode 2 », édition le Moniteur, France, 2012
- [4] **Naser-Edine Kedjour** « laboratoire du béton », édition office des publications universitaires imprimé en Constantine Algérie 2009
- [5] **Jean-Louis Granju** « Béton armé théorie et applications selon l'Eurocode2 », édition Eyrolles, France, 2011
- [6] **Ingénieur Arts et Métiers-CHEBAP** « Connaissance de béton » Edition Ginger formation 2013.
- [7] **Holcim, Suisse** « Guide pratique du béton », édition Suisse, 2015
- [8] **R. Dupain, J.-C. Saint-Arroman** « Granulats, sols, ciments et Béton », édition CASTEILLA, France, 2009
- [9] **Lucien Piskin** « La fabrication du ciment », édition Eyrolles, France, 1993
- [10] **Jean-Pierre OLLIVIER Angélique VICHOT** « Durabilité des bétons » Edition ATILH, France.

### Fiches techniques

- [11] **Jean- Michel Torrenti** « Comportement mécanique béton, études et recherches », laboratoires des ponts et chaussées, 2014
- [12] **Georges Dreux** « Béton hydraulique, les compositions du béton ».
- [13] **Cimbéton** « Les bétons : Formulation, fabrication et mise en œuvre »
- [14] **Dr. Ir. P. Boeraeve** « Cours de Béton armé » 12 mai 2011.
- [15] **Dr. A.MERDAS** « Cours de matériaux de construction II. U.F.A. de Sétif 2 », dans <http://ft.univ-setif.dz/externe/departements/gc/Chapitre-I-les-Betons-MDC-II.pdf>
- [16] 7<sup>ème</sup> édition des journées scientifiques : regroupement francophone pour le recherche et la formation sur le béton RF<sup>2</sup>B
- [17] Article bulletin de ciment « Bétonnage par temps chaud » <http://www.tfb.ch/Htdocs/Files/v/10364.pdf/Info/BulletinTFB2.2015Betonnagepartempschaud.pdf?download=1>
- [18] **M. GHOMARI F. & Mme BENDI-OUIS A.** SCIENCE DES MATERIAUX De CONSTRUCTION Travaux pratiques, 2007-2008
- [19] Granulats- Définitions, conformité, spécifications, indice de classement P 18-540
- [20] De Larrard 2000, « Structures granulaires et formulation des bétons », traduit de l'anglais par LECOMTE A, études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées, Paris, 414
- [21] fiche technique de « béton courant » <http://www.infociments.fr/telecharger/CT-G11.49-56.pdf> .

### Les thèses et mémoires :

- [22] **Abdellah MENOUE** « Etude du comportement thermomécanique bétons à haute température : approche multi échelles de l'endommagement thermique 2004 », université de France Toulouse. Thèse de doctorat.
- [23] **Melle Hadjadj Asmaa-Melle Khadir Fatima** « Etude de la reprise de bétonnage pour les bétons ordinaires et autobloquants », Université de Tlemcen 2017, mémoire de Master.
- [24] **Ayad Mohamed- Barka Yassine** « Modélisation des bétons ordinaires par des plans d'expériences », université de Tlemcen 2013. Mémoire de master.
- [25] **Tayebi M'hammed- Sila Saida** « Le comportement thermique et structurel du bâtiment sous les effets thermo mécanique dans un milieu aride », Université d'Adrar 2012. Mémoire de master.
- [26] **Hachemi Samya** « Etude du Comportement du béton soumis à haute température : Influence du type de béton et de la nature des constituants », université de Biskra 2015. Thèse du doctorat.
- [27] **AMOURI Chahinez** « Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires, Caractérisation, Performances, Durabilité », université de Constantine 2009. Thèse de doctorat.
- [28] **Toumi Belkacem** « Etude de l'influence des hautes températures sur le comportement du béton », Université de Constantine, thèse du doctorat.
- [29] **Van Thai NGUYEN** « Comportement des bétons ordinaires et à hautes performances soumis à haute température : application à des éprouvettes de grandes dimensions », Université CERGY-PONTOISE 2013, thèse du doctorat.
- [30] **Ben Ammer Benkhada** « Traitement naturel des mortiers et bétons destinés aux structures en béton préfabriqué », Université de Biskra 2006. Mémoire de magister
- [31] **Thomas POINOT** « influence des hydroxypropylguars sur les propriétés des mortiers de ciment à l'état frais ». Université de France 2013, thèse de doctorat
- [32] **BELHOCINE AIDA, NAGOUDI NADJAT**, « Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux », Juin 2014. Mémoire de master.
- [33] **AYACHI Amor Mohamed** « Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes » 2010/2011. Mémoire de master.
- [34] **Ethmane ouled Sidi Abdi Ouled Mohamed** « Etude du comportement mécanique des mortiers en climat chaud » 29 mai 2017. Mémoire de master
- [35] **BAIKER Mohamed Cherif**, « Contribution à l'étude des Caractéristiques physico-mécaniques d'une brique à base du sable des dunes et les copeaux de bois », Mai 2016.
- [36] **BEN AMMRAN Dounia Zed** « L'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton ». Université d'Ouargla 2017. Mémoire de master.

### Les sites web

- [37] [http://mfs0.cdnsweb.com/fs/Root/3muqg-6\\_1\\_1\\_03.gif](http://mfs0.cdnsweb.com/fs/Root/3muqg-6_1_1_03.gif)
- [38] <http://www.prc.cnrs.fr/spip.php?article92>
- [39] [http://images.slideplayer.fr/33/10163425/slides/slide\\_17.jpg](http://images.slideplayer.fr/33/10163425/slides/slide_17.jpg)
- [40]. <http://www.guidebeton.com/>
- [41] <https://travauxbeton.fr/dosage-beton-350-kg-m3/>
- [42] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Slump\\_test.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Slump_test.png)
- [43] [https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSPFNnih0XSOZ\\_kAwk17yT2F5M5y1FU98x9gqyFdv5Tmnb\\_gyb](https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSPFNnih0XSOZ_kAwk17yT2F5M5y1FU98x9gqyFdv5Tmnb_gyb)

[44]<http://forum.ashefaa.com/archive/index.php/t-65791.html>

[45][https://fr.wikipedia.org/wiki/Sali\\_\(Adrar\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sali_(Adrar))

[46]<https://www.anulab.com/es/product/1712806/accessories-for-analytical-sieve-machines-haver-eml-200-premium>

[47]<http://www.geniecivilfrance.com/2017/02/compte-rendu-tp-mdc-masses-volumiques.html>

### **Les normes :**

- NF EN 934-2 :norme européenne, français Adjuvants pour béton, mortier et coulis
- XPP 18-540 : AFNOR Les granulats, spécifications, Définitions, 01 XPP 18-540 ;10/1997.
- NF EN 1008 Eau d gâchage :Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton, 05/07/2003.
- NF P 18-560 L'analyse granulométrique : Analyse granulométrique par tamisage, 09/1990. • NF P 18 304 Module de finesse.
- NF P 94-061 La masse volumique absolue et apparente :détermination de la masse volumique d'un matériau en place Partie 1 : Méthode au gamma densimètre à pointe (à transmission directe, 05/10/1996.
- NF P 18-597 Equivalent de sable : Détermination de la propreté des sables : équivalent de sable à 10 % de fines.
- NF EN 12620 Granulats pour béton.
- NFP18-555 Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.
- NF P 18-451 12/1981, L'essai d'affaissement.
- NF P 18-404. Essais d'étude, de convenance et de contrôle ; Confection et conservation des éprouvettes
- NF EN 12390-4 Partie 4 : Résistance en compression Caractéristiques des machines d'essai.

**Annexe**

# Annexe I : Fiche Technique Adjuvant Plastifiant

Construction

Notice technique  
Edition Janvier 2012  
Notice n° 1.19  
Version n° 01.2012  
SIKAPLAST® BV 40 +

## SIKAPLAST® BV 40 +

Plastifiant/Réducteur d'Eau pour hautes résistances mécaniques.

Conforme à la norme NF EN 934-2 tab. 1 et 2

<b>Présentation</b>	SIKAPLAST® BV 40 + est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron.
<b>Domaines d'application</b>	<p>SIKAPLAST® BV 40 + permet d'obtenir des bétons plastiques ayant de fortes résistances mécaniques à court et à long terme.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ bétons à hautes performances,</li> <li>■ bétons précontraints,</li> <li>■ bétons préfabriqués étuvés.</li> <li>■ bétons avec des granulats concassés,</li> <li>■ bétons retarder en surdosage.</li> </ul> <p>Pour les bétons étanches, le SIKAPLAST® BV 40 + diminue l'absorption capillaire des bétons et augmente leur compacité. Il permet donc de réduire la pénétration de l'eau et peut être utilisé dans les cas suivants: bétons enterrés, réservoirs, piscines, etc.</p> <p>A dosage élevé, le SIKAPLAST® BV 40 + augmente le temps de prise du béton. La température jouant un rôle important, il est bon de procéder à des essais.</p> <p>Le SIKAPLAST® BV 40 + est compatible avec nos entraîneurs d'air SIKA AER et SIKA AER5. Cette combinaison conduit à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ l'amélioration des résistances aux cycles gel-dégel,</li> <li>■ la possibilité de coulage en continu (béton extrudé, béton routier),</li> <li>■ l'amélioration des résistances de tous bétons situés dans les zones de marnage.</li> </ul>

<b>Caractères généraux</b>	<p>SIKAPLAST® BV 40+ est un plastifiant réducteur d'eau à haute performance qui confère au béton les propriétés suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ haute réduction d'eau,</li> <li>■ maintien prolongé de la rhéologie,</li> <li>■ robustesse vis-à-vis de la ségrégation,</li> <li>■ bel aspect de parement au décoffrage.</li> </ul>
----------------------------	--

### CLASSIFICATION 3R



RHÉOLOGIE	RÉSISTANCES INITIALES	RÉDUCTION D'EAU
4	2	3

### Caractéristiques

<b>Aspect</b>	Liquide marron
<b>Conditionnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bidon de 5 kg</li> <li>■ Bidon de 10 kg</li> <li>■ Fût de 220 kg</li> <li>■ Cubitenaire de 1000 kg</li> </ul>





<b>Stockage</b>	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Le produit peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
<b>Conservation</b>	Un an dans son emballage d'origine intact
<b>Données techniques</b>	
densité	1,040 ± 0,015
pH	4,7 ± 1
Teneur en ions Cl <sup>-</sup>	≤ 0,1 %
Teneur en Na <sub>2</sub> O Eq.	≤ 0,5 %
Extrait sec	11.5 ± 1,5 %
<b>Conditions d'application</b>	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,3 à 1,5 % du poids de liant selon les performances recherchées. Dosage usuel du SIKAPLAST® BV40 +: 0,3 % à 1 %.
Mise en œuvre	SIKAPLAST® BV 40 + est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.
<b>Mentions légales</b>	Produit réservé à un usage strictement professionnel. Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair  
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus  
Alger/ ALGERIE  
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84  
213 (0) 21 50 16 92 à 95  
Fax: 213 (0) 21 50 22 08





## Annexe II : Analyse Chimique de l'Eau de Gâchage (ANRH)



وزارة الموارد المائية  
MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU

الوكالة الوطنية للموارد المائية  
AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES  
Créé par décret N° 81 / 167 du 25 juillet 1981 - Compte Trésorerie d'Alger N° 402.003.221

Demandeur : ETUDIENTE  
Analyse demandée : A.F  
Date de réception : 02-05-2018  
N° de laboratoire : 4878  
EAU DE ROBINET  
UNIVERSITE  
ADRAR

Designation :

## RESULTATS D'ANALYSES

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	RESULTATS	NORMES DE POTABILITE	MINERALISATION GLOBALE	RESULTATS	NORMES DE POTABILITE
PH	7.57	$\geq 6,5$ et $\leq 9$	Calcium Ca++ mg/l	80	200.00
Conductivité ms/cm	1.36	2.80	Magnes. Mg++ mg/l	33	150.00
Turbidité eau brute NTU	-	5.00	Sodium Na+ mg/l	160	200.00
Turbidité eau déc. NTU	-		Potass. k+ mg/l	7	12.00
Residu sec à 110° C mg/l	850.00	1500.00	Chlorure Cl- mg/l	214	500.00
Temperature °C	-	25.00	Sulfate SO4-- mg/l	228	400.00
PARAMETRES DE POLLUTION	RESULTATS		Bicarbon. HCO3- mg/l	162	-
			Carbonate CO3-- mg/l	0	-
Oxygène Dissous mg/l	-		Silice SiO2 mg/l	-	-
Ammonium NH4+ mg/l	1.020	0.50	TH ° F	33	-
Nitrite NO2- mg/l	0.000	0.20	TAC ° F	13	-
Nitrate NO3- mg/l	22.78	50.00	TA ° F	0	-
O.phosphate PO4- mg/l	0.000	0.50	Minéralisation mg/l	843	-
Mat. Ox.(mil. Ac.) mg/l O2	1.40	5.00	Somme des ions mg/l	906	-
Fer mg/l	-	0.30	F- mg/l	-	-

## INTERPRETATION :

Eau minéralisée de bonne qualité physico-chimique  
le prélèvement a été fait par le demandeur

CHEF DU LABORATOIRE



FICHE TECHNIQUE	
<b>MATINE</b> Ciment pour béton exigeant <small>CEM II/A-42,5 R NA-442</small>	<p>MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.</p> <p>Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO<sub>2</sub>) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et le fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°C. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.</p> <p>MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformement à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .</p> <p><b>Domaine d'utilisation :</b></p> <p>MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.</p> <p>Les principales applications de ce ciment sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) ;</li> <li>➤ Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) ;</li> <li>➤ Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;</li> <li>➤ Secteur industriel.</li> </ul>

Ciment Blanc Algérien (SPA)  
 33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie  
 Tél. : +213 (0) 21 48 16 65  
 Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Réf : DC/FT MT.C v01

Usine Oggaz (CiBA)  
 BP 67, 29350, Mascara  
 Tél. / Fax : +213 (0) 45 84 88 98



<b>FICHE TECHNIQUE</b>		
<b>MATINE</b> Ciment pour béton exigeant CEM III/A 42.5 R NA 442	<b>Analyses et caractérisation</b>	
	<b>Analyses chimiques</b>	
	Perte au feu (%), (NA 5042):	8.00 – 10.00
	Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 1,5
	Teneur en sulfates SO <sub>3</sub> (%), (NA 5042):	2.10 – 2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%):	1,00 – 1,30
	Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,03
	<b>Composition hypothétique du clinker (Bogue)</b>	
	Silicates tricalciques C <sub>3</sub> S (%):	55.00 – 62.00
	Silicates bicalciques C <sub>2</sub> S (%):	13.00 – 22.00
	Aluminates tricalciques C <sub>3</sub> A (%):	6,50 – 8,20
	Aluminoferrites tetracalciques C <sub>4</sub> AF (%):	10,00 – 13,00
	<b>Propriétés physiques</b>	
	Consistance normale de la pâte de ciment (%):	25,5 – 28,00
	Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231):	4 300 – 4 800
	Retrait à 28 jours en µm/m	<1 000
	Expansion en mm	0,5 - 1,5
	<b>Temps de prise à 20°C (NA 230)</b>	
	Début de prise (min)	160 - 209
	Fin de prise ( min)	205 - 270
<b>Résistance à la compression (NA 234)</b>		
02 jours (Mpa)	18,00 – 22,00	
28 jours (Mpa)	≥ 42.5	

Réf : DC/FT MT.C v01

Ciment Blanc Algérien (SPA)  
 33, Rue des Pins, Hydra, Alger, Algérie  
 Tél. : +213 (0) 21 48 16 65  
 Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Usine Oggaz (CiBA)  
 BP 67, 29350, Mascara  
 Tél. / Fax : +213 (0) 45 84 88 98