

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

UNIVERSITE d'ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TECHNOLOGIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN GENIE CIVIL

OPTION : CONSTRUCTION CIVILES ET INDUSTRIELLES

Thème

**L'effet des Adjuvants(Superplastifiant) sur le
Comportement mécanique du béton ordinaire
-Application la méthode de FAURY-**

Soutenu le :

Présenté par :

ABID CHAREF AMAR

Président du jury

Pr KKELOFI Hamid

Univ.d'ADRAR

Encadré par :

Mr BADA Abdelmalek
Univ.d'ADRAR

Examineurs

Mr BASSOUD Abdelkader

Univ.d'ADRAR

Mr AKACEM Mustapha

Univ.d'ADRAR

Mr BENABDELATAH Mohamed

Univ.d'ADRAR

Promotion 2015/2016

DEDICACES

A mes très chers parents qui m'ont tant soutenue et sans eux rien de ce que j'ai réalisé aujourd'hui n'aurait été possible. Aucun mot ne pourrait exprimer ma gratitude et mon amour...

«**Ma mère, mon père merci**»

Mes frères et mes sœurs.

Tous les membres de ma famille.

Tous mes voisins de wilaya de Constantine.

Toutes les personnes pour nous avoir supportées, soutenues, encouragées tout au long de ces années d'études.

Tous les étudiants et les étudiantes de l'université d'Adrar

AMMAR

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers tous ceux qui nous ont apporté soutien et réconfort tout au long de nos études ainsi qu'à l'occasion de la réalisation de ce modeste travail de recherche.

Nous remercions particulièrement le :

BADA Abelmalek qui a bien voulu nous encadré

Nous tenons surtout à remercier de notre fond du cœur.

Monsieur BEN HASSAN Youssef Directeur des études et des stages au niveau
DE L.E.C.T et Aussi Labo ARTS EL HAMEL à ADRAR

Nos enseignants département de Génie Civil de L'université d'Adrar.

Tous les étudiants qui ont accepté de participer à l'enquête de notre travail et
qui nous ont apporté toute leur expérience

Tout le personnel de L'université d'Adrar.

pour sa bienveillance, sa patience et sa sollicitude durant ce travail
d'encadrement et de supervision.

Nous remercions aussi les jury.

SOMMAIRE

Sommaire

Titres	Pages
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1 INTRODUCTION	05
I.2. Le Béton	06
I.2.1. Définition	06
I.2.2. Types de bétons	07
I.2.2.1. Leur destination	07
I.2.2.2 Leur masse volumique	07
I.2.2.3. Leur granularité	08
I.2.2.4. Leur consistance (cône d'Abrams)	08
I.2.2.5. Leur résistance à la compression sur cylindre fck	08
I.2.3. Propriétés du béton	08
I.2.3.1. Propriétés du béton frais	09
I.2.3.1.1. Affaissement au cône d'Abrams	09
I.2.3.1.2. La masse volumique du béton frais	10
I.2.3.2. Propriétés du béton durci	11
I.2.3.2.1. Résistance à la compression	11
I.2.3.2.2. Resistance à la traction par flexion	12
I.2.4. Composants d'un béton	12
I.2.4.1. La pâte du ciment	12
I.2.5. Ciment	13

SOMMAIRE

I.2.5.1. Le Ciment Portland	13
I.2.5.2. Nomenclature Chimique des Ciments	13
I.2.5.3. Composition des Ciments Portland	14
I.2.5.4. Principaux Types de Ciment Portland	14
I.2.5.5. Classification Suivant les Résistances à la Compression	16
I.2.6. Les Granulats :	16
I.2.6.1. Définition :	16
I.2.6.2. Production des granulats	18
I.2.6.3. Classification des granulats	19
I.2.6.4. Caractéristiques	20
I.2.6.4.1. Caractéristiques de fabrication	20
I.2.7. L'eau de Gâchage	21
I.2.7.1. Aptitude à l'emploi	22
I.3. Les Adjuvants	22
I.3.1 Historique	22
I.3.2 Définition	22
I.3.3. Mode d'Action	23
I.3.4. Fonctions	23
I.3.5. Fonction Principale	23
I.3.6. Fonction secondaire	23
I.3.7. La Réaction d'hydratation	24
I.3.8. Classification des Adjuvants Selon leurs Efficacités	24
a. Les Adjuvants d'Ouvrabilité	24
a.1. Adjuvants réducteurs d'eau (plastifiant)	24
a.1.1 Domaines d'Utilisation les Adjuvants Plastifiants	24

SOMMAIRE

b.1. Adjuvants réducteurs d'eau de haute efficacité (Superplastifiant)	24
b.1.1. Domaines d'Utilisation les Adjuvants Superplastifiant	25
b.1.2. Compatibilité Ciment-Superplastifiant	25
b.1.3. Interaction Ciments-Superplastifiant	26
b.1.3.1 Influence du Dosage en Superplastifiant	26
c. Les Adjuvants Entraîneurs d'Air	26
c.1. Domaine d'Utilisation les Adjuvants Entraîneurs d'Air	26
d. Les Adjuvants Accélérateurs de Prise et de Durcissement	27
d.1 Domaine d'Utilisation les Adjuvants Accélérateurs de Prise et de Durcissement	27
e. Les Adjuvants Retardateurs de Prise	27
e.1. Domaine d'Utilisation les Adjuvants Retardateurs de Prise	27
f. Les Adjuvants Hydrofuges	28
I.3.9. AUTRES CONSTITUANTS	28
a. Les additions minérales	28
b. Additions Calcaires	28
c. Cendres volantes pour béton	28
d. vitrifié moulu de haut fourneau	29
e. Fumées de silice	29
f. Ajouts	29
I.4. Formulation du Béton	29
I.4.1. Méthodes Semi-Empiriques	30
a. Méthode de Bolomey	30
b. Méthode de FAURY	30
c. Méthode de Valette	31
I.4.2. Méthodes Graphiques	31

SOMMAIRE

a. Méthode de Gorisse Dreux	31
I.5. Conclusion	32
CHAPITRE II : PARTIE EXPERIMENTALE	
II.1 INTRODUCTION	34
II.2. Les activités du laboratoire	34
II.3. Les Fonctionnements de LECT	34
II.3.1. Domaine Géotechnique, mécanique des sols et matériaux	34
II.3.2. Domaine de Contrôle Routier	35
II.3.3. Les Echantillons Des Granulats Soumise Aux Essais Sont Suivant	35
II.3.3.1. Les Méthode D'essais Et D'analyses	35
1. Essais D'identification Sur Les Granulats	35
2. Essais Sur Le Béton Frais	35
3. Essai Sur Béton Durci : Nf-P 18-554	35
II.4. Détermination des propriétés principales des constituants du matériau de béton	36
II.4.1. Les Agrégats	36
II.4.1.1. Introduction et définitions	36
II.4.1.2. Gravier	36
II.4.1.2.1. Classification de gravier	36
II.4.1.3. Sable	36
II.4.1.3.1. Caractéristiques de sable et des graviers	37
II.4.1.3.2. La propreté du sable	37
II.4.1.3.2.1 But de l'essai de L'Equivalent de sable	37
II.4.1.3.2.2 Matériel utilisé pour l'essai de l'équivalent de sable	37
II.4.1.3.2.3 Préparation de l'échantillon	37

SOMMAIRE

II.4.1.3.2.4 L'Essai de L'Equivalent de sable	38
II.4.1.3.2.5 Interprétation des résultats et qualité du sable	38
II.4.1.3.3. Module de finesse	38
II.4.1.3.4. L'analyse granulométrique	39
II.4.1.3.4.1. Définition	39
II.4.1.3.4.2. But de l'essai de L'analyse granulométrique	39
II.4.1.3.4.3. Le Principe l'essai	39
II.4.1.3.4.4. Appareillage utilisé	40
II.4.1.3.4.5. Mode opératoire de l'essai de L'analyse granulométrique	40
II.4.1.3.4.6. Présentation des résultats	40
II.4.2 Le Ciment	41
II.4.3. L'Eau de gâchage	41
II.4.3.1. Quantité d'eau à utiliser	41
II.5. Caractéristiques Physiques Des Granulats	41
II.5.1 Masse Volumique	41
II.5.1.1 But de l'essai	41
II.5.1.2. Type De Masse Volumique	42
II.5.1.2.1. Masse Volumique Apparente	42
II.5.1.2.1.1. Appareillage	42
II.5.1.2.1.2. Mode opératoire de la Masse Volumique Apparente	42
II.5.1.2.2 La Masse Volumique Absolue	43
II.5.1.2.2.1 Mode opératoire	43
II.6. L'Essai sur le béton frais	43
II.6.1 Essai de l'affaissement au cône d'Abrams (NF P 18-451)	43
II.6.1.1 But de l'essai de l'affaissement de béton	43

SOMMAIRE

II.6.1.2 Principe de l'essai de l'affaissement de béton	44
II.6.1.3 Appareillage Essai de l'affaissement au cône d'Abrams	44
II.6.1.4 Mode opératoire de L'Essai de l'affaissement	44
II.6.2 L'Essai de L'écrasement des éprouvettes du béton	45
II.6.2.1 L'écrasement des éprouvettes	45
II.6.2.2 L'objectif de l'essai	45
II.6.2.3 Principe de l'essai de L'écrasement des éprouvettes du béton	45
II.6.2.4 Matériaux et matériels nécessaires	45
II.6.2.5 Mode opératoire l'essai de L'écrasement des éprouvettes du béton	46
II.7. L'étude Du Composition D'un Béton	46
II.7.1. La Méthode DE FAURY	47
II.7.1.1 Détermination du D_{max}	47
II.7.1.2. Détermination du point de brisure (pour la courbe de référence)	47
II.7.1.3 Détermination de la quantité d'eau théorique	48
II.7.1.4 Détermination du volume absolu de béton sec	48
II.7.1.5 calcul de pourcentage de ciment : dosage 350 kg/m^3	48
II.7.1.6 volume de ciment V_c	48
II.7.1.7 pourcentage du ciment	48
II.7.1.8 Détermination des pourcentages de granulats d'après la courbe de référence	48
II.7.1.9 Détermination de pourcentage de ciment	49
II.8. L'ESSAI N° 01 : Analyse Granulométrique	49
II.9. Les Adjuvant	57
II.10. L'ESSAI N° 01 : Caractéristique chimique des granulats	58
II.11. L'ESSAI N° 02 : Equivalent de Sable	58
II.12. L'ESSAI N° 03: La masse volumique Absolue et Apparente	59

SOMMAIRE

II.13. L'ESSAI N° 04	59
II.13.1. Composition de béton par la méthode de FAURY	59
II.13.2. Composition de béton pour le dosage 350 kg/m ³	59
II.13.3. Dosage de granulats	59
II.13.4 Détermination du <i>D_{max}</i>	59
II.13.5. Détermination du point de brisure (pour la courbe de référence)	59
II.13.6. Détermination de la quantité d'eau théorique	60
II.13.7. Détermination du volume absolu de béton sec	60
II.13.8. calcul de pourcentage de ciment : dosage 350 kg/m ³	60
II.13.9. volume de ciment V _c	60
II.13.10. pourcentage du ciment	60
II.13.11. calcul de pourcentage du sable et gravier (3/8) ;(8/15) ; (15/25)	60
II.13.12. Détermination de pourcentage de ciment	61
II.14. Conclusion	63
CHAPITRE III : LES RESULTATS DES ESSAIS	
III.1.INTRODUCTION	65
III.2.L'affaissement de Béton et le Rapport E/C	65
III.2.1.La Résistance de béton réussis à l'application de cette formulation sans Adjuvant	66
III.2.2.La Résistance réussis à l'application de cette formulation avec L'Adjuvant MasterGlenium ^R 26	66
III.2.3.La Résistance réussis à l'application de cette formulation avec L'Adjuvant MasterGlenium SKY 841	67
III.2.4.La Résistance réussis à l'application de cette formulation avec L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R	68
III.3. CONCLUSION	71
CONCLUSION GENERALE	73

SOMMAIRE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	75
ANNEXES	78

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Titres	Pages
Tableau I.1: Types de béton en fonction de leur destination	07
Tableau I.2 : Types de béton en fonction de leur masse volumique	07
Tableau I.3: Types de béton en fonction de Dmax	07
Tableau I.4: Types de béton en fonction de leur consistance	08
Tableau I.5: Classes de résistance à la compression	08
Tableau I.6. Principaux Constituants du Ciment Portland	14
Tableau I.7 : Composition des Différents Ciments Selon la Norme EN 197-1	15
Tableau I.8 : Résistance à la compression des ciments	16
Tableau I.9 : Valeur de Coefficient A	30
Tableau II.1 : Résultats et qualité du sable	38
Tableau II.2 : appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône d'abrams	45
Tableau II.3 : Analyse Granulométrique de Sable	49
Tableau II.4 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 3/8	50
Tableau II.5 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 8/15	51
Tableau II.6 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 15/25	52
Tableau II.7 : Analyse Granulométrique de mélange.	54
Tableau II.8 : caractéristiques de L'Adjuvant MastreGlenium 26	57
Tableau II.9 : caractéristiques de L'Adjuvant MastreGlenium SKY 841	57
Tableau II.10 : caractéristiques de L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R	57
Tableau II.11 : Composition Du Béton En Poids Et Volumes Apparents.	62
Tableau III.1 : L'affaissement Du Béton et le Rapport E/C	65
Tableau III.2 : La Résistance du béton sans Adjuvant à l'âge de 07 jours	66
Tableau III.3 : La Résistance du béton sans Adjuvant à l'âge de 28 jours	66
Tableau III.4 : La Résistance du béton avec L'Adjuvant MasterGlenium ^R 26 a l'âge de 07 J.	66
Tableau III.5 : La Résistance du béton avec L'Adjuvant MasterGlenium ^R 26 a l'âge de 28 J.	67
Tableau III.6 : La Résistance du béton avec L'Adjuvant MasterGlenium SKY 841 à l'âge de 07 J	67
Tableau III.7 : La Résistance du béton avec L'Adjuvant MasterGlenium SKY 841 à l'âge de 28 J	68
Tableau III.8 : La Résistance du béton avec L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R à l'âge de 07 J.	68
Tableau III.9 : La Résistance du béton avec L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R à l'âge de 28 J.	68
Tableau III.10 : Les valeurs de résistance du béton avec et sans adjuvant en %.	69

SOMMAIRE

Liste des figures

Titres	Pages
Figure I.1 : Structure hétérogène du béton.	06
Figure I.2 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams	09
Figure I.3 : Mesure de l'affaissement.	10
Figure I.4 : Béton frais	11
Figure I.5 : Composition du Béton.	12
Figure I.6 : différents Constituants des ciments.	13
Figure I.7: Photos des différents types de granulats.	17
Figure I.8 : Les deux types de granulat en fonction de forme.	18
Figure I.9 : Les différentes étapes de production des granulats.	19
Figure I.10: Les différentes classes de granulats.	20
Figure I.11:Table vibrante et les tamis (essais de granulométrie).	21
Figure I.12: Des adjuvants.	23
Figure I.13 : Des ajouts (colorant fibres chanvre)	29
Figure II .1 : Laboratoire étude et contrôle technique (LECT)	34
Figure II. 2 : Organigramme de Laboratoire étude et contrôle technique(LECT)	35
Figure II.3 : Gravier de Concasseur GAROUT.	36
Figure II.4 : Sable de dunes D'ouled Abou Commune Daldoul Adrar.	37
Figure II.5 Les Etapes de mesure les hauteurs de L'essai équivalent de sable	38
Figure II.6 Analyse granulométrique de sable et de gravier	40
Figure II.7:Notation de la masse des granulats	42
Figure II.8 : Eprouvette pour la masse volumique	43
Figure II.9 : Appareillage cône d'Abrams	45
Figure II.10 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams	45
Figure II.11 : Appareillage de l'essai d'écrasement	45
Figure II.12 : Etape d'essai la préparation et de confection du béton.	46
Figure II.13 : Etape d'écrasement du béton.	46
Figures II.14 : Analyse Granulométrique de Sable	50
Figures II.15 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 3/8	51
Figures II.16 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 8/15.	52

SOMMAIRE

Figures II.17 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 15/25.	53
Figures II.18 : Analyse Granulométrique de mélange.	55
Figures II.19 : Etude de composition du béton par la méthode de FAURY.	56
Figure III.1: Histogramme du béton ordinaire sans Adjuvant et avec les trois (03) Adjuvants.	69

LISTE DES NOTATIONS ET DES ABREVIATIONS

L.E.C.T	Laboratoire Etude et Contrôle Technique.
d	Diamètre petite grains.
D	Diamètre grand grains.
M	Masse de l'échantillon.
R _f	La masse de refus.
g	Gramme.
Kg	Kilo Gramme.
Mm	Millimètre.
CU	Coefficient d'uniformité.
CC	Coefficient de courbure.
ρ	Masse volumique.
ρ_{app}	Masse volumique apparent.
M ₀	La masse de récipient propre et à vide.
M ₁	La masse de récipient remplis.
ρ_{abs}	Masse volumique absolue.
V ₁	Volume initiale d'eau.
V ₂	Volume d'eau après l'ajout d'échantillon.
D ₁	1 ^{er} Ø du gravier (diamètre théorique de l'analyse granulométrique).
D ₂	2 ^e Ø du gravier (diamètre juste inférieur à D ₁).
MF	Module de finesse.
ES	Equivalent de Sable.
y	La différence du % passant entre % D ₁ et le % D ₂ .
x	100% - (100% de D ₁) : La différence du % passant entre 100% et celui D ₁ .
Y	en % sur l'ordonné du point de brisure (pour la courbe de référence).
X	en mm sur l'abscisse du point de brisure (pour la courbe de référence).
D _{max}	Diamètre max du granulas.
A	constante, traduisant la maniabilité du béton et choisi à partir du tableau de FAURY.
E	Quantité d'eau théorique.
K	Coefficient dépendant des agrégats, de la consistance et de mise en place du béton.
V _a	Volume absolue du béton sec ou volume des grains solides.
V _c	volume de ciment.
C %	Pourcentage de ciment dans le volume de béton sec.
S %	Pourcentage de sable.
d _s	Densité du sable.
G %	Pourcentage de gravier.
d _G	Densité du gravier.

$\% C$	Pourcentage de ciment.
d_C	Densité du ciment.
Φ_{int}	Diamètre d'éprouvette.
h	Hauteur d'éprouvette.
H_1	Niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette.
H_2	Hauteur jusqu'au sable sédimenté à l'aide de piston ou la règle.
f_{ck}	résistance à la compression sur cylindre
f_{ck-cyl}	la résistance caractéristique mesurée sur cylindres
$f_{ck-cube}$	la résistance caractéristique mesurée sur cubes.

INTRODUCTIONS GENERALE

Introductions générale

I.1 Introductions générale

Le matériau béton a connu plus d'un siècle de développement et d'emploi. Du béton traditionnel à quatre constituants (ciment, eau, sable et gravillon), on en est venu à formuler des bétons complexes dont les constituants sont aujourd'hui de taille et de nature très variables, grâce aux progrès dans la formulation. Depuis les années 80, on note l'apparition de nouveaux bétons, destinés à satisfaire des besoins divers: le bétonnage sans vibration (avec les bétons autoplaçants, voire les bétons autonivelants) ; de hautes résistances en compression (bétons à hautes ou très hautes performances), en traction (bétons de fibres métalliques et bétons fibrés ultra-performants)... Rien ne permet de prédire la fin de cette liste, car des bétons de caractères particuliers font toujours l'objet de recherches.

Le béton fait partie de notre cadre de vie, Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance à la composition de béton, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects.

Le béton utilise dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprennent plusieurs catégories. Le béton est l'un des matériaux le plus utilisé dans le domaine de la construction, ces performances ne cessent de s'améliorer, en l'occurrence les résistances mécaniques et la durabilité.

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences.

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées (méthode de FAURY, méthode de BOLOMEY, méthode d'ABRAMS, méthode de VALLETTE, méthode de joisel , méthode de G.DREUX ...etc.)

On notera qu'une étude de composition de béton doit toujours être contrôlée expérimentalement et qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier.

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

- Le béton doit présenter, après durcissement, une certaine résistance à la compression.
- Le béton frais doit pouvoir facilement (la maniabilité, l'ouvrabilité, l'affaissement), être mis en œuvre avec les moyens et méthode utilisées sur le chantier.
- Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important.

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5%, en masse du poids de ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et / ou à l'état durci.

Introductions générale

Toutefois, la course aux performances dans le domaine du béton n'a pas été suivie par un approfondissement équivalent des connaissances sur le rôle des adjuvants dans les mélanges cimentaires.

Les formulations des bétons à hautes performances résultent pour l'essentiel d'une approche empirique basée sur des tâtonnements en laboratoire et de ce fait, plusieurs échecs ont été essuyés lors de la mise en œuvre de ces bétons sur chantier. Par ailleurs, l'absence d'une méthode de formulation rationnelle empêche une optimisation des quantités relatives des différents constituants entraînant le plus souvent des surcoûts préjudiciables.

Dans ce contexte, l'utilisation pratique des bétons à hautes performances n'a pu obtenir qu'une part relativement marginale dans le marché global du béton. De plus, les transferts technologiques vers les bétons courants ont été sensiblement limités.

En proposant d'étudier l'utilisation des adjuvants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons nous souhaitons contribuer à dégager des règles pour la maîtrise de cette utilisation sur des bases rationnelles. Car, outre la réponse aux besoins technologiques évidents, l'utilisation des adjuvants dans les mélanges cimentaires constitue aussi un enjeu économique et un défi scientifique pertinent.

Cette recherche est basée sur un type d'adjuvant superplastifiant de différente composition chimique. On a étudié trois (03) matériaux superplastifiants différents: MasterGlenium®26, MasterGlenium SKY 841, MEDAFLOW 3041 R.

L'utilisation des adjuvants, des additions minérales, des ciments de qualité contrôlée... permet d'optimiser la composition du béton, et de résoudre les problèmes de conflits au niveau de ses propriétés: consistance et résistance mécanique, résistance au jeune âge et diminution du retrait, durabilité et résistance au feu etc.

I.2 Etude bibliographie :

Quelle que thèses qui déjà étudié les adjuvants et leur utilisation dans le béton, tel que :

- Thèse ; AMELIORATION DE LA REGULARITE DU BETON EN PRODUCTION. Présentée : par Ngoc-Dong LE pour l'obtention du grade de DOCTEUR DE L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES, Spécialité: STRUCTURES ET MATERIAUX, Date de soutenance: 29 mai 2007, France.
- Thème ; EFFET DES DIFFERENTS ADJUVANTS SUR LA PERFORMANCE DU BETON, présenté par : EL-BACHIR Yasmina, faculté de chimie université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf.
- Thème ; COMPOSITION DE BETON : APPLICATION DE LA METHODE DE FAURY, présenté par : DIHAME Fatima, faculté des sciences et de la technologie, université Ahmed Draya Adrar.

Introductions générale

I.3 Plan du travail :

Le présent travail se compose en trois chapitres :

CHAPITRE I: Aperçu Bibliographique, cette partie théorique nous permet de conclure que le béton est un matériau hétérogène dont le choix des composants est en fonction des critères qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques et la durabilité, elles dépendent de la qualité des composants.

CHAPITRE II: Partie expérimentale est consacrée à la caractérisation des matériaux utilisés dans cette étude (ciment, gravier, sable, eau, adjuvant) selon les normes en vigueur. On présente aussi les compositions du béton qui doit être étudiées, et des essais sur béton témoins permettent de réaliser des bétons adjuvantés répondant à la norme. On met l'accent sur la méthode de FAURY.

CHAPITRE III : Les résultats des essais, présente le cœur de notre travail, l'étude expérimentale réalisés au niveau de laboratoire L.E.C.T à Adrar, Dans ce chapitre nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que la formulation du béton par la méthode de Faury, On ajoute dans l'échantillon du trois (03) adjuvants superplastifiant de différente composition chimique : MasterGlenium®26, MasterGlenium SKY 841, MEDAFLOW 3041 R, pour améliorer et modifier les propriétés du mélange l'état frais et / ou à l'état durci, Une conclusion générale est envisagée pour cette recherche.

CHAPITRE I
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction :

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 oeuvre, 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 qui possède les mêmes qualités.

La résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte du ciment hydraté. De plus, la résistance du béton est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et de l'établissement des spécifications de conformité.

La structure du béton présente un caractère hétérogène sur un domaine de dimensions extrêmement étendu.

Si le béton est un matériau purement local, ses propriétés le sont aussi et restent étroitement liées aux conditions locales (constituants, fabrication, mise en oeuvre, conditions climatiques, etc...).

Depuis longtemps en effet, la relation entre la composition du béton et sa résistance à la compression a intéressé les chercheurs. Néanmoins, aucune théorie fondamentale et universellement adoptée n'existe en la matière, au-delà de la notion commune de rapport eau/ciment. Abrams (1919) a été probablement le premier à montrer l'importance de ce paramètre dont dépend la résistance à la compression.

La consistance mesurée lors de l'essai d'affaissement par le cône d'Abrams est probablement affectée par la teneur en eau ; elle a été décrite jusqu'à présent comme une propriété du béton frais.

Cependant c'est aussi une propriété qui affecte la qualité du produit fini parce que le béton doit avoir une consistance suffisante pour pouvoir être serré et atteindre une masse volumique maximale, tout en utilisant une quantité d'énergie minimale dans la mise en place du matériau.

I.2. Le béton :

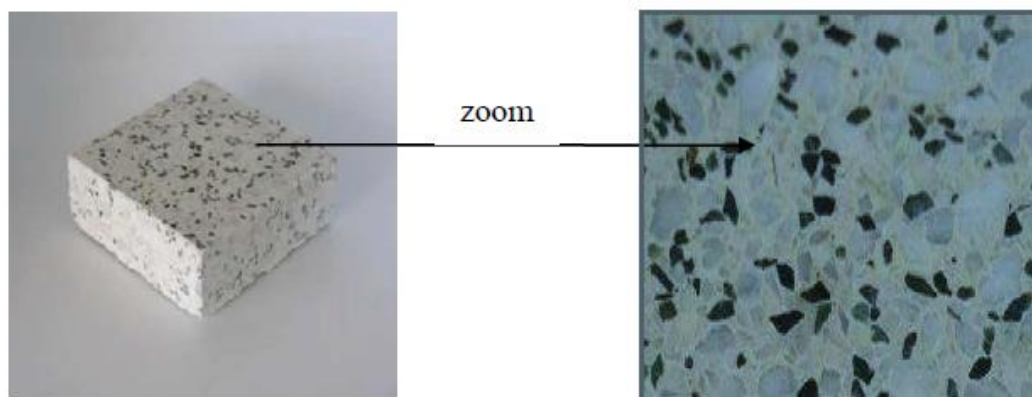
I.2.1. Définition :

Le béton est un matériau composite. Il est constitué de plusieurs matériaux différents, qui deviennent homogènes entre eux, soit à la mise en oeuvre (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Ses composants sont déterminés dans des proportions étudiées afin d'obtenir des propriétés souhaitées telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites « méthodes de formulation du béton ».

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde pour les réalisations des ouvrages de génie civil. Il est caractérisé essentiellement par une bonne résistance à la compression. Ses inconvénients résident dans sa mauvaise résistance à la traction ainsi que sa masse volumique relativement élevée.

La structure du béton est composée de deux principaux constituants : les granulats et la matrice :

- Les granulats représentent en moyenne 70% à 80% du volume du béton, on les trouve sous forme de sables, de graviers ou de cailloux. Ils sont considérés comme un renfort mécanique, et ils sont traités comme des inclusions. Les granulats sont obtenus à partir des carrières de roches massives, de gisements alluvionnaires et artificiels tels que les laitiers expansés, les argiles expansées et les schistes expansés. Ils conditionnent la compacité du matériau ainsi que ses caractéristiques mécaniques.
- La matrice liante enrobe et lie les granulats entre eux. Elle est formée d'une structure complexe poreuse source d'échanges internes et externes. Il existe plusieurs types de matrice parmi lesquelles on trouve : la pâte de ciment, la résine et l'hydrocarbure. Un examen plus approfondi, montre que la structure du béton présente un caractère hétérogène sur un domaine de dimensions extrêmement étendu. La figure 1 montre la texture d'un même matériau granulaire à différents grossissements. [1]



a) Image originale

b) Détail agrandi.

Figure I.1 : Structure hétérogène du béton .

I.2.2.Types de bétons :

La classification des bétons se fait suivant différents critères, comme :

I.2.2.1. Leur destination:

Types de béton	Destination
Bétons compactés au rouleau	bétons spéciaux pour réaliser certain type de barrage (barrages poids).
Bétons projetés	Pour réaliser les travaux miniers et souterrains, pour la réparation des ouvrages détériorés
Bétons de construction	destinés à la construction courante des bâtiments ou des ouvrages de faible importance
Bétons autonivelants (autoplaçants)	Pour les ouvrages présentant un ferrailage vraiment dense ou d'une forme variable difficile à mouler (courbures multiples).
Bétons coulables sous l'eau	Pour la construction ou la réparation des barrages, les structures portuaires, les tunnels
Bétons fibrés	Pour les dallages (fibres métalliques), piste d'aéroport ou des pièces techniques telles que les tuyaux, gaines (fibres de verre).

Tableau I.1: Types de béton en fonction de leur destination [2]

I.2.2.2.Leur masse volumique :

Selon la classification européenne, il y a trois classes de béton qui sont représentées ci-dessous dans le tableau suivant :

Types de béton	Béton léger	Béton normal	Béton lourd
Masse volumique (kg/m ³)	De 800 à 2000	De 2000 à 2600.	Supérieure à 2600

Tableau I.2 : Types de béton en fonction de leur masse volumique [3].

I.2.2.3.Leur granularité :

La classification se fait en fonction de la dimension maximale des granulats D_{max} :

Classes du béton	Béton fin	Béton moyen	Béton gros
Dimension maximale des granulats D_{max}	$8 \leq D_{max} \leq 16\text{mm}$	$16 \leq D_{max} \leq 31.5\text{mm}$	$31.5 \leq D_{max} \leq 63\text{mm}$

Tableau I.3: Types de béton en fonction de D_{max} [4].

I.2.2.4.Leur consistance (cône d’Abrams) :

Elle est définie en utilisant le cône d’Abrams, et on obtient les cinq classes suivantes :

Affaissement (Aff.) en cm	Classe des bétons
0 à 2	Très ferme
3 à 5	ferme
6 à 9	plastique
10 à 13	mou
>14	Très mou

Tableau I.4: Types de béton en fonction de leur consistance [5].

I.2.2.5.Leur résistance à la compression sur cylindre f_{ck} :

La norme EN-206 classe les bétons en fonction de leur résistance caractéristique à la compression conformément au tableau I.5. Dans ce tableau f_{ck-cyl} est la résistance caractéristique mesurée sur cylindres (c’est cette résistance qui correspond à la résistance caractéristique à laquelle il est fait référence dans l’Eurocode 2) ; $f_{ck-cube}$ est la résistance caractéristique mesurée sur cubes.

Classes	C 8/10	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 45/55
f_{ck-cyl} (N/mm ²)	8	12	16	20	25	30	35	45
$f_{ck-cube}$ (N/mm ²)	10	15	20	25	30	37	45	55

Tableau I.5: Classes de résistance à la compression [6]

I.2.3.Propriétés du béton :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- **le béton frais** : mélange de matériaux solides en suspension dans l’eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en oeuvre dans son coffrage.
- **le béton durci** : solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s’acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d’une durée de quelques jours à quelques semaines.

I.2.3.1. Propriétés du béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en oeuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage. [7]

L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par :

- La nature et le dosage du liant.
- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.
- Le dosage en eau. [8]

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façon et en particulier par des mesures de plasticité. Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques uns, les plus couramment utilisés dans la pratique. [9]

I.2.3.1.1. Affaissement au cône d'Abrams :

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance. [10].

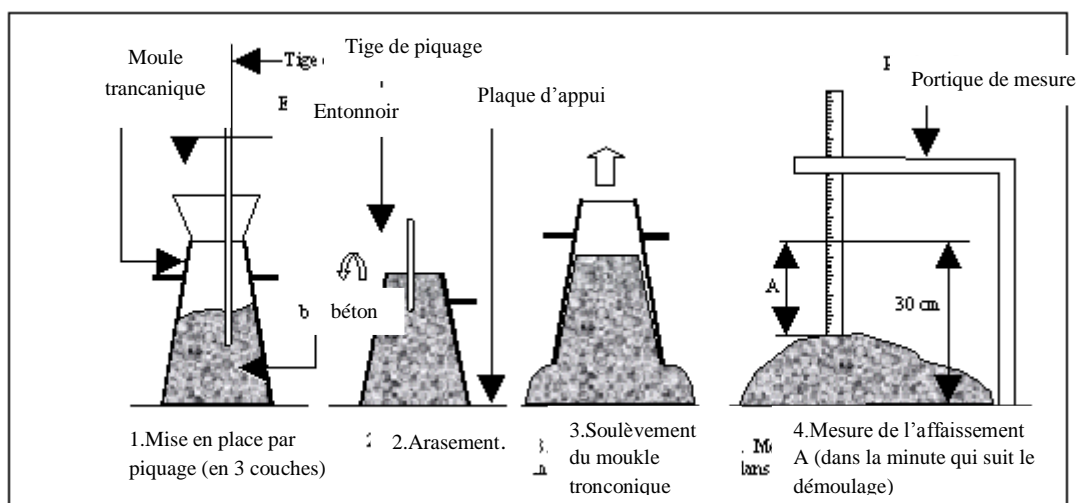


Figure I.2 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams



Figure I.3 : Mesure de l'affaissement.

I.2.3.1.2. La masse volumique du béton frais :

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

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

D : est la masse volumique du béton frais (kg/m^3).

m_1 : est la masse du récipient (kg).

M_2 : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m^3).

La masse volumique du béton est arrondie aux 10 kg/m^3 les plus proches. [11]



Figure I.4 : Béton frais

I.2.3.2. Propriétés du béton durci :

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

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

I.2.3.2.1. Résistance à la compression :

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, f_c 28. La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée. [12]

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante : $f_c = \frac{F}{A_c}$

où :

- f_c : résistance en compression, exprimée en mégapascal (Newton par millimètres carrés).
- F : charge maximale, exprimée en Newtons ;

- Ac : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MPa (N/mm²) près.

I.2.3.2.2. Résistance à la traction par flexion :

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée. [13]

I.2.4. Composants d'un Béton :

La confection d'un béton approprié à sa destination consiste, à partir d'études graphiques ou expérimentales, à déterminer et à optimiser la composition granulaire et le dosage des divers constituants.

Le béton est un matériau hétérogène dont les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des divers constituants sont différentes.

Composé essentiellement de granulats, et de la pâte de ciment (ciment, d'eau de gâchage et adjuvants) pour améliorer ou acquérir certaines propriétés pour faire face à des situations bien définies. Chacun de ses composants joue un rôle important dans le mélange.

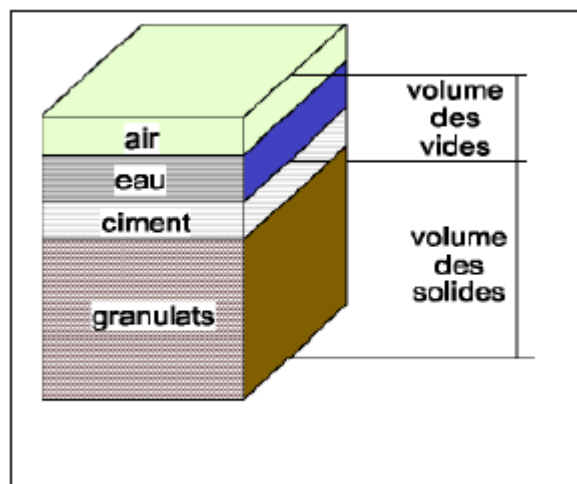


Figure I.5 : Composition du Béton.

I.2.4.1. La Pâte du Ciment :

La pâte du ciment est le constituant à l'origine de la cohésion du béton, elle représente 20% à 50% du volume total, se caractérise par sa capacité à s'hydrater et à former une matrice solide qui lie les granulats entre eux.

La pâte du ciment se constitue du ciment anhydre, d'eau et d'éventuels adjuvants additifs. [14]

I.2.5. Ciment :

I.2.5.1. Le Ciment Portland :

Le ciment portland est le ciment le plus couramment employé dans la fabrication des bétons ordinaires et constitue le matériau cimentaire exclusivement utilisé dans ce travail. Il fait donc l'objet d'une description précise. Tout d'abord, la nomenclature chimique spécifique aux ciments et nécessaire à la compréhension des formules des composés minéraux est présentée. Ensuite, le processus de fabrication du ciment portland est décrit. Enfin, la composition minéralogique de ce ciment est détaillée.

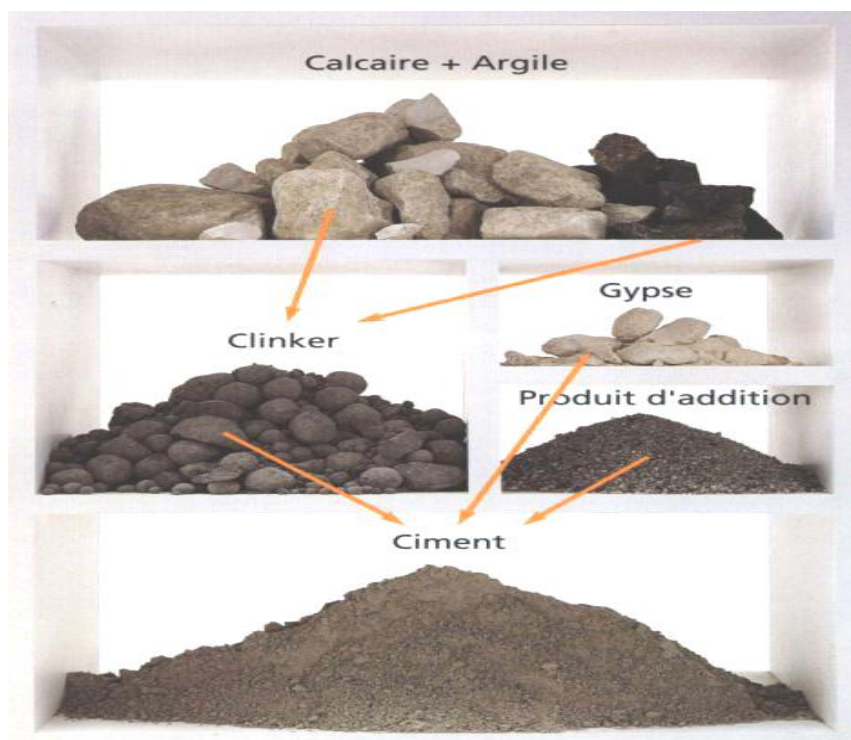


Figure I.6 : différents Constituants des ciments.

I.2.5.2. Nomenclature Chimique des Ciments :

Dans la chimie du ciment, la composition des phases minérales n'est pas la formule chimique mais par une forme abrégée. Cette écriture est basée sur une abréviation de la formule des oxydes et exprimée comme une somme: le silicate tricalcique par exemple, Ca_3SiO_5 , s'écrit généralement $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$. Il est usuel d'abrégé les formules des oxydes courants en une simple lettre, telle que C pour CaO ou S pour SiO₂. Le silicate tricalcique s'écrit alors C3S. Cette représentation est couramment utilisée dans la littérature spécialisée.

Les abréviations les plus communément utilisées dans la nomenclature du ciment sont les suivantes : [15]

C = CaO	S = SiO ₂	A = Al ₂ O ₃	F = Fe ₂ O ₃
M = MgO	K = K ₂ O	\bar{S} = SO ₃	N = Na ₂ O
T = TiO ₂	P = P ₂ O ₅	H = H ₂ O	\bar{S} = CO ₂

I.2.5.3. Composition des Ciments Portland

Les matières premières de base pour la fabrication du ciment portland sont le calcaire et l'argile. Ces matières sont broyées, finement moulues et mélangées dans des proportions bien définies. Ce mélange est ensuite placé dans un four et chauffé à environ 1450°C. Au cours de la calcination, les matières premières vont réagir pour former, à la fin de la cuisson, un produit de composition complexe appelé clinker. Le clinker, additionné de gypse et finement broyé, constitue finalement le ciment portland. De plus amples explication sur la fabrication des ciment portland sont données par exemple dans [16].

Les principaux constituants du clinker sont indiqués dans le tableau I.6. la teneur en oxydes et les proportions en C₃S, C₂S, C₃A ET C₄AF définissent ses principales caractéristiques.

Constituants	Composition	Abréviation	Nom particulier
Silicate tricalcique	3CaO. SiO ₂	C ₃ S	Alite
Silicate dicalcique	2CaO. SiO ₂	C ₂ S	Bélite
Aluminate tricalcique	3CaO. Al ₂ O ₃	C ₃ A	célite
Alumino-ferrite tétracalcique	4CaO. Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	Célite

Tableau I.6. Principaux Constituants du Ciment Portland

Dans le clinker, les phases C₃S, C₂S, C₃A ET C₄AF n'existe pas sous une forme pure[17].

I.2.5.4. Principaux Types de Ciment Portland :

Les ciments portland, notés CEM, sont classés selon cinq types, définis dans la norme européenne EN 197-1:2000 F :

- CEM I : ciments portland.
- CEM II : ciments portland composés.
- CEM III : ciments de haut fourneau.
- CEM IV : ciments pouzzolanique.
- CEM V : ciments composés. [18]

Composition des Différents Ciments Selon la Norme EN 197-1

Type	Notation	Composition (%)							
		C	L	SF	P	FA	SC	Cal	CS
CEM I	Ciment portland	95-100	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Ciment portland au laitier	65-94	6-35	-	-	-	-	-	0-5
	Ciment portland à la fumée de silice	90-94	-	6-10	-	-	-	-	0-5
	Ciment portland à pouzzolane	65-94	-	-	6-35	-	-	-	0-5
	Ciment portland aux cendres volantes	65-94	-	-	-	6-35	-	-	0-5
	Ciment portland au schiste calciné	65-94	-	-	-	-	6-35	-	0-5
	Ciment portland au calcaire	65-94	-	-	-	-	-	6-35	0-5
	Ciment portland composé	65-94	6-35	6-35	6-35	6-35	6-35	6-35	0-5
CEM III	Ciment haut fourneau	5-64	36-95	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Ciment aux pouzzolanes	45-89	-	11-55	11-55	11-55	-	-	0-5
CEM V	Ciment composé	20-64	18-50	18-50	18-50	18-50	-	-	0-5

Tableau I.7 : Composition des Différents Ciments Selon la Norme EN 197-1

Avec :

C : clinker

L : laitier de haut fourneau

SF : fumée de silice

P : pouzzolanes

FA : cendres volants

SC : schiste calciné

Cal : calcaire

CS : constituants secondaires

Des informations complémentaires sur les ciments portland sont données dans [19].

I.2.5.5. Classification Suivant les Résistances à la Compression :

La norme européenne **NF EN 196-1** classes les ciments courant d'après leur résistance à la compression voir (Tableau I.8) [20]

Classe de résistance	Résistance à la compression(Mpa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
23,5 N	—	≥ 16.0	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5R	≥ 10.0	—		
42.5 N	≥ 10.0	—	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5 R	≥ 20.0	—		
52.5 N	≥ 20.0	—	≥ 52.5	—
52.5 R	≥ 30.0	—		

Tableau I.8 : Résistance à la compression des ciments

I.2.6. Les Granulats :

Le rôle des granulats dans un mélange de béton est de permettre de produire un matériau ayant une résistance et une durabilité appropriées avec le moindre coût possible.

I.2.6.1. Définition :

On appelle granulats un matériau granulaire utilisé dans le domaine de construction, soit lié à d'autres substances (liant, bitume) pour obtenir mortier, bétons, bétons routiers ...etc., soit non lié comme les ballasts des voies ferrées, les granulats pour le système de drainage. Il est constitué de plusieurs grains minéraux de différentes dimensions comprises entre 0 et 125 mm le plus fréquemment mais peuvent être allé jusqu'à 150 mm.

Les granulats sont nécessaires pour la fabrication des bétons; du point de vue technique, ils augmentent la stabilité dimensionnelle (retrait, fluage) et ils sont plus résistants que la pâte de ciment. Il faut par conséquent, augmenter au maximum la quantité de granulats, en respectant toutefois les deux conditions suivantes:

- Les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité;
- La qualité de pâte liante doit être suffisante pour lier tous les grains et remplir les vides.

[21]



Figure I.7: Photos des différents types de granulats.

➤ **En fonction de leur origine :**

a. **Les granulats naturels :**

Ce sont des matériaux purement naturels, ne subissant aucun traitement autre que mécanique tel qu'extraction, concassage, broyage, criblage, lavage...etc.

b. **Les granulats artificiels :**

Ce sont les granulats qui proviennent de la transformation thermique de roches, de minerais ou de sous produits industriels (laitiers, scories), ou encore de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments

divers en béton souvent appelés granulats recyclés.

➤ **En fonction de la forme de leurs grains :**

a. **Les granulats concassés :**

Ce sont des granulats provenant du concassage des pierres et dont les grains ont une certaine angularité. Ils sont issus du concassage des roches de porphyres, grés, calcaires, quartzites, de galets concassés et de laitiers.

b. **Les granulats roulés :**

Ils représentent les granulats ayant subi une altération naturelle mécanique due à l'eau, au vent, à l'usure réciproque des granulats lors de leur transportation dans la nature. Il résulte que plus de 90% des surfaces des grains sont arrondies et de provenance alluvionnaire. Figure I.8.



(Les granulats roulés)



(Les granulats concassés)

Figure I.8 : Les deux types de granulat en fonction de forme.

I.2.6.2. Production des granulats :

La production des granulats nécessite plusieurs opérations successives sur le même site ou non, selon le site lui-même ou la roche est exploitée.

On distingue les opérations suivantes :

Le décapage :

Décaper, c'est retirer les couches de sol situées au dessus des niveaux à exploiter :

- Terre végétale.
- Roches plus ou moins altérées.
- Niveaux stériles.

Concassage et broyage :

Le concassage étant la fragmentation grossière et le broyage l'élaboration des sables, petits gravillons et fillers. C'est une opération purement mécanique à l'aide des différents appareils, fonction des différents types de concassage.

Le concassage a pour objet de réduire les dimensions pour obtenir la granularité souhaitée et pour améliorer la forme des granulats.

Les concasseurs utilisés se basent sur trois principes de rupture :

- Rupture par écrasement ;
- Rupture par chocs ;
- Rupture sous l'action de charges libres.

Le criblage :

C'est l'opération permettant de séparer et de classer un ensemble des grains 0/D en sous ensemble 0/Di ou di/Di. Cette opération est principale et indispensable puisqu'elle va donner

les produits finaux commercialisés tels que : sable, gravillons, graves, etc. avec une dénomination précise comme (sable 0/4, sable 0/2, gravillon 6/10... etc.).

Le criblage est commun à toutes les installations quelque soit le type de roche exploitée :

- Pour les roches massives un aspect particulier du criblage est l'élimination de 0/D qui se pratique en amont (grille de scalpage à barres parallèles) ou après le débiteur (crible à maille carrées) ou des deux dans le but d'éliminer le maximum de produits argileux.
- Pour les roches meubles, il ya souvent un crêtage des plus gros éléments inutilisables.

Le lavage :

Il a pour but d'éliminer les éléments de pollution et l'excès de fines .On peut suivant le degré et le type de pollution faire :

- Un lavage après extraction (sur gros appareils débourbeurs).
- Un lavage sur crible le tout-venant ou les gravillons ou les deux ensemble.
- Un lavage du sable en fin de parcours.

Remarque : Les opérations de criblage et de lavage sont souvent réalisées conjointement, une rampe de jets d'eau étant disposée au-dessus du crible.

Stockage et livraison :

En fin de traitement, une fois réduits, traités et classés, les granulats sont acheminés vers les aires de stockage, soit sous forme de tas individualisés, soit en trémies ou silos. Différents moyens de transports (trains, camions, ou péniche) permettent ensuite de les livrer à la clientèle.ils peuvent être travaillés sur place dans le cas de centrale à béton ou d'une centrale d'enrobage au bitume, sur le site même de la carrière.



Figure I.9 : Les différentes étapes de production des granulats.

I.2.6.3. Classification des granulats :

On peut classer les granulats en fonction de leur granularité déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à maille carrées dans une série normalisée.

On distingue plusieurs familles de granulats : Figure I.10.

- Fillers 0/D où $D \leq 2$ mm et contenant au moins 70% de passant à 0.063mm.
- Sablons 0/D où $D \leq 1$ mm et contenant moins de 10% de passant à 0.063mm.
- Sable 0/D où $D \leq 6.3$ mm sauf les sables pour béton où $D \leq 4$ mm.
- Graves 0/D où $D > 6.3$ mm.
- Cailloux d/D où $d \geq 20$ mm et $D \leq 125$ mm. [22]

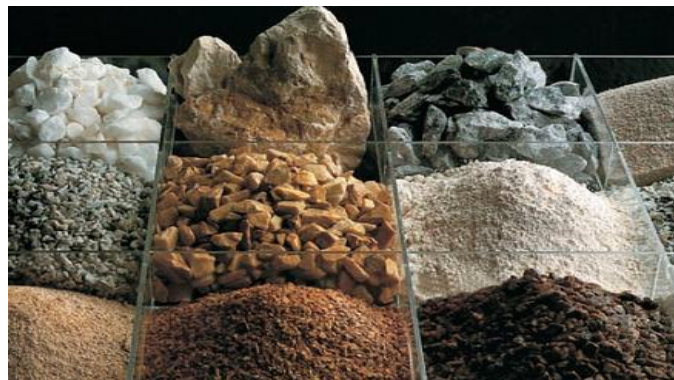


Figure I.10: Les différents classes de granulats.

Remarque : La famille dite ballast d/D où $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm est complètement contenue dans la famille dite cailloux d/D où $d \geq 20$ mm et $D \leq 125$ mm, c'est pour cela qu'elle n'est pas citée dans la classification précédente.

I.2.6.4. Caractéristiques :

Les granulats sont caractérisés par des spécificités qu'ils doivent satisfaire pour réaliser une bonne utilisation dans différents domaines. Ces spécifications dites caractéristiques des granulats sont bornées par des normes et des exigences. Elles servent à prendre en compte l'utilisation, la fiabilité, l'économie en se basant sur les recherches et les expériences scientifiques. On distingue :

I.2.6.4.1. Caractéristiques de fabrication :

Ces caractéristiques résultent des conditions de fabrication, du processus d'élaboration (extraction, fragmentation, séparation granitaire, lavage, criblage ... etc.), de la performance et l'aptitude de travailler correctement au niveau du lieu de fabrication (capacités humaines et matérielles). Ce sont :

a. La granularité :

C'est la distribution dimensionnelle des grains contenus dans le granulat, elle sert à classer le granulat.

b. Classe granulaire :

La classe granulaire désigne un granulat selon son plus petit diamètre (d) de grain représentatif et son plus grand diamètre (D) de grain représentatif. Cela permet ainsi de différencier les granulats entre eux et de les classer.

c. Courbe granulométrique :

C'est la distribution pondérale des granulats. On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamis sous les tamis dont les mailles sont indiqués en abscisse selon une graduation semi logarithmique. Figure I.11.



Figure I.11:Table vibrante et les tamis (essais de granulométrie).

I.2.7. L'eau de Gâchage :

Pour gâcher le béton, l'eau potable est toujours utilisable mais de plus en plus souvent, nous sommes placés devant la nécessité d'avoir recours à une eau non potable.

Une eau de gâchage non adéquate va ralentir la prise, réduire la résistance mécanique, favoriser la corrosion des armatures.

Les impuretés, telles que les composés chimiques relativement réactifs ou les particules en suspension, indésirables du fait de leur quantité ou de leur qualité, vont influencer négativement sur les propriétés du béton et des armatures.

La quantité d'eau varie avec un très grand nombre de facteurs (dosage en ciment, granulats, consistance recherchée du béton frais), elle est en général comprise entre 140 et 200 l/m³.

L'eau de gâchage assure 4 fonctions principales :

- Hydratation du ciment pour la prise .
- Amélioration de la maniabilité du béton .
- Mouillage des granulats .
- Véhicule les adjuvants. [23]

I.2.7.1. Aptitude à l'emploi :

Pour évaluer l'aptitude à l'emploi d'une eau de gâchage on doit vérifier les critères suivants selon **La norme (NF EN 1008)** :

- Les critères sensoriels (l'odeur, la vue).
- Les critères chimiques (matières en suspension, huiles et matières grasses, valeur de PH, teneurs en sulfates, sucre, chlorures, phosphates, nitrates, zinc, sulfures, sodium, potassium).
- Les critères mécaniques (un essai de prise sur mortier et un essai de résistance mécanique à sept jours sur mortier ou béton).

I.3. Les Adjuvants :

I.3.1 Historique :

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment portland, on a commencé les recherches sur l'incorporation de produit susceptible d'améliorer certaines propriétés. A partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés, ils seront suivis par les antigels et les produits de cure.

Depuis 1960, avec le développement du béton manufacturé et du béton prêt à l'emploi.

Le développement des normes d'adjuvants, à partir 1984 à la mise en place d'une certification par la marque NF adjuvants, véritable label de qualité. Il faut enfin préciser que les adjuvants ont permis des progrès considérables en matière de bétons. [24]

I.3.2 Définition :

L'usage des adjuvants s'est généralisé dans l'élaboration des bétons depuis plusieurs décennies.

Les adjuvants sont des produits organiques et inorganiques, se présentant le plus souvent sous forme liquide à température ordinaire, incorporés à faible dose (moins de 5 % de la masse du ciment), en général lors du malaxage et destinés à améliorer les propriétés d'un béton, d'un mortier ou d'un coulis, à l'état frais ou durci. Chaque adjuvant est ainsi désigné par sa fonction principale Figure I.12. [25]

Il présente en outre une ou plusieurs fonctions concomitantes appelées fonctions secondaires, et entraîne parfois des effets non directement recherchés. Les grandes familles de fonctions remplies peuvent être rangées en trois catégories regroupant dix-sept types d'adjuvants .

On utilise les adjuvants surtout pour :

- Diminuer le coût des constructions en béton .
- Donner au béton certaines caractéristiques plus efficacement que par d'autres moyens .
- Assurer la qualité du béton durant le malaxage, le transport, la mise en place et la cure dans des conditions météorologiques défavorables .
- Obéir à certaines urgences durant le bétonnage.
- amélioration de la résistance au gel/dégel et aux sels de déver-glaçage.
- amélioration des résistances des bétons faiblement dosés en ciment.



Figure I.12: Des adjuvants.

I.3.3. Mode d'Action :

D'une manière générale ,les adjuvants agissent en enrobent le grain de ciment pendant l'hydratation.

I.3.4. Fonctions :

Les adjuvants possèdent une fonction principale et une fonction secondaire :

I.3.5. Fonction Principale :

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale unique.

Elle est caractérisée par la ou les modifications majeures qu'elle apporte aux propriétés du béton à l'état frais ou durci.

I.3.6. Fonction secondaire :

En plus de sa fonction principale , un adjuvant peut avoir une ou plusieurs fonctions secondaires (ex : plastifiant – retardateur, retardateur – plastifiant – réducteur d'eau).

Un adjuvant n'est pas palliatif, il n'a ni pour effet ni pour mission de faire un bon béton à partir d'un mauvais dosage, d'une mauvaise composition ou d'une mise en œuvre défectueuse.

<< Ce n'est pas un produit miracle >>.

I.3.7. La Réaction d'hydratation :

Dès le contact de l'eau avec le ciment et l'adjuvant, plusieurs réactions chimiques ont lieu et ont pour conséquence la solidification progressive de la pâte de ciment, c'est l'ensemble de ces réactions que l'on définit comme l'hydratation.

I.3.8. Classification des Adjuvants Selon leurs Efficacités :

a. Les Adjuvants d'Ouvrabilité :

a.1. Adjuvants réducteurs d'eau (plastifiant) :

Ces adjuvants ont pour fonction principale, à teneur en eau, d'augmenter l'ouvrabilité du béton, du mortier ou du coulis, sans en diminuer les résistances mécaniques. Les plastifiants jouent sur la viscosité de la pâte de ciment en défoulent les grains, diminuent les frottements inters granulaires, et modifient les charges électriques de surface.

L'amélioration de la plastification des bétons et de leur stabilité (diminution du risque de ségrégation), facilite la mise en place, tout en n'alternant pas les résistances. [26]

Les réducteurs d'eau sont utilisés pour :

- réduire la quantité d'eau de gâchage d'environ 5 à 10 %.
- abaisser le rapport eau/liants.
- réduire la quantité de ciment et d'eau.
- augmenter l'affaissement.

La perte d'affaissement est souvent très importante . Les réducteurs d'eau peuvent causer un retard de prise si leur dosage est élevé. Ils sont conçus pour des bétons de 100 à 125 mm d'affaissement.

a.1.1. Domaines d'Utilisation les Adjuvants Plastifiants :

Les plastifiants sont utilisés dans les cas suivants :

- Béton pour dallages (béton pompé).
- Béton maigre (blocs manufacturés)
- Béton très ferrailé.

b.1. Adjuvants réducteurs d'eau de haute efficacité (Superplastifiant) :

Le compréhension des interactions entre le ciment en cours d'hydratation et les superplastifiants conduisant aux changements rhéologiques mise en cause dans les cas d'incompatibilités. Le ciment, ses réactions d'hydratation et ses propriétés rhéologiques ayant été décrits, il reste à présenter les superplastifiants.

Les superplastifiants peuvent être utilisés dans le béton pour trois différentes raisons ou leur combinaison.

- Pour augmenter l'ouvrabilité pour un mélange donné afin d'améliorer les caractéristiques de mise en œuvre du béton
- Pour réduire la quantité de l'eau de gâchage pour un dosage donné de ciment, afin de diminuer le rapport E/C, augmenter les résistances mécaniques et améliorer la durabilité.
- Pour réduire aussi bien la quantité d'eau et du ciment, pour une ouvrabilité et une résistance données dans le but d'économiser du ciment et réduire le retrait du la fissuration et la contrainte thermique due à l'hydratation du ciment.

Les superplastifiants sont des polymères solubles dans l'eau, lesquels possèdent de nombreuses applications dans l'industrie de la construction. Ces matériaux sont également appelés réducteurs d'eau de haut rang. Ils font partie des adjuvants pour béton, lesquels sont définis, selon la norme EN 934-2, comme des matériaux qui sont ajoutés au béton pendant le processus de malaxage, dans des quantités inférieures à 5% de la masse de ciment, afin de modifier ses propriétés à l'état frais et à l'état durci.

Il existe différents types de superplastifiants communément utilisés dans les matériaux de construction. Ils différencient principalement par la nature de groupements anioniques portés par le polymère et par la façon dont ils engendrent une force répulsive entre les grains de ciment. Toutefois, quelle que soit leur nature, les superplastifiants apportent sans conteste des améliorations technologiques aux bétons qui les incorporent dans leurs formulations. [27]

b.1.1. Domaines d'Utilisation les Adjuvants Superplastifiants :

Les superplastifiants sont utilisés dans les cas suivants :

- Bétons à compacité, et donc durabilité.
- Bétons à haute performance.
- Bétons autoplaçants.

b.1.2. Compatibilité Ciment-Superplastifiant :

La difficulté majeure qu'on rencontre dans la formulation du béton à base de superplastifiants est de choisir le couple ciment-superplastifiants le plus efficace qui permet d'obtenir une réduction maximale d'eau, une bonne ouvrabilité et une rhéologie satisfaisante du béton pendant la mise en œuvre.

En effet, lors de l'utilisation du superplastifiant dans la confection du béton, certains ciments peuvent présenter des phénomènes d'incompatibilité ciment-superplastifiants : irrégularité de l'affaissement au cône d'Abrams et des temps de prise ainsi qu'une perte rapide de maniabilité après fabrication [28].

La formulation des bétons superplastifiant dépend du comportement du couple ciment-superplastifiant. Ce comportement est fonction de la réactivité du ciment d'une part, et de l'efficacité du superplastifiant d'autre part.

b.1.3. Interaction Ciments-Superplastifiants :

b.1.3.1. Influence du Dosage en Superplastifiants :

l'incorporation du superplastifiant dans le ciment conduit à une augmentation de la fluidité des pâtes de ciment

l'augmentation de la fluidité est plus marquée pour de faibles dosages en superplastifiant. Paillère et al ont mis en évidence l'existence de trois plages de dosage influençant le maintien de la maniabilité du béton :

- Une plage de faibles pourcentages d'adjuvant supérieure à 1% d'extrait sec soit environ 5% de produit commercialisé. Dans cette plage le maintien de la maniabilité est faible, sa durée maximale est de 15 mn.
- Une plage de pourcentages élevés en adjuvant supérieure à 1% et pouvant atteindre jusqu'à 3% en extrait sec on constate ici, un phénomène de refluidification des matériaux hydrauliques en fonction du temps. Cette refluidification passe par un dosage optimal en adjuvants à partir duquel la durée de maniabilité décroît, elle est accompagnée d'une désorption de superplastifiants ou encore d'une augmentation de la concentration de ce produit dans la solution interstitielle du mortier.
- Une plage de pourcentage très élevés en adjuvant supérieure à (3% ou 4%) en extrait sec. Dans cette plage, le maintien de la maniabilité est très faible. [29]

c. Les Adjuvants Entraîneurs d'Air :

Les entraîneurs d'air se présentent sous forme de liquides, de sels solubles ou de poudres insolubles à ajouter au moment du malaxage.

Ces adjuvants introduisent volontairement de l'air et agissent en stabilisant les bulles générées lors du malaxage.

Ils améliorent essentiellement :

- la plasticité et l'ouvrabilité du béton.
- la résistance au gel du béton durci (antigélif). [30]

c.1. Domaine d'Utilisation des Adjuvants Entraîneurs d'Air :

Les adjuvants entraîneurs d'air sont utilisés dans les cas suivants :

- Les routes.
- Les barrages.
- Les ponts.
- Les travaux maritimes.
- Les travaux en montagne.
- Les ouvrages exposés au gel et à l'action des eaux agressives.

d. Les Adjuvants Accélérateurs de Prise et de Durcissement :

Ce sont des produits solubles dans l'eau et qui agissent chimiquement en augmentant la vitesse d'hydratation du ciment; cela entraîne un déclenchement plus rapide du phénomène de prise et s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus important.

On distingue :

- les accélérateurs de prise : utilisés surtout par temps froid.
- les accélérateurs de durcissement : plus généralement employés afin de réduire certains délais pour décoffrer ou manutentionner les pièces. [31]

d.1 Domaine d'Utilisation les Adjuvants Accélérateurs de Prise et de Durcissement:

Les accélérateurs de prise trouvent leur utilisation dans :

- Décoffrage rapide (réduction du temps de prise).
- Bétonnage par temps froid.
- Mise du béton hors- gel.
- En préfabrication : augmentation de la rotation des coffrages.
- Travaux d'étanchement, travaux à la mer (entre deux marées).
- Réparations rapides, remises en circulation rapide des routes .

e. Les Adjuvants Retardateurs de Prise :

Ils agissent chimiquement comme les accélérateurs en retardant plus ou moins longtemps l'hydratation et le début de prise du ciment.

Les retardateurs diminuent évidemment les résistances initiales mais ils augmentent souvent les résistances finales . [32]

e.1. Domaine d'Utilisation les Adjuvants Retardateurs de Prise :

Les retardateurs de prise sont utilisés pour :

- Les bétons mis en place sur de fortes épaisseurs (ouvrages d'art, barrages..).
- Tout bétonnage par temps chaud.
- Transports de béton sur de longues distances.
- Bétons injectés en continu.
- Parois moulées dans le sol.
- Reprises de bétonnage (pour coulages effectués par tranches décalées de plusieurs heures).
- Mortiers stabilisés utilisables plusieurs jours sur chantier.

f. Les Adjuvants Hydrofuges :

Ce sont des adjuvants qui, introduits dans la masse du béton, ont pour fonction principale d'en diminuer l'absorption capillaire.

Il ne faut pas les confondre avec les hydrofuges de surface qui s'appliquent au rouleau sur le béton durci et qui sont bien souvent à base de silicone.

Ces produits ne sont vraiment efficaces que si le béton est bien compact et homogène, et que toutes les précautions sont prises afin d'éviter la formation de fissures. [33]

I.3.9. AUTRES CONSTITUANTS :

Ce sont des produits d'origine minérale ou organique permettant de modifier les propriétés du béton frais, en cours de durcissement ou durci. Ces produits définis dans la norme (EN 206-1) sont désignés par les termes suivants :

a. Les additions minérales :

Une addition est une poudre minérale finement divisée et pouvant être ajoutée au ciment (et/ou substituée) afin d'améliorer certaines propriétés ou pour conférer des propriétés particulières au béton.

Bien évidemment, les propriétés mises en cause sont autres que celles qu'apporterait une poudre minérale de finesse considérée comme simple granulat ...

Les influences des additions vis à vis des propriétés du béton sont à envisager en fonction:

- l'addition est dosée en ajout du ciment, permettant ou un gain de résistance de la pâte liante, et/ou une amélioration de la maniabilité.
- l'addition est dosée en substitution d'une partie du ciment, permettant ou un abaissement du coût du béton à performances équivalentes, et/ou une amélioration d'une propriété (maniabilité, ouvrabilité, durabilité, ...).

Actuellement, les textes normatifs distinguent 4 types d'additions :

b. Additions Calcaires :

Obtenues par broyage et/ou sélection, provenant de gisements de roches pouvant être dolomitiques, massives ou meubles, Ce type d'addition peut jouer plusieurs rôles en tant :

- que complément de la granulométrie (augmentation de la compacité, amélioration de la cohésion, accroissement de la maniabilité, ...).
- qu'activant améliorant les propriétés physico-chimiques de la pâte liante.

c. Cendres volantes pour béton :

Poudre fine constituée principalement de particules vitreuses de forme sphérique, dérivées de la combustion du charbon, ayant des propriétés pouzzolaniques.

L'ajout de cendres volantes permet en général une amélioration de l'ouvrabilité. Dans ce cas de diminuer le ressuage, d'augmenter l'imperméabilité et par conséquent la durabilité.

d. Laitier vitrifié moulu de haut fourneau :

Il provient de la fabrication de fonte, obtenu par trempe du laitier de haut fourneau en fusion, puis réduit en poudre.

En raison de sa forte activité, son ajout dans une formulation de béton revient à augmenter le dosage total en liant (un ajout de cendres volantes est alors souvent nécessaire afin de conserver une bonne ouvrabilité à ce type de béton).

e. Fumées de silice :

Poudre amorphe finement divisée ($\varnothing \approx 0.1\mu m$ à $10\mu m$) résultant de la production d'alliages de silicium.

Dans une formulation de béton, les fumées de silice jouent un rôle particulier en raison, d'une part de leur composition (taux de silice supérieur à 70%), d'autre part de leur finesse (\square 250000 cm^2/g Blaine). Leur emploi permet : une amélioration des résistances, une amélioration de la durabilité. [34]

f. Ajouts :

Tous les produits qui ne sont ni ciment, ni eau de gâchage, ni granulats, ni additions, ni adjuvants (exemples : fibres métalliques ou non, agents de viscosité colorants, ou de tixotropie autres qu'un adjuvant). Figure I.13.



Figure I.13 : Des ajouts (colorant fibres chanvre)

I.4. Formulation du Béton :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants (granulat, eau, ciment) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées (résistance, consistance).

Il existe deux méthodes pour déterminer une formulation du béton :

- Les méthodes semi-empiriques (Bolomey, Faury, Vallette) .
- Les méthodes graphiques (Dreux-Gorisse) .

I.4.1. Méthodes Semi-Empiriques**a. Méthode de Bolomey**

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

La formule de base est la suivante :

$$P = A + (100 - A)\sqrt{d/D} \quad \leftarrow \text{I.1}$$

P : Le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d.

d : Le diamètre du plus petit granulat.

D : Le diamètre du plus gros granulat.

A : Représente le pourcentage d'éléments très fins contenus dans le mélange sec, éléments qui ont une incidence sur la maniabilité du béton. La valeur de cette constante dépend de la consistance souhaitée pour le béton et de la provenance des granulats [35] (Tableau I.9).

Tableau I.9 : Valeur de Coefficient A :

Consistance du béton Granulats roulés Granulats concassés.

Consistance du béton	Granulats roulés	Granulats concassés
Béton damé	6-8	8-10
Béton armé	10	12-14
Béton coulé	12	14-16

b. Méthode de FAURY :

Faury proposa une nouvelle loi de granulation de type continu, il s'est inspiré pour cela de la 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 $5\sqrt{d}$. 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 n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace 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

$\sqrt[5]{D}$. L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$ et son ordonnée Y est donnée par la formule tenant compte de la grosseur D du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est une valeur tabulée en fonction de types des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense). [36]

Y , se calcule par la formule suivante :

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75} \quad \leftarrow \text{I.2}$$

A : valeur tabulée.

B : Varie de 1 à 2 selon que le béton ferme ou mou .

D : Exprimé en dimension de passoire.

R : Le rayon moyen du moule.

c. Méthode de Valette :

Valette a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite certains nombres de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum des sables » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

La méthode Valette proprement dite est quelquefois utilisée avec certaines variantes. Dans les cas les plus courants on parlera en général d'un béton binaire: un sable et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité (par exemple : sable 0/5 et gravier 16/25). On calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment ; ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment.

On ajoute en suite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en oeuvre facile dans les conditions du chantier. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment. [37]

I.4.2. Méthodes Graphiques :

a. Méthode de Gorisse Dreux :

C'est une méthode pratique qui simplifie et rend la formulation du béton plus pragmatique. Elle consiste à rechercher conjointement la résistance à la compression et l'ouvrabilité désirée à partir des données de base essentielles pour la formulation du béton telles que la dimension des granulats (D). La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E , ciment C , sable S , gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges. Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation

théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport C/E, C et E, le mélange optimal à minimum de vides, la compacité du béton et les masses des granulats.

➤ Étude de la composition du béton :

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires.

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées. On notera qu'une étude de composition de béton doit toujours être contrôlée expérimentalement et qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier.

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

- Le béton doit présenter, après durcissement une certaine résistance à la compression.
- Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en oeuvre avec les moyens et méthodes utilisés sur le chantier.
- Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important.
- Le coût du béton doit rester le plus bas possible.

Dans le passé, pour la composition du béton, on prescrivait des proportions théoriques de ciment, d'agrégat fin et d'agrégat grossier. Mais l'élaboration des ciments ayant fait des progrès considérables, de nombreux chercheurs ont exprimé des formules en rapport avec les qualités recherchées :

- minimum de vides internes déterminant une résistance élevée .
- bonne étanchéité améliorant la durabilité .
- résistance chimique .
- résistance aux agents extérieurs tels que le gel, l'abrasion, la dessiccation. [38]

I.5. Conclusion :

Le béton fait partie des matériaux les plus utilisés dans l'industrie de la construction. Ce matériau composite est constitué de granulats, lesquels sont liés par une pâte de ciment hydratée. Le processus d'hydratation se déroule d'une manière très complexe.

Le problème de la formulation du béton à particulièrement évolué dans les dernières années. Aux composants classiques (granulats, ciment et eau) sont venus s'ajouter de nouveaux constituants tels que les adjuvants organiques, les additions minérales ou les fibres.

Cette partie théorique nous permet de conclure que le béton est un matériau hétérogène dont le choix des composants est en fonction des critères qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques et la durabilité, elles dépendent de la qualité des composants.

CHAPITRE II
PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE II : PARTIE EXPERIMENTALE

II.1 INTRODUCTION:

Le béton est un matériau de construction composé du ciment, gravier, sable, d'eau et éventuellement d'adjuvant pour modifier ses propriétés. Afin de formuler un béton qui doit répondre aux exigences demandées, il est préférable que ses constituants soient convenables aux normes on a fait tout les essais au niveaux de : **Laboratoire étude et contrôle technique (LECT) a Adrar.** [39]

II.2. Les activités du laboratoire :

L'activité principale de laboratoire concerne la recherche fondamentale :

1. Etudes géotechniques pour bâtiment et les ouvrages routiers.
2. Assistance technique.
3. Travaux de béton.
4. Contrôle et suivi des travaux de réalisation des routes.



Figure II .1 : Laboratoire étude et contrôle technique (LECT)

II.3. Les Fonctionnements de LECT :

II.3.1. Domaine Géotechnique, mécanique des sols et matériaux :

- Géotechnique pour bâtiment, les ouvrages routiers.
- Etudes et Contrôles des routes.
- Contrôle des compactages.
- Etudes, Formulations des bétons.
- Elaboration des essais sur granulats et divers matériaux de construction.
- Ecrasements des éprouvettes de béton.
- Expertises sclérotiques et l'ultrasoniques.

II.3.2. Domaine de Contrôle Routier :

- Agrément des matériaux.
- Exécution des planches d'essais.
- Vérification de l'application des spécifications exigées par le C.P.S.
- Expertises et contre expertises.

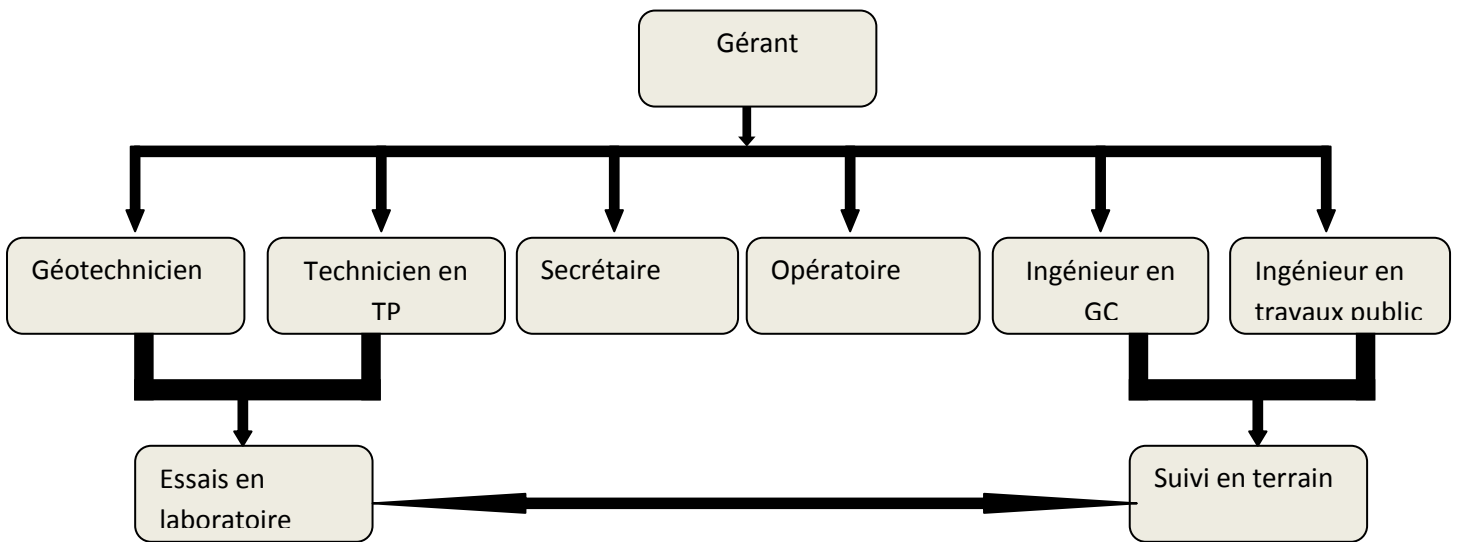


Figure II. 2 : Organigramme de Laboratoire étude et contrôle technique(LECT)

- Le béton est un composite hétérogène qui résulte du mélange intime de ciment, de granulats, d'eau et parfois d'adjuvants.

Ces constituants sont dosés de manière à obtenir, après durcissement un produit solide dont les propriétés mécaniques peuvent être très supérieures à celles des roches naturelles. [40]

II.3.3. Les Échantillons Des Granulats Soumis Aux Essais Sont Suivants :

II.3.3.1. Les Méthodes D'essais Et D'analyses :

1. Essais D'identification Sur Les Granulats :

- Analyse granulométrique : **NF-P 18-560**
- Masse volumique apparente et absolue des granulats: **NF-P 18-554**
- Équivalent du sable: **NF-P 18-598**
- Module de finesse.

2. Essais Sur Le Béton Frais :

- Affaissement au cône d'ABRAHAM : **NF-P 18-451**

3. Essai Sur Béton Durci : Nf-P 18-554

- Essai de compression sur éprouvettes de béton $\Phi 16 \times 32$.
- Provenances des matériaux pour la formulation
- Les granulats qui font l'objet de cette étude sont localisés dans la région d'ADRAR, et leur provenance est comme suit :
- Gravier **3/8** : concasseur GAROUT.
- Gravier **8/15** : concasseur GAROUT
- Gravier **15/25** : concasseur GAROUT
- Sable : Des Dunes D'Abou Commune Deldoul Adrar (**X=211377,06/ Y=3185925,85**)
- Ciment **CEM I 42,5 N HRS1**.

- Eau de gâchage : Eau potable.
- Les Adjuvants sont : (adjuvant MastreGlenium 26, adjuvant MastreGlenium SKY 841 et L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R)

II.4. Détermination des propriétés principales des constituants du matériau de béton :

II.4.1. Les Agrégats :

II.4.1.1. Introduction et définitions :

On appelle «granulats» les matériaux inertes, sables et graviers qui entrent dans la composition des bétons ; c'est l'ensemble des grains compris entre 0 et 25 mm dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage. [41]

II.4.1.2. Gravier :

Le gravier est un granulats naturels on exploite des matériaux déjà fragment par altération.

Quelque fois on utilise les matériaux tels que, quelque fois on les lave pour en extraire les particules les plus fines, quelque fois on les concasse pour réduire la dimension des plus grosses particules. [42].



Figure II.3 : Gravier de Concasseur GAROUT.

II.4.1.2.1. Classification de gravier :

On distingue :

- Gravier de classe : 3/8 « d/D »
- Gravier de classe : 8/15 « d/D »
- Gravier de classe : 15/25 « d/D »

II.4.1.3. Sable :

Le sable est une roche sédimentaire meuble constituée de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0.063 mm et 2 mm. [43].



Figure II.4 : Sable de dunes D'ouled Abou Commune Daldoul Adrar.

II.4.1.3.1. Caractéristiques de sable et des graviers :

Parmi les caractéristiques du sable et du gravier qui jouent un rôle remarquable pour obtenir une meilleure composition du matériau béton caractérisé par sa résistance mécanique à la compression, citons :

- La propreté du sable.
- Le module de finesse.

II.4.1.3.2. La propreté du sable :

La propreté du sable est obtenue par l'essai dite ; Equivalent de sable.

II.4.1.3.2.1 But de l'essai de L'Equivalent de sable :

Permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les sols ou agrégats fins. Pour un béton, ces fines risquent d'inhiber l'hydratation du liant et l'adhérence avec les agrégats.

Cette solution est composée pour 11 de solution de :

- 111 g+g de chlorure de calcium,
- 480 g+5g de glycérine,
- 12à13 g de solution aqueuse de formaldéhyde .42110.

La solution est à compléter à 5 litres avec l'eau distillée pour être conservée entre 2 à 4 semaines. [44]

II.4.1.3.2.2 Matériel utilisé pour l'essai de l'équivalent de sable :

Eprouvettes en matière plastique, avec 2 traits repères ($\Phi_{int} = 32$ mm, $h = 430$ mm, entonnoir, tamis, spatule, balance, thermomètre, récipients, machine agitatrice électrique ou manuelle, réglet de mesure et piston taré comporte trois vis formant des butées (masse 1Kg).

II.4.1.3.2.3 Préparation de l'échantillon :

L'essai s'effectue sur un échantillon de sable humide afin d'éviter les pertes d'argile. Il faut vérifier que les grains de sable ont bien un diamètre inférieur à 5mm par tamisage et vérifier que la masse sèche de l'échantillon soit de 120g. [45]

II.4.1.3.2.4 L'Essai de L'Equivalent de sable :

Le sable est incorporé dans une éprouvette normalisée et préalablement remplie de solution « lavant ». L'ensemble est agité à la main pour bien humidifier la sable et déloger les bulles d'air.

L'humidification dure dix minutes.

L'éprouvette est ensuite placée verticalement et on fait l'agitation manuellement l'éprouvette est agitée 90 fois en 45 secondes.



Figure II.5 Les Etapes de mesure les hauteurs de L'essai équivalent de sable.

II.4.1.3.2.5 Interprétation des résultats et qualité du sable :

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES < 65%	ES < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. sable à rejeter pour des bétons de qualité.
$\%65 \leq ES < 75\%$	$\%65 \leq ES < 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante 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 de haute 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 du dosage en eau.

Tableau II.1 : Résultats et qualité du sable

II.4.1.3.3. Module de finesse :

Les sables sont caractérisés par le module de finesse (MF). Le module de finesse d'un granulat est égal au **1/100** de la somme des refus cumules exprimés en pourcentage, sur différence tamis. Le module de finesse surtout utilisé pour les sable permet de caractériser leur granularité par une seul valeur celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable

plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin. un module de finesse élevée caractérise un sable grossier. [46]

Le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis d'ouverture (exprimée en mm) 0,16 – 0,315 – 0,63 – 1,25 – 2,5 – 5.

Ce paramètre est en particulier utilisé dans les calculs de composition des bétons.

- Le module de finesse Sable : Des Dunes D'abou Commune Deldoul Adrar : ($X=211377,06 / Y=3185925,85$) est $MF=2.22$ répondant au sable admissible préférentiel, à savoir : $2.2 < MF < 2.8$
- Le pourcentage du passant au tamis de maille 0.08 mm est 3.2% inférieur à **10%**
- L'analyse granulométrique effectuée montre que le sable s'insère dans le fuseau de référence des bons sables pour la formulation de béton.

II.4.1.3.4. L'analyse granulométrique :

La granulométrie est l'étude de la distribution statistique des tailles d'une collection d'éléments fins de matière naturelle ou fractionnée.

L'analyse granulométrique est l'élément composant la collection. La distribution granulométrique est la représentation sous forme de nombres ou de graphique des résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique. On associe parfois à l'analyse granulométrique l'analyse de la distribution statistique de la forme des grains, il s'agit du granulome.

II.4.1.3.4.1. Définition :

- Tamisât** : la quantité matériau qui passe à travers le tamis.
- Courbe granulométrique** : représentation du pourcentage massique p des différents tamisât en fonction de la dimension nominale d'ouverture des tamis.
- Refus** : parti de l'échantillon qui n'est pas passé à travers les mailles du tamis.
- Refus cumulé** : c'est la somme de tous les refus, celui du tamis lui-même plus tous les refus des tamis de maille plus grande. Il peut être exprimé en gramme ou en % de refus cumulés.

II.4.1.3.4.2. But de l'essai de L'analyse granulométrique:

- ✓ Déterminer le grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.
- ✓ Déterminer de la répartition en poids des éléments d'un matériau suivant leurs dimensions.
- ✓ Tracer la courbe granulométrique.
- ✓ Déterminer de coefficient d'uniformité CU et coefficient de courbure CC.

II.4.1.3.4.3. Le Principe l'essai:

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis.

Emboîtées les uns les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

Le matériau étudié est placé en partie supérieur des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

II.4.1.3.4.4. Appareillage utilisé :



Figure II.6 Analyse granulométrique de sable et de gravier

II.4.1.3.4.5. Mode opératoire de l'essai de L'analyse granulométrique:

- Constituer la colonne de tamis dans décroissant de haut vers le bas après avoir pesé chacun d'eux vide.
- Mettre l'échantillon dans le tamis supérieur.
- Vibrer manuellement la colonne de tamis.
- Pour les sols fins, en se servira d'un vibor-tamis.
- Pour les sols grossis, la vibration est manuelle.

Reprendre un à un les tamis pour compléter le tamisage à l'aide d'un pinceau (ne jamais force les éléments à passer à travers les mailles) et les peser.

Récupérer les particules se trouvant dans le fond qui ferme la colonne et les peser si ce poids dépasse 5% du poids initial l'analyse granulométrique doit être complétée par la sédimentométrie.

II.4.1.3.4.6. Présentation des résultats :

Pour éviter de faire intervenir la masse de l'échantillon soumis à l'essai de tamisage, on a pris l'exprimer les résultats en pourcentage de la masse totale de l'échantillon, en fait, en pourcentage des tamisages cumulés. Le pourcentage des tamisages cumulés sur un tamis représente le pourcentage de toutes les particules du matériau donné qui traversent ce tamis et tous les tamis ayant une ouverture de maille plus petite.

Pour arriver à formuler les résultats de l'essai de tamisage, on procède de la façon suivante :

On commence par calculer la masse des refus cumulés sur chacun des tamis en divisant chacun des masses cumulées précédentes par la masse totale de l'échantillon soumis à l'essai.

On calcul ensuite le pourcentage des refus cumulés sur chacun des tamis en divisant chacun des masses cumulées précédentes par la masse totale de l'échantillon soumis à l'essai.

On calcul enfin le pourcentage des tamisas cumulés en calculant le complément à **100** des refus cumulés. [47]

II.4.2 Le Ciment :

Le ciment est un liant hydraulique se présente sous la forme d'une poudre minérale fine s'hydratant en présence d'eau. Il forme une pâte faisant prise qui durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. C'est la constituante fondamentale du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide. [48]

On utilise dans les essais le ciment CEM I 42,5 N HRS 1

II.4.3. L'Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est l'eau que l'on mélange au ciment pour obtenir la pâte de ciment, et avec le granulat pour obtenir le mortier ou béton.

Cet eau sert non seulement pour l'hydratation du ciment « réaction » entre le ciment et l'eau mais pour son ouvrabilité (plasticité) ; c'est-à-dire faciliter l'écoulement et le travail avec la pâte obtenue. on utilise dans l'essai l'eau potable (l'eau de robinet).[49]

II.4.3.1. Quantité d'eau à utiliser :

La quantité d'eau utilisée ou plus précisément le rapport eau/ciment, dans l'essai on utilise $(E/C) = 0.49$.

II.5. Caractéristiques Physiques Des Granulats :

II.5.1 Masse Volumique :

La masse volumique ρ est le rapport de la masse sur unité de volume en notée : ρ (g/cm^3 , Kg/m^3).

II.5.1.1 But de l'essai :

Etude des masses volumiques des granulats en vue de la détermination des différents dosages des matériaux entrant dans la composition d'un béton.

II.5.1.2. Type De Masse Volumique :

On distingue deux types de masse volumique :

1. Masse volumique apparente.
2. Masse volumique absolue.

II.5.1.2.1. Masse Volumique Apparente :

- La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.
- La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté. [50]

II.5.1.2.1.1. Appareillage :

1. Récipient.
2. Balance électrique.
3. Un bac métallique.

II.5.1.2.1.2. Mode opératoire de la Masse Volumique Apparente :

1. Déterminer le volume de récipient $V=1005 \text{ cm}^3$.
2. Noter la masse de récipient propre et à vide M_0 .
3. Verser les granulats secs, par couches successives et sans tassement : utiliser les mains comme entonnoir naturel.
4. Araser à l'aide d'une règle métallique pour que le volume des granulats soit égale au volume du récipient.
5. Noter la masse de récipient remplis M_1 .
6. Renouveler l'opération 4 fois.

La masse volumique apparente est donnée par :

$$\rho_{app} = \frac{M}{V}$$



Figure II.7: Notation de la masse des granulats

II.5.1.2.2 La Masse Volumique Absolue :

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. [51]

Cet essai est très simple et très rapide. Toute fois sa précision est faible.

II.5.1.2.2.1 Mode opératoire :

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de granulats (**500g**) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 .

La masse volumique est alors :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$



Figure II.8 : Eprouvette pour la masse volumique

II.6. L'Essai sur le béton frais :

Il existe de nombreux essais et teste divers permettant la mesure de certaines caractéristique dont dépend l'ouvrabilité. On n'en citera que quelques uns qui sont les plus comment utilisés dans pratique.

II.6.1 Essai de l'affaissement au cône d'Abrams (NF P 18-451) :

Cet essai incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile a mettre en œuvre.

II.6.1.1 But de l'essai de l'affaissement de béton :

Cet essai est exécuté sur le béton frais en vue de déterminer l'ouvrabilité de béton.

Il s'agit de mesure l'affaissement d'une asse de béton frais après démoulage et les résultats obtenu permettent de classer le béton selon leur maniabilité.

II.6.1.2 Principe de l'essai de l'affaissement de béton :

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet des propre poids. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide.

II.6.1.3 Appareillage Essai de l'affaissement au cône d'Abrams :

L'appareillage est complètement décrit dans la norme **NF P 18-451** et est schématisé sur la figure un moule tronconique sans fond de **30 cm** de haut, de **20 cm** de diamètre en sa partie inférieur et de **10 cm** de diamètre en sa partie supérieur.

- Une plaque d'appui.
- Une tige de piquage.
- Un portique de mesure.



Figure II.9 : Appareillage cône d'Abrams.

II.6.1.4 Mode opératoire de L'Essai de l'affaissement:

1. Nettoyage et humidification de la surface d'appui à l'aide d'une éponge.
2. Mise en place le béton par piquage en trois couches avec 25 coupes.
3. Arasement.
4. Soulèvement du moule tronconique.
5. Mesuré l'affaissement S après une minute de démoulage.



Figure II.10 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams

On peut admettre qu'il caractérisé bien la consistance d'un béton et permet le classement approximatif indiqué au tableau :

Classe de consistance	Affaissement (cm)
Ferme F	0 à 4
Plastique P	5 à 9
Très plastique TP	10 à 15
Fluide FL	≥ 16

Tableau II.2 : appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône d'abrams.

II.6.2 L'Essai de L'écrasement des éprouvettes du béton :

II.6.2.1 L'écrasement des éprouvettes :

II.6.2.2 L'objectif de l'essai :

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton de l'éprouvette. [52]

II.6.2.3 Principe de l'essai de L'écrasement des éprouvettes du béton :

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. [53]

II.6.2.4 Matériaux et matériels nécessaires :

Une machine d'essai qui est une presse de force et de dimension appropriées à l'éprouvette à tester et répondant aux prescriptions des normes **NF P 18-411** et **NF P 18-412**. [54]



Figure II.11 : Appareillage de l'essai d'écrasement

II.6.2.5 Mode opératoire l'essai de L'écrasement des éprouvettes du béton :

1. Rectifie les extrémités des éprouvettes : surfaçage au soufre.
2. Peser les éprouvettes.
3. Mise en place et centrage de l'éprouvette.
4. Mise en charge.
5. Appliquer la charge jusqu'à la rupture. [55]



Figure II.12 : Etape d'essai la préparation et de confection du béton.



Figure II.13 : Etape d'écrasement du béton.

II.7. L'étude Du Composition D'un Béton:

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ; ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage en cause. Plusieurs méthodes ont été développées afin d'avoir une composition meilleure du béton dans les deux volées ; qualitative et quantitative. [56]

La méthode qu'on a vue et familiarisée au niveau de laboratoire des Etudes et Contrôles Techniques (L.E.C.T) est celle de FAURY

II.7.1. La Méthode DE FAURY :

En 1942 J.FAURY propose, comme suite à une étude générale du béton, une Nouvelle loi de granulation du type (continu). Après avoir établi l'analyse granulométrique des granulats (sable, gravier), on trace le tableau des résultats de la manière ci-dessous, pour les graviers et pour le sable, et On procède au calcul de la composition.

Les étapes de calcul de la méthode de FAURY :

- 1- Détermination du diamètre maximal.
- 2- Détermination du point de brisure (pour la courbe de référence).
- 3- Détermination de la quantité d'eau théorique.
- 4- Détermination du volume absolu du béton sec.
- 5- Détermination du pourcentage de ciment dans le volume du béton sec.
- 6- Détermination des pourcentages de granulats d'après la courbe de référence et les courbes granulométriques des granulats.
- 7- Détermination des quantités de composant. [57]

II.7.1.1 Détermination du D_{max} :

$$D_{max}(\text{en mm}) = D_1 + \frac{(D_1 - D_2) \cdot x}{y} \quad (1)$$

D_1 : 1^{er} Ø du gravier (diamètre théorique de l'analyse granulométrique)

D_2 : seconde Ø du gravier (diamètre juste inférieur à D_1)

x : 100% - (100% de D_1)

y : % D_1 - % D_2

II.7.1.2. Détermination du point de brisure (pour la courbe de référence) :

$$Y = A + 17 \sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75}, \quad \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75} \approx 0 \quad (2)$$

Donc: $Y = A + 17 \sqrt[5]{D_{max}} \quad (3)$

D'où on sort le point

Y en % sur l'ordonnée du point de brisure (pour la courbe de référence).

$$X = D_{max}/2 \quad (4)$$

X en mm sur l'abscisse du point de brisure (pour la courbe de référence).

A: constante, traduisant la maniabilité du béton et choisi à partir du tableau de FAURY.

A=30 pour des graviers concassés avec un sable roulé.

II.7.1.3 Détermination de la quantité d'eau théorique :

$$E = \frac{K}{\sqrt[5]{D_{\max}}} \longrightarrow (5)$$

K : coefficient dépendant des agrégats, de la consistance et de la masse en place du béton.

II.7.1.4 Détermination du volume absolu de béton sec :

$$Va = 1000 - E \longrightarrow (6)$$

Avec : **Va** : le volume absolu du béton sec ou volume des grains solides.

II.7.1.5 calcul de pourcentage de ciment : dosage 350 kg/m³

Toujours pour 1m³

II.7.1.6 volume de ciment Vc :

$$Vc = \text{dosage de ciment} / \text{la densité de ciment.} \longrightarrow (7)$$

En générale la densité de ciment = 3.1

II.7.1.7 pourcentage du ciment :

$$C\% = (\text{volume de ciment} / \text{volume absolu du béton sec}) \times 100 \longrightarrow (8)$$

$$Va = 1000 - E \text{ Donc } C\% = \left(\frac{Vc}{Va} \right) \times 100. \longrightarrow (9)$$

II.7.1.8 Détermination des pourcentages de granulats d'après la courbe de référence :

Détermination des quantités de composant :

$$Sable = Va \times \%S \times d_s \longrightarrow (10)$$

Avec : **%S** : pourcentage de sable.

d_s : Densité du sable.

$$Gravier(3/8) = Va \times \%G \times d_G \longrightarrow (11)$$

Avec : **%G** : pourcentage du gravier (3/8).

d_G : Densité du gravier (3/8).

$$\text{Gravier}(8/15) = Va \times \%G \times d_G \longrightarrow (12)$$

Avec : %G : pourcentage du gravier (8/15).

d_G : Densité du gravier (8/15).

$$\text{Gravier}(15/25) := Va \times \%G \times d_G \longrightarrow (13)$$

Avec : %G : pourcentage du gravier (15/25).

d_G : Densité du gravier (15/25).

II.7.1.9 Détermination de pourcentage de ciment :

$$\text{Ciment} = Va \times \%C \times d_C \longrightarrow (14)$$

Avec : %C : pourcentage de ciment.

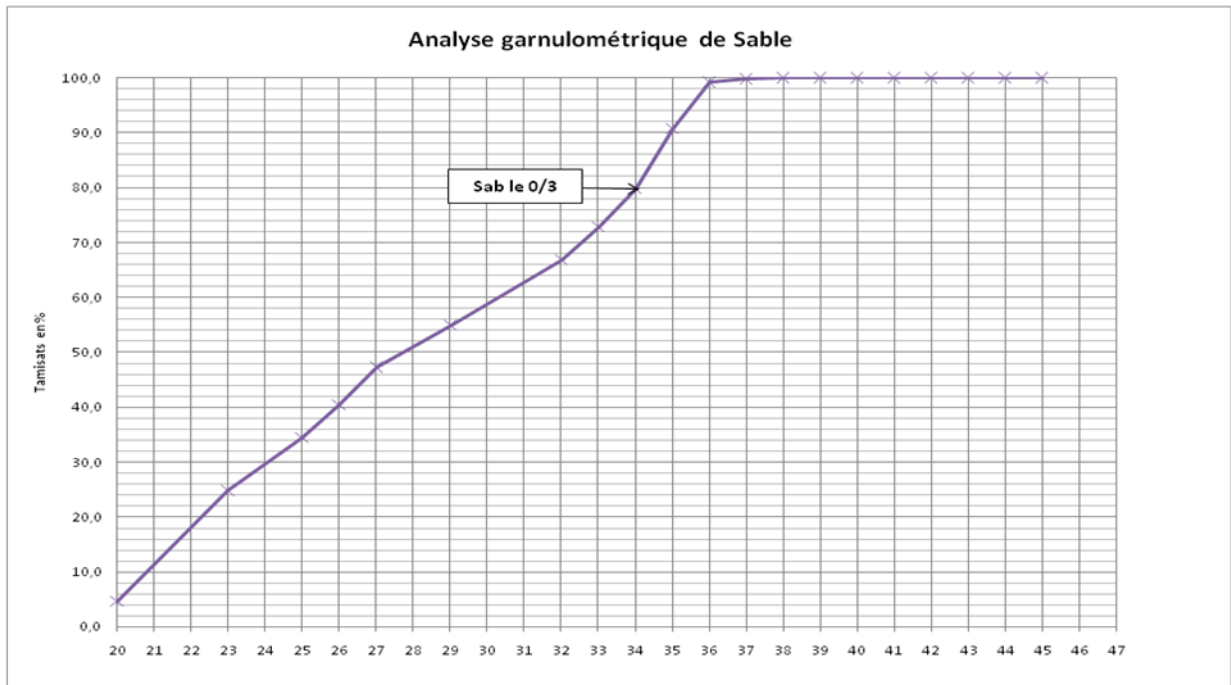
d_C : Densité du ciment.

II.8. L'ESSAI N° 01 : Analyse Granulométrique.

- Désignation des matériaux : Sable 0/3
- Provenance: Sable des dunes D'OULEDE ABBOU Commune DELDOUL Daïra AOUGROUT. W - Adrar.

Masse totale sèche: Ms = 1000 g [NA 453]				
Tamis ouverture (mm)	Module tamis	Masse des refus cumulés (g)	% des refus cumulés Ri*100/Ms	% des tamisats cumulés
5	38	0,0	0,0	100,0
4	37	1,7	0,2	99,8
3,15	36	8,2	0,8	99,2
2,5	35	93,0	9,3	90,7
2	34	201,4	20,1	79,9
1,6	33	271,0	27,1	72,9
1,25	32	331,2	33,1	66,9
0,63	29	451,2	45,1	54,9
0,4	27	527,6	52,8	47,2
0,315	26	596,5	59,7	40,4
0,25	25	655,4	65,5	34,5
0,16	23	752,5	75,3	24,8
0,08	20	954,2	95,4	4,6
0,063	19	979,4	97,9	2,1
fond		988,7	98,9	1,1

Tableau II.3 : Analyse Granulométrique de Sable



Figures II.14 : Analyse Granulométrique de Sable

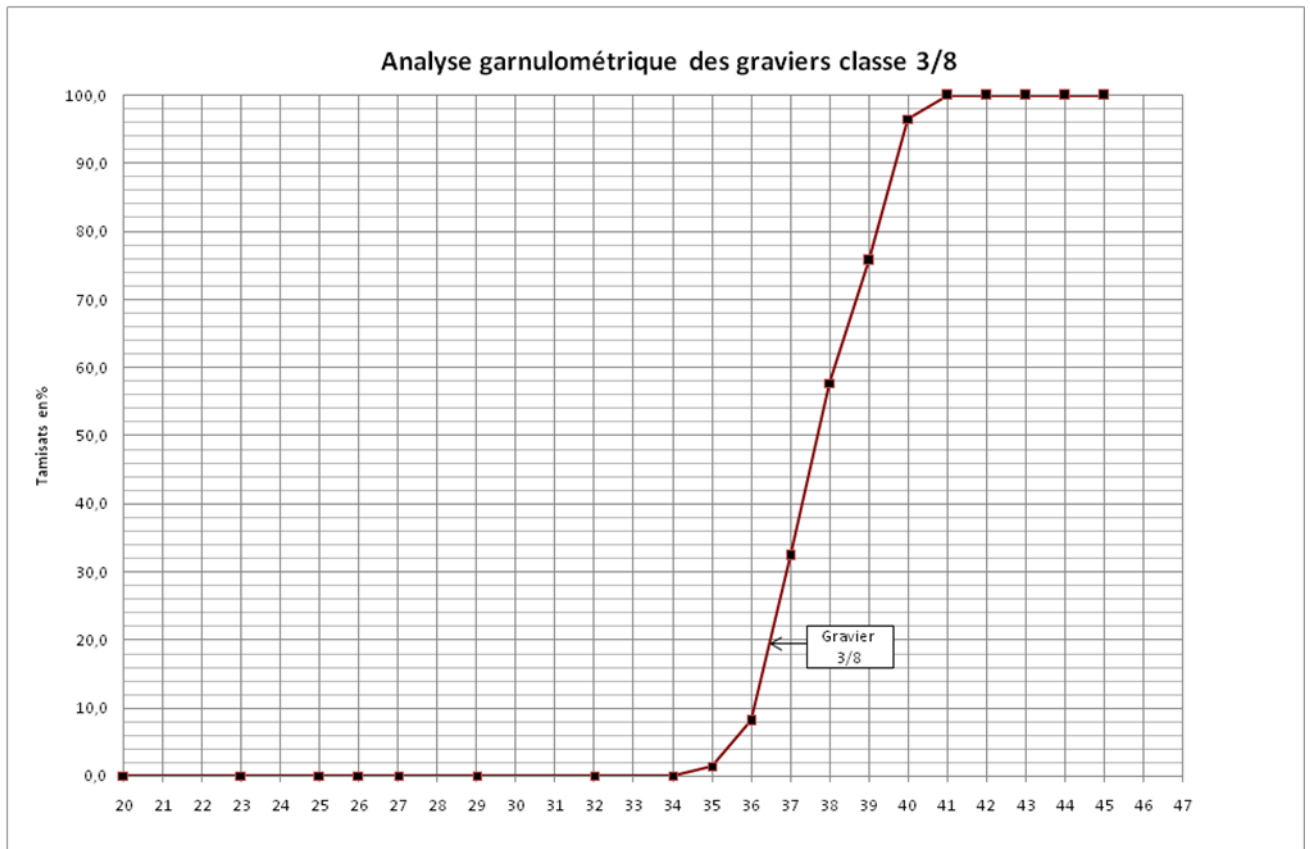
NB : La courbe granulométrique montre que le sable des dunes D'OULED ABOU Commune DALDOUL Adrar à une granulométrie continue.

Désignation des matériaux : Gravier 3/8

Provenance: concasseur GAROURT . W-Adrar.

Masse totale sèche: Ms = 2000 g [NA 453]				
Tamis ouverture (mm)	Module tamis	Masse des refus cumulés (g)	% des refus cumulés $R_i * 100 / M_s$	% des tamisats cumulés
10	41	0,0	0,0	100,0
8	40	69,5	3,5	96,5
6,3	39	485,6	24,3	75,7
5	38	845,1	42,3	57,7
4	37	1353,7	67,7	32,3
3,15	36	1837,5	91,9	8,1
2,5	35	1972,0	98,6	1,4
fond	19	2000,0	100,0	0,0

Tableau II.4 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 3/8



Figures II.15 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 3/8

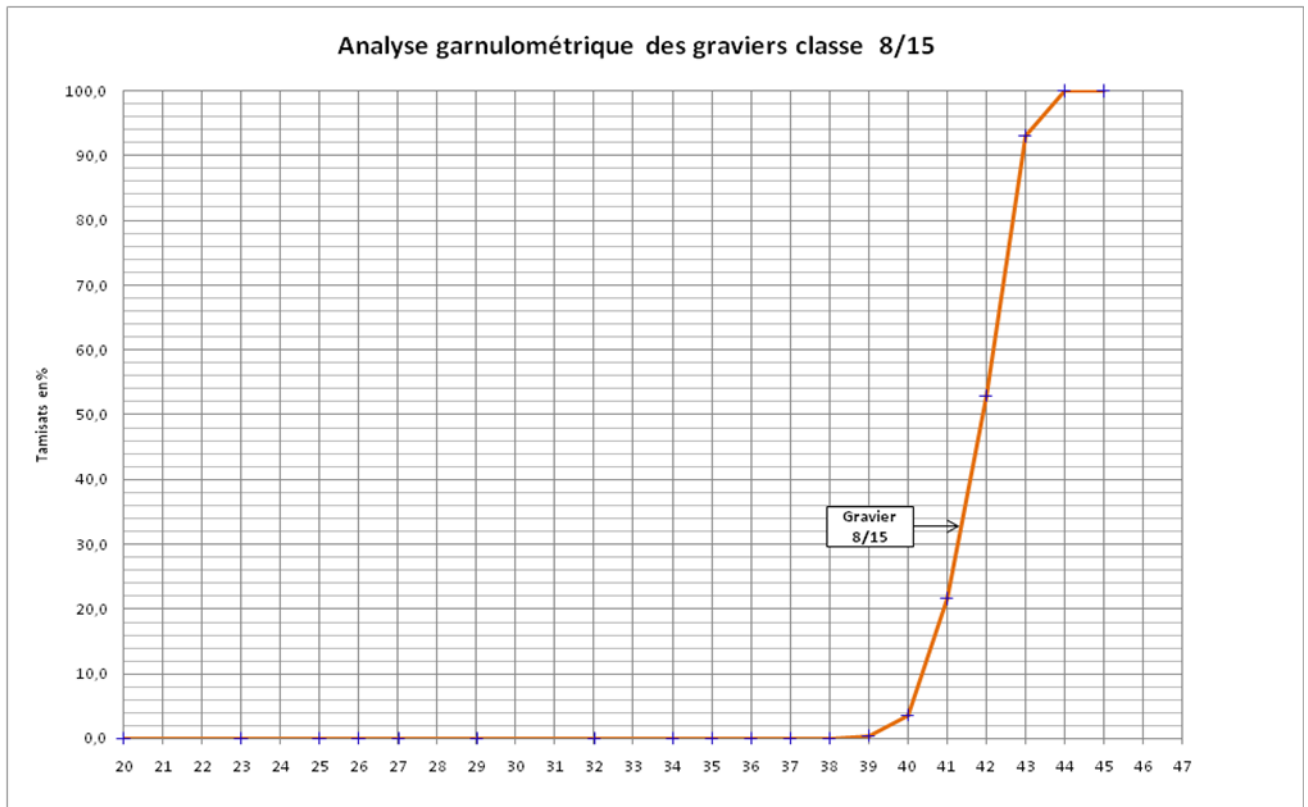
NB : La courbe granulométrique du gravier 3/8 est incluse dans le fuseau de spécification.

Désignation des matériaux : Gravier 8/15

Provenance: concasseur GAROURT. W-Adrar.

Masse totale sèche: Ms = 3500 g [NA 453]				
Tamis ouverture (mm)	Module tamis	Masse des refus cumulés (g)	% des refus cumulés Ri*100/Ms	% des tamisats cumulés
20	44	0,0	0,0	100,0
16	43	243,8	7,0	93,0
12,5	42	1645,9	47,0	53,0
10	41	2743,8	78,4	21,6
8	40	3376,7	96,5	3,5
6,3	39	3485,2	99,6	0,4
fond	19	3500,0	100,0	0,0

Tableau II.5 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 8/15



Figures II.16 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 8/15.

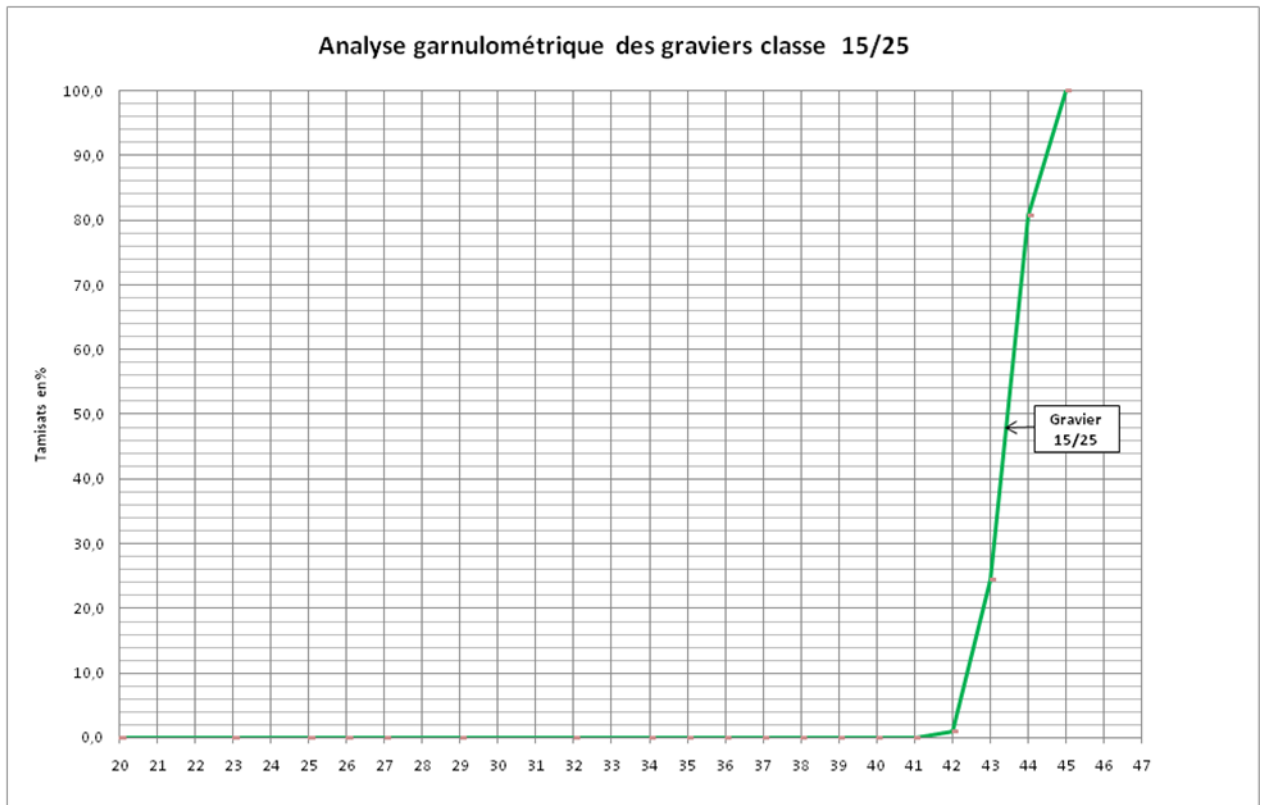
NB : La courbe granulométrique du gravier 8/15 est incluse dans le fuseau de spécification.

Désignation des matériaux : Gravier 15/25

Provenance: concasseur GAROURT. W-Adrar.

Masse totale sèche: Ms = 5000 g [NA 453]				
amis ouverture (mm)	Module tamis	Masse des refus cumulés (g)	% des refus cumulés Ri*100/Ms	% des tamisats cumulés
25	45	0,0	0,0	100,0
20	44	958,9	19,2	80,8
16	43	3782,1	75,6	24,4
12,5	42	4956,6	99,1	0,9
fond	0	5000,0	100,0	0,0

Tableau II.6 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 15/25



Figures II.17 : Analyse Granulométrique de Gravier classe 15/25.

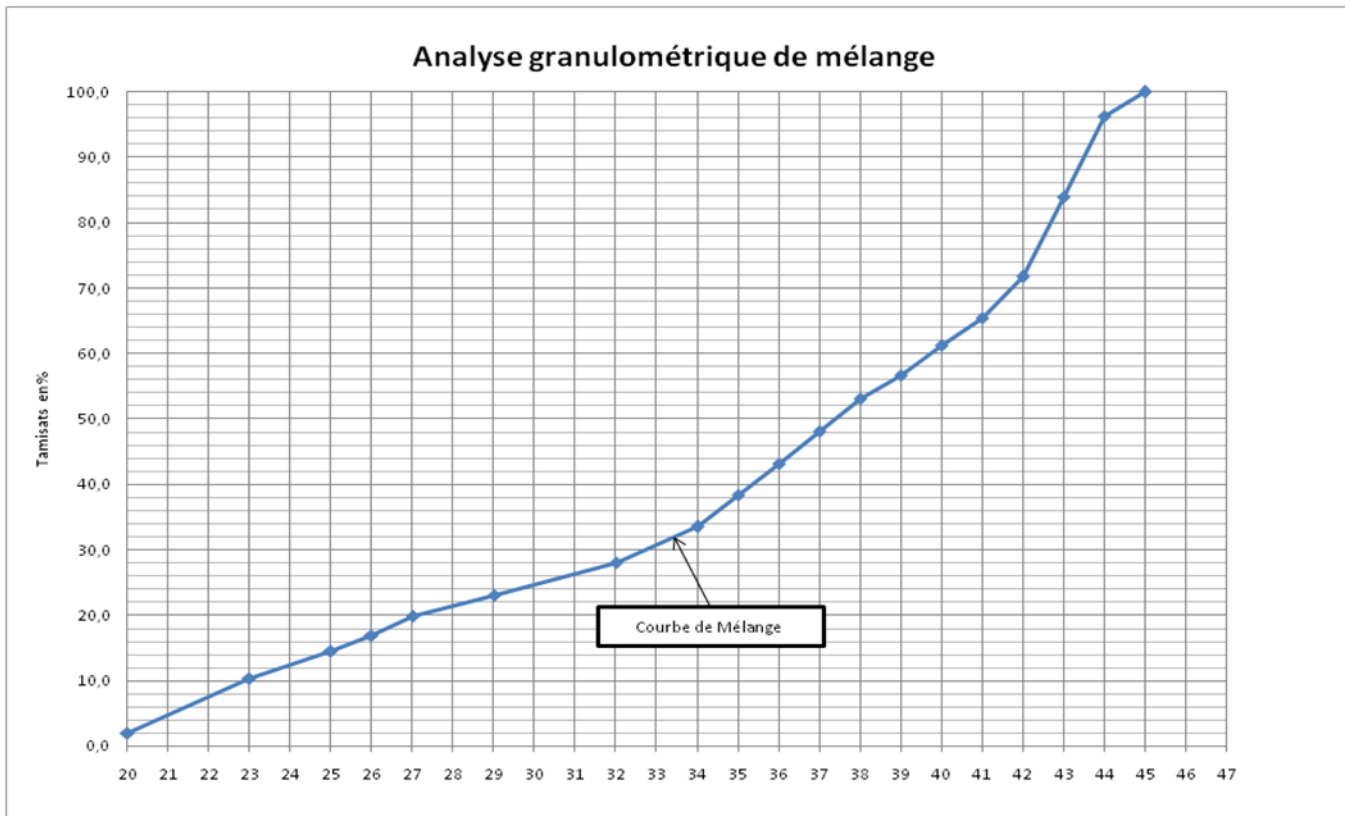
NB : La courbe granulométrique du gravier 15/25 est incluse dans le fuseau de spécification.

NB : Les trois classes granulaires telles que 3/8 - 8/15 - 15/25, montre que les graviers sont à granulométrie continue.

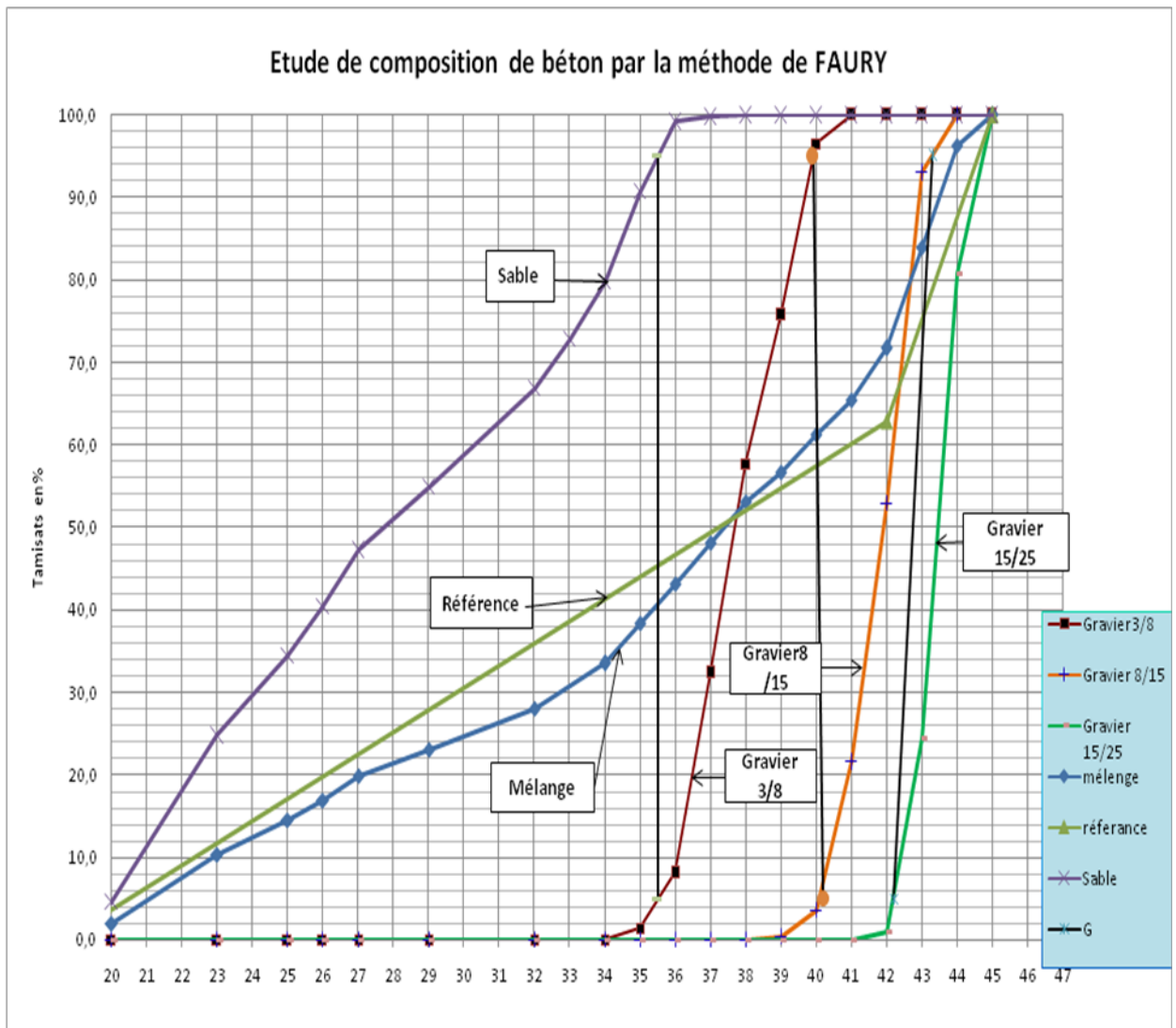
Détermination des pourcentages des composants :

Coubre de mélange							
Dosage : 350 kg/m ³							
Tamis	ciment	sable	Gravier _{3/8}	Gravier _{8/15}	Gravier _{15/25}	Mélange	Module tamis
25	13.7	34.3	12,00	17	23	99,96	45
20	13.7	34.3	12,00	17	19	95,55	44
16	13.7	34.3	12,00	16	6	81,38	43
12,5	13.7	34.3	12,00	9	0	69,16	42
10	13.7	34.3	12,00	4	0	63,63	41
8	13.7	34.3	11,58	1	0	60,14	40
6,3	13.7	34.3	9,08	0	0	57,11	39
5	13.7	34.3	6,93	0	0	54,98	38
4	13.7	34,2	3,88	0	0	51,78	37
3,15	13.7	34,0	0,98	0	0	48,65	36
2,5	13.7	31,1	0,17	0	0	44,94	35
2	13.7	27,4	0,00	0	0	41,05	34
1,25	13.7	22,9	0,00	0	0	36,60	33
0,63	13.7	18,8	0,00	0	0	32,5	32
0,4	13.7	16,2	0,00	0	0	29,9	29
0,315	13.7	13,8	0,00	0	0	27,5	27
0,250	13.7	11,8	0,00	0	0	25,5	26
0,16	13.7	8,5	0,00	0	0	22,1	25
0,08	13.7	1,6	0,00	0	0	15,2	23
0,063	13.7	0,7	0,00	0	0	14,4	20
fond	13.7	0,4	0,00	0	0	16,3	19

Tableau II.7 : Analyse Granulométrique de mélange.



Figures II.18 : Analyse Granulométrique de mélange.



Figures II.19 : Etude de composition du béton par la méthode de FAURY.

NB : la composition granulométrique optimale, représentée par une ligne de référence qui est proche de la ligne de mélange.

II.9.Les Adjuvant :

Les adjuvant sont des produits solubles dans l'eau qui incorporés aux béton à des doses qui doivent être inférieurs à 5% du poids de ciment, permettent d'améliorer certaines de ses propriétés .on utilise trois(03) adjuvants superplastifiant différents, ses caractéristiques sont représentées dans le tableau suivant :

Adjuvant	Nom commercial	Forme	Dosage	Densité (g/ml a 20°C)
Superplastifiant, haut réducteur d'eau pour béton, Hautes performances et très long maintien d'ouvrabilité.	MastreGlenium 26	Liquide visco	0,3% à 2% du poids du ciment, soit 0,28 litre a 1,90 litre pour 100 kg de ciment.	1,08±0,02 g/cm ³

Tableau II.8 : caractéristiques de L'Adjuvant MastreGlenium 26

NB : On à choisi le dosage 1,2L de l'adjuvant **MastreGlenium 26** pour le dosage de ciment 100 KG et pour le dosage de 350 KG de ciment donc la quantité équivalente de l'adjuvant est : 4,2L/M³.

Adjuvant	Nom commercial	Forme	Dosage	Densité (g/ml a 20°C)
Superplastifiant, haut réducteur d'eau, Hautes performance et très long maintien d'ouvrabilité, Béton prêt à l'emploi, béton pompé, béton autoplaçant, béton architectonique.	MastreGlenium SKY 841	Liquide visco	0,2% à 3% du poids du ciment, soit 0,19 litre a 2,83 litre pour 100 kg de ciment.	1,06±0,03 g/cm ³

Tableau II.9 : caractéristiques de L'Adjuvant MastreGlenium SKY 841

NB : On à choisi le dosage 2,0 L de l'adjuvant **MastreGlenium SKY 841** pour le dosage de ciment 100 KG et pour le dosage de 350 KG de ciment donc la quantité équivalente de l'adjuvant est : 7 L/M³.

Adjuvant	Nom commercial	Forme	Dosage	Densité (g/ml a 20°C)
Superplastifiant, haut réducteur d'eau pour béton, Hautes performance, long maintien d'ouvrabilité .éviter la ségrégation, faciliter la mise en œuvre du béton, diminuer le retrait et la porosité, augmente la durabilité, un effet retardataire comme action secondaire.	MEDAFLOW 3041 R	Liquide visco	0,5% à 2% du poids du ciment, soit 0,46 litre a 1,85 litre pour 100 kg de ciment.	1,08±0,01 g/cm ³

Tableau II.10 : caractéristiques de L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R

NB : On à choisi le dosage 1,4L de l'adjuvant **MEDAFLOW 3041 R** pour le dosage de ciment 100 KG et pour le dosage de 350 KG de ciment donc la quantité équivalente de l'adjuvant est : $4,9 \text{ L/M}^3$.

II.10. L'ESSAI N° 01 : Caractéristique chimique des granulats :

NB : Ces des analyses ont été pris a partir de LTPS dans rapport d'analyse des agrégats du concasseur GAROUT.

Essai	Sable 0/3	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Exigence normative
Filler%	5	/	/	/	/
Insolubles%	19	4,4	2,3	2,6	/
Sulfates%	0	0,96	1,44	0	< 0,4
Carbonates%	75	87	88	92	/
Chlorures%	0	0	0	0	/

II.11. L'ESSAI N° 02 : Equivalent de Sable

- **Nature l'échantillon** : Sable des dunes D'OULED ABBOU commune DELDOUL
- **Hauteur H_1** : niveau supérieur de flocculat par rapport au fond de l'éprouvette.
- **Hauteur H_2** : hauteur jusqu'au sable sédimenté A l'aide de piston ou la règle.

Résultats :

	Echantillon		
	Essai 01	Essai 02	Essai 03
Hauteur total H_1 (cm)	10,5	10,5	10,5
Hauteur total H_2 (cm)	7,9	7,8	7,5
$ES = (H_1 / H_2) \times 100$	75 %	74 %	73,33
ES moyen (%)	73,33		
Observation	ES = 65		

II.12. L'ESSAI N° 03: La masse volumique Absolue et Apparente :

essai	Sable	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
La masse volumique Absolue	2,6	2,73	2,71	2,7
La masse volumique Apparente	1,56	1,42	1,38	1,41

II.13. L'ESSAI N° 04**II.13.1. Composition de béton par la méthode de FAURY :****II.13.2. Composition de béton pour le dosage 350 kg/m³ :****II.13.3. Dosage de granulats :**

Sur un graphique d'analyse granulométrique (linéaire en module de tamis et aussi en dimension de granulats), on trace une composition granulaire de référence **OAB** : Le point (**B**) a l'ordonnées **100 %**) correspond à la dimension (**D₁**) du plus gros granulats et le point de brisure (**A**) à Des ordonnées définies ci-dessous

On applique la méthode de **FAURY** fixant L'abscisse du point de brisure de la courbe de référence au milieu de segment limite par module 42 et le module correspondant **D₂**

II.13.4 Détermination du *D_{max}*:

$$D_{\max}(\text{en mm}) = D_1 + \frac{(D_1 - D_2) \cdot x}{y} \quad (1)$$

D₁ : 1^{re} Ø du gravier (diamètre théorique de l'analyse granulométrique)

D₂ : seconde Ø du gravier (diamètre juste inférieur à **D₁**)

x : 100% - (100% de **D₁**)

y : % **D₁** - % **D₂**

Donc **D_{max} = 25 mm**

II.13.5. Détermination du point de brisure (pour la courbe de référence) :

$$Y = A + 17 \sqrt[5]{D_{\max}} \quad (3)$$

D'où on sort le point

Y en % sur l'ordonné du point de brisure (pour la courbe de référence).

$$X = D_{\max}/2 \longrightarrow (4)$$

X en mm sur l'abscisse du point de brisure (pour la courbe de référence).

A : constante, traduisant la maniabilité du béton et choisi à partir du tableau de FAURY.

$A=30$ pour des graviers concassés avec un sable roulé.

Donc $Y = 62.86\%$ et $X = 12.50 \text{ mm}$

II.13.6. Détermination de la quantité d'eau théorique :

$$E = \frac{K}{\sqrt[5]{D_{\max}}} \longrightarrow (5)$$

Donc $K = 0,33$ et $E = 173 \text{ L/m}^3$

II.13.7. Détermination du volume absolu de béton sec :

$$V_a = 1000 - E \longrightarrow (6)$$

Avec : V_a : le volume absolu du béton sec ou volume des grains solides.

II.13.8. calcul de pourcentage de ciment : dosage 350 kg/m³

Toujours pour 1m³ de béton :

II.13.9. volume de ciment V_c :

$$V_c = \text{dosage de ciment} / \text{la densité de ciment.} \longrightarrow (7)$$

En générale la densité de ciment = 3.1

Donc $V_c = 113 \text{ L/m}^3$

II.13.10. pourcentage du ciment :

$$C\% = (\text{volume de ciment} / \text{volume absolu du béton sec}) \times 100 \longrightarrow (8)$$

$V_a = 1000 - E$ Donc $C\% = \left(\frac{V_c}{V_a}\right) \times 100. \longrightarrow (9)$

$C\% = 13,7 \%$

II.13.11. calcule du pourcentage du sable et gravier (3/8) ; (8/15) ; (15/25) :

$$\text{Sable} = V_a \times \%S \times d_s \longrightarrow (10)$$

Avec : $\%S$: pourcentage de sable.

d_s : Densité du sable.

$$\text{Gravier}(3/8) = Va \times \%G \times d_G \longrightarrow (11)$$

Avec : %G : pourcentage du gravier (3/8).

d_G : Densité du gravier (3/8).

$$\text{Gravier}(8/15) = Va \times \%G \times d_G \longrightarrow (12)$$

Avec : %G : pourcentage du gravier (8/15).

d_G : Densité du gravier (8/15).

$$\text{Gravier}(15/25) := Va \times \%G \times d_G \longrightarrow (13)$$

Avec : %G : pourcentage du gravier (15/25).

d_G : Densité du gravier (15/25).

II.13.12. Détermination de pourcentage de ciment :

$$\text{Ciment} = Va \times \%C \times d_C \longrightarrow (14)$$

Avec : %C : pourcentage de ciment.

d_C : Densité du ciment.

C =	13,7 %
S =	34,3 %
G 3/8 =	12 %
G 8/15 =	17 %
G 15/25 =	23 %

COMPOSITION DU BETON EN POIDS ET VOLUMES APPARENTS

Désignations	Classe	% Des composants	Dosage en KG/M ³	Dosage en Volume apparentes L/M ³	Dosage Manuel	Formes
Ciment	CEM I 42.5N HRS1	13.7%	350	113.0	01 Sac	/
Sable 0/3	0/4	34.7%	737	473	1 Brouette + 3 Pelles	Roulé
Gravier 3/8	2.5/8	12%	271	191	7 Pelles	Concassé
Gravier 8/15	6/16	17%	381	276	10 Pelles	Concassé
Gravier 15/25	12/20	23%	513	364	1 Brouette	Concassé
Eau	Eau Potable	/	173	173	25 L	/
Adjuvant MasterGlenium ^R 26	/	1.2%	/	4.2	0.6 L	/
Adjuvant MasterGlenium SKY 841	/	2%	/	7	1L	/
Adjuvant MEDAFLOW	/	1.4%	/	4.9	0.7 L	/
Poids du M ³ de Béton	/	100%	2425	1570	/	/

Tableau II.11 : Composition Du Béton En Poids Et Volumes Apparents.

NB : On a concédé qu'une Brouette remplie à ras est égale à **55 Litres**, et une pelle égale à **04 Litres**.

- La norme **NF- P 18 102** définit l'essai d'étude :(essai exécuté entièrement en laboratoire avec les constituants qui seront utilisés par le chantier ,dans le but de déterminer la composition du béton étudié, compte tenu des caractéristiques demandées et des conditions de mise en œuvre).
- La composition granulaire de référence étant définie d'après les règles précédentes, on pourra alors réaliser divers essais d'étude de comportement, en particulier la fabrication de quelques éprouvettes de contrôles de résistance et permettant de juger d'un certain nombre de critères essentiels et de corriger éventuellement la formule de composition proposée.

II.14. Conclusion :

Dans le chapitre précédent, nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiés, nous allons effectuer quelques. Essais expérimentaux sur ces bétons,

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ; ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage en cause.

Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau qui incorporés aux bétons à des doses qui doivent être inférieurs à 5% du poids de ciment

Les adjuvants utilisées sont : (adjuvant MastreGlenium 26, adjuvant MastreGlenium SKY 841 et L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R)

Dans ce chapitre, les informations détaillées sur les propriétés des matériaux utilisés, nous permettent d'avoir un béton répondant à la norme en vigueur.

Etant donné que notre béton est destiné aux ouvrages hydrauliques (réservoir de stockage d'eau), le ciment utilisé dans cette étude est du type CEM I 42.5 HRS 1

Quant au gravier ; trois classes granulaires sont introduites dans le béton utilisées, (3/8) et (8/15) et (15/25), cela nous permet d'obtenir une granulométrie continue.

On a utilisé un type de sable (sable des dunes D'OULED ABOU Commune DALDOUL Adrar), caractérisé par une granulométrie continue, avec un équivalent du sable admissible, ces caractéristiques répondent aux normes en vigueur.

L'eau de gâchage c'est l'eau de robinet d'ADRAR

Les différents adjuvants utilisés, présentent des caractéristiques normalisés.

Notre formulation de béton est celle de FAURY, sur laquelle une étude a été déterminée.

Des essais sur bétons frais et durci ont été effectués :

- Essais d'affaissement
- Essais de résistance mécanique à la compression

CHAPITRE III

LES RESULTATS DES ESSAIS

CHAPITRE III : LES RESULTATS DES ESSAIS

III.1.INTRODUCTION :

Dans le chapitre précédent, nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiés, nous allons effectuer quelques essais expérimentaux sur ces bétons, nous avons présenté tous les résultats sur essais l'affaissement est aussi bien ceux de la résistance mécanique à la compression.

Cette partie portera sur, la discussion résultats des essais expérimentaux sur ces bétons, à Savoir l'essai de résistance à la compression et l'essai de l'affaissement.

III.2.L'affaissement de Béton et le Rapport E/C :

	Béton sans Adjuvant	Adjuvant MasterGlenium ^R 26	Adjuvant MasterGlenium SKY 841	Adjuvant MEDAFLOW 3041 R
E/C	0,49	0.47	0.46	0.44
Affaissement	9.5cm	8.8cm	8.4cm	8cm

Tableau III.1 L'affaissement Du Béton et le Rapport E/C

NB :

- l'affaissement du béton en fonction de 1.2 % d'adjuvants MasterGlenium^R 26 est égale 8,8 cm
- l'affaissement du béton en fonction de 2 % d'adjuvants MastreGlenium SKY 841 est égale 8,4cm
- l'affaissement du béton en fonction de 1.4 % d'adjuvants MEDAFLOW 3041 R est égale 8,0cm.

Donc L'appréciation de la classe de consistance de béton en fonction de l'affaissement par le cône d'abrams est Plastique.

III.2.1. La Résistance de béton réussis à l'application de cette formulation sans Adjuvant :

- à l'âge de 07 jours :

N° Echantillon	Date coulage	Date D'essai	Age en jour	Poids en (Kg)	Densité (g/ cm)	Resistance a la comprissions simple		Moyenne (bar)
						Charge total (Kg f)	R C (bar)	
4100	03/04/2016	10/04/2016	07 j	14,921	2,32	44211,2	220	215
4101				14,572	2,26	42000,6	209	
4102				14,301	2,22	43206,4	205	

Tableau III.2. La Résistance du béton sans Adjuvant à l'âge de 07 jours

- à l'âge de 28 jours :

N° Echantillon	Date coulage	Date D'essai	Age en jour	Poids en (Kg)	Densité (g/ cm)	Resistance a la comprissions simple		Moyenne (bar)
						Charge total (Kg f)	R C (bar)	
4100	03/04/2016	01/05/2016	28 j	14,871	2,31	54500	271,2	261,7
4101				14,653	2,27	53100	264,2	
4102				14,589	2,26	50200	249,8	

Tableau III.3. La Résistance du béton sans Adjuvant à l'âge de 28 jours

III.2.2. La Résistance réussis à l'application de cette formulation avec L'Adjuvant MasterGlenium^R 26 :

- a l'âge de 07 jours :

N° Echantillon	Date coulage	Date D'essai	Age en jour	Poids en (Kg)	Densité (g/ cm)	Resistance a la comprissions simple		Moyenne (bar)
						Charge total (Kg f)	R C (bar)	
4103	01/05/2016	08/05/2016	07 j	14,700	2,28	44211,2	220	210,6
4104				14,640	2,27	42000,1	209	
4105				14,510	2,25	40794,9	203	

Tableau III.4. La Résistance du béton avec L'Adjuvant MasterGlenium^R 26 a l'âge de 07j.

- à l'âge de 28 jours:

N° Echantillon	Date coulage	Date D'essai	Age en jour	Poids en (Kg)	Densité (g/ cm)	Resistance a la comprissions simple		Moyenne (bar)
						Charge total (Kg f)	R C (bar)	
4103	01/05/2016	29/05/2016	28 j	14,590	2,26	61000	305	280
4104				14,440	2,24	53000	265	
4105				14,229	2,21	54000	270	

Tableau III.5. La Résistance du béton avec L'Adjuvant MasterGlenium^R 26 à l'âge de 28j. a

NB :

- On à choisi le dosage 1,2L de l'adjuvant **MasterGlenium 26** pour le dosage de ciment 100 KG et pour le dosage de 350 KG de ciment donc la quantité équivalente de l'adjuvant est : 4,2L/M³
- A moyen terme 7 jours, les éprouvettes confectionnées à partir d'adjuvants superplastifiant **MasterGlenium^R 26** à 1.2% donne la résistance moyenne 210,6 bar et a l'âge de 28jours donne 280 bar.

III.2.3.La Résistance réussis à l'application de cette formulation avec L'Adjuvant MasterGlenium SKY 841 :

- à l'âge de 07 jours:

N° Echantillon	Date coulage	Date D'essai	Age en jour	Poids en (Kg)	Densité (g/ cm)	Resistance a la comprissions simple		Moyenne (bar)
						Charge total (Kg f)	R C (bar)	
4106	02/05/2016	09/05/2016	07 j	14,890	2,31	52048,7	259	249,3
4107				14,860	2,31	49838,1	248	
4108				14,670	2,28	48431,4	241	

Tableau III.6. La Résistance du béton avec L'Adjuvant MasterGlenium SKY 841 à l'âge de 07j

- à l'âge de 28 jours :

N° Echantillon	Date coulage	Date D'essai	Age en jour	Poids en (Kg)	Densité (g/ cm)	Resistance a la comprissions simple		Moyenne (bar)
						Charge total (Kg f)	R C (bar)	
4106	02/05/2016	30/05/2016	28 j	14,825	2,30	60000	298,6	299,4
4107				14,805	2,30	61500	306	
4108				14,701	2,28	59000	293,6	

**Tableau III.7. La Résistance du béton avec L'Adjuvant MasterGlenium SKY 841
à l'âge de 28j**

NB :

- On a choisi le dosage 2,0 L de l'adjuvant **MasterGlenium SKY 841** pour le dosage de ciment 100 KG et pour le dosage de 350 KG de ciment donc la quantité équivalente de l'adjuvant est : 7 L/M^3 .
- A moyen terme 7 jours, les éprouvettes confectionnées à partir d'adjuvants superplastifiant **MasterGlenium SKY 841** à 2% donne la résistance moyenne 249.3 bar et à l'âge de 28jours donne 299.4 bar.

**III.2.4.La Résistance réussis à l'application de cette formulation avec
L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R :**

- à l'âge de 07 jours :

N° Echantillon	Date coulage	Date D'essai	Age en jour	Poids en (Kg)	Densité (g/ cm)	Resistance a la comprissions simple		Moyenne (bar)
						Charge total (Kg f)	R C (bar)	
4112	03/05/2016	10/05/2016	07 j	14,760	2,29	51244,8	255	251
4113				14,530	2,25	50641,9	252	
4114				14,355	2,23	49436,2	246	

**Tableau III.8. La Résistance du béton avec L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R
à l'âge de 07j.**

- à l'âge de 28 jours :

N° Echantillon	Date coulage	Date D'essai	Age en jour	Poids en (Kg)	Densité (g/ cm)	Resistance a la comprissions simple		Moyenne (bar)
						Charge total (Kg f)	R C (bar)	
4112	03/05/2016	31/05/2016	28 j	14,877	2,31	65000	323,5	316
4113				14,775	2,29	63500	316	
4114				14,683	2,28	62000	308,5	

**Tableau III.9. La Résistance du béton avec L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R
à l'âge de 28j.**

NB :

- On à choisi le dosage 1,4L de l'adjuvant **MEDAFLOW 3041 R** pour le dosage de ciment 100 KG et pour le dosage de 350 KG de ciment donc la quantité équivalente de l'adjuvant est : 4,9 L/M³.
- A moyen terme 7 jours, les éprouvettes confectionnées à partir d'adjuvants superplastifiant **MEDAFLOW 3041 R** à 1.4% donne la résistance moyenne 251 bar et a l'âge de 28jours donne 316 bar.
- la contrainte admissible du béton ordinaire à 28 jours doit être supérieure ou égale à 200 bar.

L'âge	Béton ordinaire	MasterGenium ^R 26 (%)		MasterGlenium SKY 841 (%)		MEDAFLOW 3041 R (%)	
7j	100%	97.95	-2.05	115.9	5.9	116.7	16.7
28j	100%	106.9	+7	114.4	14.4	120.75	20.75

Tableau III.10. Les valeurs de résistance du béton avec et sans adjuvant en %.

Histogramme du béton ordinaire sans Adjuvant et avec les trois (03) Adjuvants :

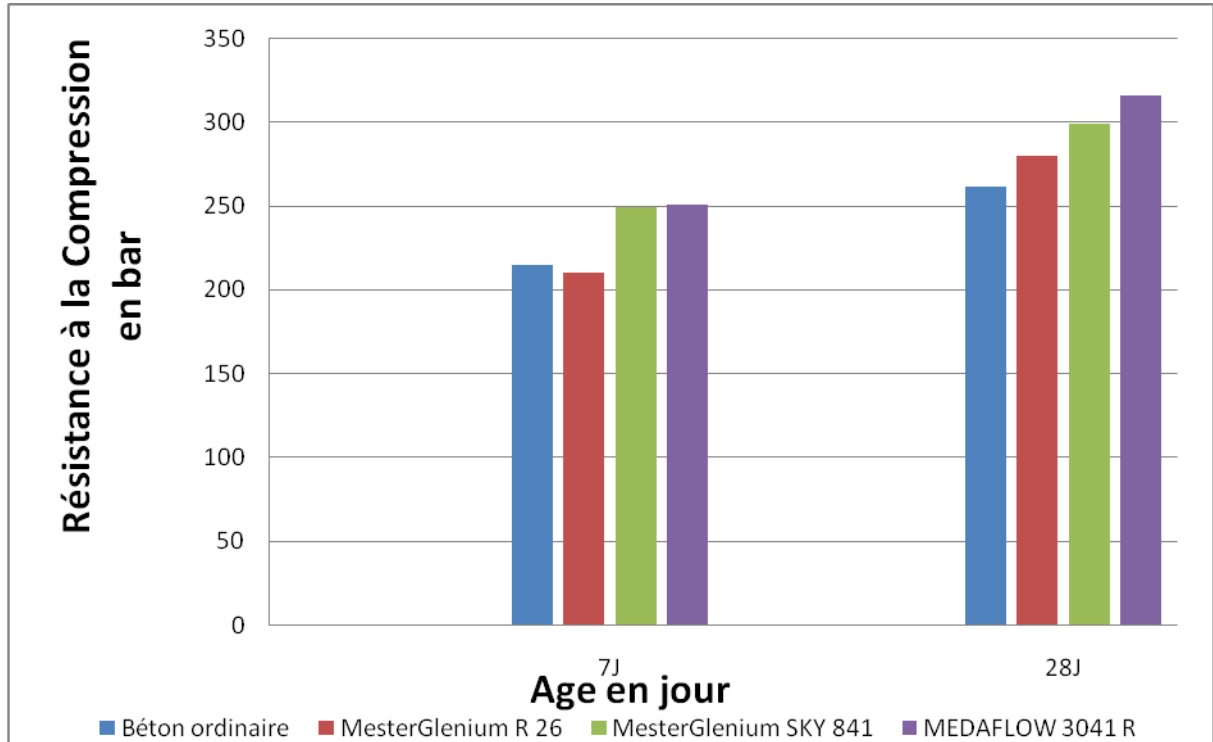


Figure III.1: Histogramme du béton ordinaire sans Adjuvant et avec les trois (03) Adjuvants.

- On supposant que la résistance à la compression du béton ordinaire était 100%, donc on à remarqué que la résistance de béton avec l'adjuvant **MasterGenium^R 26** est diminué de 2,05% à l'âge de 7 jours, par contre est augment de 7% à l'âge de 28 jours.
- On a remarqué que la résistance à la compression du béton ordinaire avec l'adjuvant **MasterGlenium SKY 841** est augment de 5.9% à l'âge de 7 jours, par contre est augment de 14.4% à l'âge de 28 jours.
- On a remarqué que la résistance à la compression du béton ordinaire avec l'adjuvant **MEDAFLOW 3041 R** est augment de 16.7% à l'âge de 7 jours, par contre est augment de 20.75% à l'âge de 28 jours.

III.3. CONCLUSION :

Nous avons présenté tous les résultats sur essais L'affaissement est aussi bien ceux de la résistance mécanique à la compression.

Cette partie portera sur , la discussion résultats des essais expérimentaux sur ces bétons, à savoir l'essai de résistance à la compression et l'essai de l'affaissement Les trois adjuvants superplastifiant utilisés (les **MasterGenium^R 26**, **MasterGlenium SKY 841** et **MEDAFLOW 3041 R**), agissent de façon positive et spécifique sur les propriétés rhéologiques et la dureté du béton.

Par ailleurs, **MEDAFLOW 3041 R** avec un faible pourcentage, donne un meilleur comportement rhéologique, et une bonne résistance mécanique a la compression par contre les deux autres Adjuvant (**MasterGlenium^R 26**, **MasterGlenium SKY 841**) donnent des résistances mécanique a la compression.

CONCLUSION
GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'objectif de cette étude était d'étudier les comportements rhéologiques et mécaniques du béton.

Pour atteindre cet objectif, nous avons dans un premier temps dressé une synthèse des études à base des trois adjuvants **superplastifiant : adjuvant MastreGlenium 26, adjuvant MastreGlenium SKY 841 et L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R.**

Les adjuvants sont devenus des composants essentiels des bétons modernes, multiplient les possibilités des bétons. La science et technologie des adjuvants vite de nos jours.

Si les principes de base qui gouvernent leur mode d'action et d'utilisation commencent à être mieux connu.

Les adjuvants sont des composants très importants pour le bétons modernes qui permettent de modifier certaines propriétés du béton à l'état frais ou durci.

Le dosage des adjuvants se fait par essai, en se basant sur les recommandations du fabricant car une adaptation est toujours nécessaire en fonction du ciment, de la présence d'ultrafine, des granulats, le dosage optimal en adjuvant est en fonction de l'efficacité du système de malaxage utilisé, ainsi que de la séquence d'introduction des adjuvants.

Ils peuvent provoquer un retard de prise (un pourcentage élevé joue le rôle d'un retardateur de la prise).

Les adjuvants reconnus (**adjuvant MastreGlenium 26, adjuvant MastreGlenium SKY 841 et L'Adjuvant MEDAFLOW 3041 R**) jouent le rôle de fluidifiant si l'on augmente leurs pourcentages, les résistances sont évaluées avec un dosage moins important (un faible pourcentage).

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] BERBAOUI.R: « Identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaires a base polymère. » Soutenue le 21 janvier 2010 à l'université de Cergy Pontoise. Spécialité génie mécanique.
- [2] BARON. J et OLLIVIER.J : « Les bétons : bases et données pour leur formulation » Edition Eyrolles. 1999
- [3] OLLIVIER. J.P et VICHOT A. pour l'ATILH : « La durabilité du béton. »- Presses de l'école des Ponts et Chaussées - Paris - 2008.
- [4] Collection CIM béton .Fiches techniques. Tome 1 : 71 pages. Réf. G10. Editeur Cimbéton. Septembre 2005.
- [5] Georges Dreux et Jean Festa : 1995, "Nouveau guide du béton et de ses constituants", septième édition, Eyrolles.
- [6] Contexte normatif des bétons : Mise en page et réalisation : Amprincipe Paris (édition septembre 2005)
- [7-55] Georges Dreux et Jean Festa 1979 : « Nouveau guide du béton. »
- [8] GABRYSIA. F: Matériaux. (Chapitre 2 les granulats et chapitre 4 bétons). 2007
- [9] ADAMM.N : « Propriétés des bétons. »Edition Eyrolles. 2000
- [10] Groupe Eyrolles : « Cône d'Abrams. » Edition Eyrolles.2010
- [11] **EN-12350-6** : masse volumique du béton frais.
- [12] **EN-12390-3** : résistance à la compression des éprouvettes.
- [13] **EN-12390-5** : résistance à la flexion sur éprouvettes.
- [14] Walther .R et Miehlbradt.M : Dimensionnement des structures en béton, traité de génie civil de l'école polytechnique fédérale de lausanne ,1990.
- [15-19] Taylor,H.F.W., «Ciment Chemistry», Academic Press Limited, San Diego, 1992.
- [16] Taylor,H.F.W., «Ciment Chemistry», Second Edition, Thomas Telford publishing, London, Grande Bretagne 1997.
- [17] Older, I., «Hydration, Setting and Hardening of Portland Cement», in: «Lea's chemistry of Cement and concrete», (Hewlett P.C., Ed.), Fourth Edition, Ed: Arnold, London, Gireat Britain, 1998.
- [18] Comité Européen de Normalisation, «Norme Européenne EN 197-1, Ciment-partie 1 : Composition, Spécifications et Critères de Conformité des Ciments Courants», CEN.
- [20] NF EN 196 -1 : Méthodes d'essais des ciments – Détermination des résistances mécaniques (indice de classement P 15 – 471).
- [21] Cours en ligne: Matériaux de Construction. Par: M. VIMANE PHOUMMAVONG Professeur de Génie Civil, Dépt. de Génie Civil Faculté d'Ingénierie et d'Architecture, Université Nationale du Laos. Le site: Campus Numérique Francophone de Vientiane A été conçu par: M. Laurent TOUSSAINT Web designer et développeur
- [22-25] Nouvelles performances des bétons, Cahier des modules de Conférence pour les écoles d'architecture.
- [23] Mémoire de Magister Filière : Génie Civil Option : Structures-Matériaux-Sols
THEME : Influence de Granulat sur les Propriétés des Béton Ordinaires
Présenté par : Mr BOUFEDAH BADISSI Ahmed. UNIVERSITE MENTOURI
CONSTANTINE
- [24] Rixom M. R, Mailvaganam N. P : Chemical admixtures for concrete, E & F. N. Spon, Ed., London, 1986.
- [26] EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis (indice de classement P 18-342/A1).
- [27] Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil Option : Structure et Matériau Thème : Influence du type de ciment et du type de superplastifiant sur la viscosité des coulis Présenté par :SELLAMI TAREK UNIVERSITE MENTOURI
CONSTANTINE .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [28] H.T.HUYNH la compatibilité ciment-superplastifiant dans les BHP. Synthèse bibliographique L.C.P n°206, Novembre-décembre 1996 PP.63-73.
- [29] A-M. ALSHAMSI, J-J SERRANO, G.GRIMALDI, «Influence du dosage et du mode d'introduction des superplastifiant sur le maniabilité »optimale des BHP avec et sans fumée se silice. Bulletin de liaison des laboratoires des et Chaussées, 170, Novembre-décembre 1990 PP.37-45.
- [30...33-35] Georges Dreux et Jean Festa :Huitième édition 1998, « Nouveau guide du béton et de ses constituants »,Editions Eyrolles 61.bd Saint-Germain 75240 Paris Cedex 05 .
- [34] Matériaux - Les Bétons - Chapitre 4, par: F. Gabrysiak.
- [36-37-38] Georges Dreux et Jean Festa . « Composition des bétons. », Réf. C2220. 10/05/1982.
- [39] « Définition du béton» Article extrait de l'Encyclopédie Encarta 2005.
- [40.....45-47-48-49] Mémoire (Melle HAFIDHA BARDI-06/2009) En vue de l'obtention du diplôme de licence en GINIE CIVIL, Option : Infrastructure urbaine Université d'ADRAR.
- [46] cours MDC 3ème année licence GINIE CIVIL Université d'ADRAR.
- [50] NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Adjuvants pour béton Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage. (Indice de classement : P 18-342/A1).
- [51] XP P 18-540 Granulats –Définitions, conformité, spécifications (indice de classement P 18-540).
- [52] G. H. Tattersall : The rheology of fresh concrete. pitman books limited, 1983.
- [53] D. Sidney : Considérations in image analysis as applied to investigations of the inconcrete. Cement and Concrete Composites, 2001,171p.
- [54] S. Diamond and J. Huang : The concrete-a different view based on image analysisand sem observations. Cement and Concrete Composites,2001, 188 p.
- [56] GABRYZIA. F : Matériaux ,Chapitre 4 bétons, 2007.
- [57] ADAMM.N : Propriétés des bétons, Edition Eyrolles, 2000.

ANNEXES

1. Notice Technique de l'Adjuvant Master Glenium® 26 :



a. Description :

MasterGlenium 26 est un adjuvant liquide non chlore d'une nouvelle génération chimique à base d'éther polycarboxylique modifié. Cet adjuvant a été développé pour l'utilisation dans l'industrie du béton de haute qualité, où la durabilité, la performance et une très longue ouvrabilité sont requises.

La nouvelle chimie MasterGlenium

Le MasterGlenium se différencie des super plastifiants traditionnels par son action nouvelle et originale qui améliore de façon très significative le pouvoir dispersant sur le ciment.

Cette nouvelle structure chimique agit sur le grain de ciment par répulsion électrostatique et effet stérique, c'est-à-dire en créant un obstacle physique au rapprochement des particules de ciment. L'état dispersé est aussi amélioré.

De plus, cette réaction est la combinaison de deux actions successives, dès l'incorporation du MasterGlenium 26 dans le mélange cimentaire, une première partie active agit immédiatement et la seconde est présente mais inactive.

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

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

ANNEXES

b. Domaine d'application :

MasterGlenium 26 est particulièrement recommandé pour la fabrication de bétons à faible E/C, à très long maintien d'ouvrabilité et aux performances mécaniques élevées à jeune âge.

MasterGlenium 26 est donc adapté à l'industrie du béton prêt à l'emploi et aux chantiers de Génie Civil.

Il sera particulièrement recommandé pour les usages suivants :

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

c. Propriétés :

MasterGlenium 26 se différencie des autres adjuvants à base d'éthers polycarboxyliques, par sa structure spécifique qui lui confère un fonctionnement particulier avec le ciment. La cinétique d'absorption sur les grains de ciment est différente, permettant ainsi un meilleur déroulement des premières réactions d'hydratation (dissolution, formation d'enttringite, dispersion). Il est donc possible de défloculer fortement les grains de ciment, de maintenir cet état dispersé afin d'obtenir une maniabilité très plastique ou fluide pendant plus de 02 heures avec un faible rapport eau/ciment et sans effet de retard de prise.

d. Caractéristiques:

Aspect	Liquide
Couleur	Brun
Densité	$1.08 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$
Ph	7.0 ± 1
Teneur en Chlorures	□ 0.1 %
Extrait sec	$24 \pm 2 \%$
Teneur en Nitrate	□ 2 %
Transport	Non classe
Etiquetage	Pas de symbole exige

ANNEXES

e. Mode d'emploi :

MasterGlenium 26 est un adjuvant pour béton qui doit être incorporé isolément. L'effet optimal est obtenu par incorporation du MasterGlenium 26 dans le béton en diffère. C'est-à-dire après l'addition de 70% de l'eau de gâchage dans le malaxeur toutefois il est possible d'incorporer le MasterGlenium 26 dans l'eau de gâchage. Eviter d'ajouter le MasterGlenium 26 sur les granulats secs.

f. Dosage :

Plage normale d'utilisation : 0.3 % à 2.0 % du poids du ciment, soit 0.28 litres à 1.90 litres pour 100 kg de ciment.

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

g. Conditionnement :

MasterGlenium 26 est disponible en cubitainer de 1000 litres, en fut de 210 litres ou en bidon de 25 litres.

h. Stockage :

Stocker le MasterGlenium 26 dans des conditions de températures supérieures à +5°C.

i. Précautions d'emploi :

Le MasterGlenium 26 ne contient aucune matière dangereuse nécessitant un étiquetage particulier.

Pour de plus amples informations, se référer à la fiche de données de sécurité.

2. Notice Technique De L'adjuvant Masterglenium Sky 841 :

a. Description :



Le MasterGlenium SKY 841 est un super plastifiant haut réducteur d'eau issu du long savoir de BASF construction chemicals en termes de formulation et d'innovation.

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

b. Domaines d'application :

Le MasterGlenium SKY 841 est recommandé pour la fabrication de béton plastique à auto plaçant nécessitant un long maintien d'ouvrabilité et des performances mécaniques initiales élevées.

Le MasterGlenium SKY 841 est donc adapté à l'industrie du béton prêt à l'emploi ainsi qu'aux chantiers de génie civil.

Le MasterGlenium SKY 841 peut être utilisé pour la réalisation des bétons suivants :

- Béton prêt à l'emploi selon la norme NF EN 206-1/CN
- Béton pompé
- Béton autoplaçant
- Béton hautes performances et ultra hautes performances
- Béton architectonique

c. Propriétés :

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

Le MasterGlenium SKY 841 offre les avantages suivants :

- Béton de faible viscosité même à rapport E/C très faible
- Long maintien de l'ouvrabilité sans retard de prise préjudiciable

ANNEXES

- Bonne réactivité avec les ciments recomposés
- Bonne robustesse vis-à-vis du ressuage et de la ségrégation
- Optimisation des dosages en liant
- Grande plage de dosage possible
- Bonne réactivité avec les granulats concassés
- Amélioration de la durabilité des bétons liés au faibles E/C
- Amélioration des parements

d. Mode d'emploi :

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

Eviter d'ajouter le MasterGlenium SKY 841 directement sur les granulats.

e. Dosage :

Plage normale d'utilisation : 0,2 à 3,0 % du poids du ciment soit 0,19 à 2,83 % pour 100 kg de ciment.

Pour d'autres utilisations, consultez votre représentant local BASF France – Division Construction Chemicals.

f. Compatibilité :

Pour une utilisation en synergie avec un autre adjuvant de la gamme BASF, consultez votre représentant local BASF France – Division Construction Chemicals.

g. Précaution d'emploi :

Le MasterGlenium SKY 841 n'est pas soumis à étiquetage.

ANNEXES

h. Caractéristiques :

Aspect	Liquide
Couleur	Brun
Densité	$1,06 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$
Ph	$5,5 \pm 1,8$
Teneur en Chlorures	□ 0.1 %
Extrait sec	$26,0 \% \pm 1,3 \%$
Teneur en Nitrate	$\leq 2 \%$
Transport	Non classe
Etiquetage	Pas de symbole exige

i. Stockage :

Durée de vie	Le MasterGlenium SKY 841 a une durée de vie de 12 mois
Stockage	Le MasterGlenium SKY 841 doit être stocké dans des conditions de températures supérieures à $+ 5^{\circ}\text{C}$.
Conditionnement	Le MasterGlenium SKY 841 est disponible en Bidon de 10 L, fut de 210 L, container de 1000 L et vrac.

3. Notice Technique De L'adjuvant Medaflo 3041 R :



ANNEXES

a. Description :

Le MEDAFLOW 3041 R est un super plastifiant haut réducteur d'eau formulé à base de polymères de synthèse et combinés ce qui améliorent considérablement les propriétés des béton. Le MEDAFLOW 3041 R représente un effet retardataire comme action secondaire.

b. Domaines d'application :

- Bétons à hautes performances
- Bétons architecturaux
- Bétons précontraints
- Béton transporté sur de longues distances □ 1 h 30.

c. Propriétés :

Grace à ses propriétés le MEDAFLOW 3041 R permet :

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très bas
- Amélioration de la fluidité
- Avoir un long maintien d'ouvrabilité
- Eviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

	Temps de prise	
	Début	Fin
Témoin (CPJ 42,5)	3h 05	4h 10
0,8% MEDAFLOW 3041 R	7h 05	8h 55

Temps de prise du ciment selon EN196-3 (CPJ 42,5)

ANNEXES

d. Caractéristique :

Aspect	Liquide
Couleur	Brun clair
Densité	6 – 6.5
Ph	1.08 ± 0.01
Teneur en Chlorures	□ 0.1 %
Extrait sec	30 % + 1

e. Mode d'emploi :

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70 % de l'eau de gâchage ait déjà été introduit. Le LEDAFLOW 3041 R peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie). Malaxer à grande vitesse : 1 mn/m³

NB : utiliser toujours des agrégats propres.

f. Dosage :

Plage de dosage recommandée : 0,5 à 2% du poids de ciment soit 0,46 litres à 1,85 litres pour 100 kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

g. Conditionnement et stockage :

Le MEDAFLOW 3041 est conditionné en des bidons de 10 kg en futs de 210 kg et de 240 kg et cubitenaire de 1100 kg.

Délai de conservation : une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C □ t □ 35°C).

Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

h. Précaution d'emploi :

Manipulation non dangereuse. Se référer à la fiche de données de sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com.