

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

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département de Génie Civil

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie Civil

Spécialité : Matériaux

Par

- **BEN CHIKH ANTER**
- **BENTOUMI ABDELLAH**

Intitulé

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE D'UN BETON A BASE DE
GRANULATS ISSUS DE LA CARRIERE « SARL MECHERI », WILAYA
DE BORDJ BOU ARRERIDJ (NE, ALGERIEN)**

Soutenu le :

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M.</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. BAGHDAD ABDELMALEK</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-Jijel</i>
<i>M.</i>	<i>...</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بالحمد لله تتم الصالحات اتمننا مرحلة ومازال أمامنا مراحل وبتوكل على الله نتخطى جميع الصعاب.

يسعدني اليوم أنا ورفيق دراستي بإتمام مذكرة تخرج ماستر.

وبهذه المناسبة يشرفني أنا ورفيق دراستي أن أقدم التحية الى كل أستاذ أو طالب لمساعدتهم لنا في مرحلة الدراسة و تحية مباشرة الى الأستاذ الدكتور بغداد عبد المالك وإلى جميع الأساتذة المحترمين في كلية العلوم والتكنولوجيا خاصتنا الأساتذة في فرع الهندسة المدنية.

و أقدم التحية و الشكر الكبير و المخلص إلى أمي سند ظهري التي بتحفيظها و دعائها ما كنت وصلت الى ما انا عليه.

شكرا جميعكم على صبركم علينا و اتمنى ان نكون خفيفي الضل و شكرا على تعبكم معنا.

الحمد لله على هذا النجاح و مزيد من النجاحات في المستقبل إن شاء الله تعالى.

اللهم صلي على نبيك محمد عليه أفضل الصلوات و السلام عليكم ورحمة الله تعالى وبركاته

RESUME

Résumé

Cette étude a pour objectif de formuler des bétons ordinaires et adjuvants à base d'un ciment CPJ et de granulats concassés issus de la carrière des frères HADJI –commune d'ELACH wilaya de Bordj Bou Arreridj et déterminer l'influence des adjuvants sur les propriétés physico-mécaniques de béton. L'étude est débutée par une partie bibliographique qui traite des généralités sur les bétons et les différents constituants (granulats, ciment, eau de gâchage et adjuvants) ainsi que les méthodes de formulations des bétons. Le travail expérimental porte en première partie sur une caractérisation physico-mécanique et chimique des différents matériaux utilisés, et dans une seconde partie une formulation de béton (ordinaire et adjuvé) par la méthode de formulation DREUX-GORISSE a été élaborée. A la fin une discussion des résultats expérimentaux sur béton ordinaire et adjuvé a été effectuée avec une comparaison des résultats. Finalement, une conclusion générale qui prend les principaux résultats obtenus et les intérêts techniques qui en découlent.

Mots clés : Bordj Bou Arreridj, béton, adjuvant, propriétés physico-mécaniques, formulation de béton.

Abstract

Abstract

The objective of this study is to formulate ordinary and admixed concretes based on CPJ cement and crushed aggregates from the quarry of the HADJI brothers – commune of ELACH wilaya of Bordj Bou Arreridj and to determine the influence of admixtures on the properties physico-mechanical properties of concrete. The study begins with a bibliographical part which deals with general information on concretes and the different constituents (aggregates, cement, mixing water and admixtures) as well as the methods of concrete formulations. The experimental work focuses in the first part on a physico-mechanical and chemical characterization of the different materials used, and in a second part a concrete formulation (ordinary and admixed) by the DREUX-GORISSE formulation method was developed. At the end a discussion of the experimental results on ordinary and admixed concrete was carried out with a comparison of the results. Finally, a general conclusion which takes the main results obtained and the resulting technical interests.

Keywords: Bordj Bou Arreridj, concrete, admixture, physico-mechanical properties, concrete formulation.

RESUME

الملخص

الهدف من هذه الدراسة هو صياغة خرسانة عادية ومخلوطة على أساس أسمنت لجنة حماية الصحفيين والركام المسحوق من مقلع الأخوين حاجي - بلدية إيلاش بولاية برج بوعريريج وتحديد تأثير المواد المضافة على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة. أسمنت. تبدأ الدراسة بجزء ببيوغرافي يتناول معلومات عامة عن الخرسانة والمكونات المختلفة (الركام والأسمنت وماء الخلط والمضافات) وكذلك طرق الصيغ الخرسانية. يركز العمل التجريبي في الجزء الأول على التوصيف الفيزيائي والميكانيكي والكيميائي للمواد المختلفة المستخدمة، وفي الجزء الثاني تم تطوير صياغة الخرسانة (العادية والمخلطة) بواسطة طريقة صياغة DREUX-GORISSE. في النهاية تم إجراء مناقشة للنتائج التجريبية على الخرسانة العادية والمخلوطة مع مقارنة النتائج. أخيرًا، استنتاج عام يأخذ النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها والمصالح الفنية الناتجة.

الكلمات المفتاحية: برج بوعريريج، خرسانة، خليط، خواص فيزيائية ميكانيكية، تركيبات خرسانية.

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
المخلص.....	iii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v
Introduction générale	1

Chapitre I : Etude bibliographique sur les bétons

I. Etude bibliographique sur les betons	Erreur ! Signet non défini.
I.1. Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
I.2. Histoire sur le béton	Erreur ! Signet non défini.
I.3. Les composants de beton	Erreur ! Signet non défini.
I.3.1. Ciment.....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.1.1. Définition	Erreur ! Signet non défini.
I.3.1.2. Classification des ciments.....	Erreur ! Signet non défini.
A) Classification suivant la composition	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2. les ajouts minéraux	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.1. Généralités	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.2. Avantages des ajouts minéraux.....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.2.1. Avantages techniques.....	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.3.2.2.2. Avantages économiques</u>	<u>8</u>
<u>I.3.2.2.3. Avantages écologiques.....</u>	<u>8</u>
I.3.2.3. Classification des ajouts minéraux.....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.3.1. Principaux ajouts minéraux inertes.....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.3.2. Fillers calcaires.....	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.3.3. La poussière	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.3.4. Les ajouts minéraux actifs	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.3.5. Propriétés et caractéristiques des pouzzolanes	Erreur ! Signet non défini.
I.3.2.3.6. Propriétés hydrauliques des pouzzolanes.....	Erreur ! Signet non défini.

Table de matière

I.3.2.3.7. Propriétés physiques de remplissage des pouzzolanes	Erreur ! Signet non défini.
I.3.3. Les adjuvants	12
I.3.3.1. Définition	Erreur ! Signet non défini.
I.3.3.2. Rôle des adjuvants	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4. Les granulats pour le béton	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.1. Définition	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.2. Les principes de fabrication des granulats	15
I.3.4.3 Les granulats concassés de roche massive (granulats de carrière)	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.3.1. Extraction des granulats concassés	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.3.2. Le concassage	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.3.3. Le criblage	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.4. Caractéristiques des granulats concassés	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.5. Approvisionnement en granulat et spécificité des granulats concassés	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.6. Influence des granulats sur les process de fabrication	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.7. Influence des granulats sur les caractéristiques des produits	25
I.3.4.8. Emploi du sable de carrières dans le béton hydraulique	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.5. Les granulats alluvionnaires	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.5.1. Extraction des granulats alluvionnaires	Erreur ! Signet non défini.
I.3.4.5.2. Caractéristiques des granulats alluvionnaires	Erreur ! Signet non défini.
I.4. Propriétés des bétons	30
I.4.1. Propriétés physiques	30
I.4.1.1. Ouvrabilité	30
I.4.1.2. Le retrait	31
I.4.1.2.1. Retrait plastique	31
I.4.1.2.2 Retrait endogène	Erreur ! Signet non défini.
I.4.1.2.3. Retrait de séchage	Erreur ! Signet non défini.
I.4.1.2.4. Retrait thermique	Erreur ! Signet non défini.
I.4.1.2.5 Retrait de carbonatation	Erreur ! Signet non défini.
I.4.1.3. La compacité et la porosité	Erreur ! Signet non défini.

Table de matière

I.4.1.4. Perméabilité et diffusivité :	Erreur ! Signet non défini.
I.4.1.5. Déformabilité	Erreur ! Signet non défini.
I.4.1.5.1. Définition de la rhéologie	Erreur ! Signet non défini.
I.4.1.5.2. Module d'élasticité.....	Erreur ! Signet non défini.
I.4.1.5.3. Modèle trispère du module d'élasticité.....	Erreur ! Signet non défini.
I.4.1.5.4. Effet des granulats sur le module d'élasticité ..	Erreur ! Signet non défini.
I.4.2 Propriétés mécaniques	Erreur ! Signet non défini.
I.4.2.1. Résistance mécanique	Erreur ! Signet non défini.
I.4.2.2. Durabilité	Erreur ! Signet non défini.
I.4.2.3. Développement mécanique du béton	Erreur ! Signet non défini.
I.5. Conclusion	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre II : Matériaux et méthodes

II. Matériaux et méthodes.....	40
II.1. Introduction	40
II.2. Différents types de bétons	40
II.3. Propriétés essentielles d'un béton.....	41
II.3.1. Propriétés du béton frais	42
II.3.1.1. Le malaxage (NA EN 12390-2)	42
II.3.1.2. Vibration.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.1.3. Essai d'affaissement au cône d'Abrams.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.1.4. La masse volumique du béton frais	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2. Propriétés du béton durci	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.1. Essai de résistance à la compression	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.2. Essai de résistance à la traction	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.3. Masse volumique du béton durci.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.4. La Porosité.....	49
II.3.2.5. Essais non destructif par Auscultation sonore (Ultra Son).....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2.6. Essai d'absorption d'eau par immersion	50
II.4. Conclusion	50

Chapitre III : Matériaux, matériels et essais préliminaires

III. Caractéristique des matériaux	52
--	----

Table de matière

III.1. Introduction :	52
III.2. Matériaux utilisés :	52
III.2.1. Information sur sarl carrière hadji:.....	52
III.3. Caractéristiques des matériaux.....	53
III.3.1. Caractéristiques du gravier :.....	53
III.3.1.1. Analyse granulométrique par tamisage	53
III.3.2.2. Modules de finesse (NA EN 12620)	54
III.3.1.2. La masse volumique	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1.3. La porosité	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1.4. La compacité :	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1.5. L'indice des vides	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1.6. Degré d'absorption d'eau	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1.7. La résistance à la fragmentation par chocs (Essai Los Angeles)	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1.8. Essai Micro-Deval.....	60
III.3.2. Caractéristique du sable :	61
III.3.2.1. Equivalent de sable.....	Erreur ! Signet non défini.
III.3.2.2. Masse volumique.....	Erreur ! Signet non défini.
III.3.3. Caractéristiques du ciment utilisé	Erreur ! Signet non défini.
III.3.3.1. Présentation du ciment	Erreur ! Signet non défini.
III.3.3.2. Domaines d'utilisation	Erreur ! Signet non défini.
III.3.3.3. Caractéristiques chimique du ciment CPJ CEM III/A 42.5 R.....	Erreur ! Signet non défini.
III.3.4. L'eau de gachage.....	Erreur ! Signet non défini.
III.3.5. Adjuvants	Erreur ! Signet non défini.
III.3.5.1. Définition	Erreur ! Signet non défini.
III.3.5.2. Classification des adjuvants	Erreur ! Signet non défini.
III.3.5.3. Utilisations des différents types des adjuvants : ..	Erreur ! Signet non défini.
III.3.5.4. Le super-plastifiant MEDAPLAST SP 40.....	70

Chapitre VI : Etude de formulation de béton

VI. Etude de formulation de beton	Erreur ! Signet non défini.
VI.1. Introduction	Erreur ! Signet non défini.
VI.2. Formulations des bétons étudiés :	Erreur ! Signet non défini.

Table de matière

VI.2.1. Calcul de la composition du béton :.....	Erreur ! Signet non défini.
VI.2.1.1 Méthodes de calcul de la composition du béton : .	Erreur ! Signet non défini.
VI.2.2. Formulation de Dreux-Gorisse.....	Erreur ! Signet non défini.
VI.3. Conclusion	83

Chapitre V : Résultats et discussion

V. Résultats et discussion.....	Erreur ! Signet non défini.
V.1. Introduction	Erreur ! Signet non défini.
V.2. Essais à l'état frais	Erreur ! Signet non défini.
V.2.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams.....	Erreur ! Signet non défini.
V.2.2. Mesure de la masse volumique :	Erreur ! Signet non défini.
V.3. Essais à l'état durci.....	Erreur ! Signet non défini.
V.3.1 Mesure de la masse volumique du béton durci	Erreur ! Signet non défini.
V.3.2. Résistance à la compression	Erreur ! Signet non défini.
V.4. Conclusion	88
Conclusion générale.....	90

Annexe

Références bibliographiques

Liste des figures

Liste des Figures		Page
Chapitre I : Etude bibliographique sur les bétons		
Figure I.1	Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire	4
Figure I.2	Utilisations des super-plastifiants	12
Figure I.3	Particules de ciment recouvertes de polymères (anioniques / à fort encombrement stérique) : dispersion par répulsion (électrostatique/ statique)	14
Figure I.4	Concasseur à mâchoires à simple effet	19
Figure I.5	Concasseur à choc primaire	20
Figure I.6	Concasseur à projection dit finisseur (ou correcteur de forme)	20
Figure I.7	Développement de la résistance mécanique d'un béton (E/C=0,49)	38
Figure I.8	Influence du rapport E/C sur la résistance en compression	38
Chapitre II : Matériaux et méthodes		
Figure II.1	Le malaxage de béton	43
Figure II.2	Vibration de béton par la table vibrante	43
Figure II.3	Mesure d'affaissement au cône d'Abrams	44
Figure II.4	Eprouvettes à l'état frais	45
Figure II.5	Mesure de la masse volumique à l'état frais	45
Figure II.6	Eprouvettes cylindrique de diamètre 16 cm et de hauteur 32cm	46
Figure II.7	Presse hydraulique de compression	46
Figure II.8	Essai de Traction par fendage	47
Figure II.9	Essai de Traction par flexion	48
Figure II.10	Essais non destructif par Auscultation sonique	49
Figure II.11	L'appareille Ultra Son (TICO)	49
Figure II.12	Courbe RILEM	50
Chapitre III : Caractéristique des matériaux		
Figure III .1 :	situation de SARL carrière HADJI	52
Figure III.2	Essai granulométrique par tamisage	53
Figure III.3	Courbe granulométrique des graviers concassés	54
Figure III.4	L'échantillon et les boules avant l'essai Los Angeles	58
Figure III.5	Appareille Los Angeles	58
Figure III.6	L'échantillon avant l'essai Micro Deval	61
Figure III.7	Appareille Micro-Deval	61
Figure III.8	Essai Equivalent de sable	62

Liste des figures

Figure III.9	Les utilisations des super plastifiants	70
Figure III.10	Le super plastifiant MEDAPLAST SP 40	73
Figure III.11	technique super plastifiants MEDA PLAST SP 40	74

Chapitre VI : Etude de formulation de béton

Figure VI.1	Essai d'affaissement au cône d'Abrams	77
Figure VI.2	Abaque permettant la détermination de C_{opt}	77
Figure VI.3	Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau	80

Chapitre V : Résultats et discussions

Figure V.1	Résultats d'affaissement des bétons étudiés	84
Figure V.2	Masses volumiques des bétons étudiés à l'état frais	85
Figure V.3	Masse volumique à l'état durci	86
Figure V.4	Résultats de l'essai de la résistance à la compression	87

Liste des tableaux

Liste des tableaux	Page
Chapitre I : Etude bibliographique sur les bétons	
Tableau I.1 : Caractéristiques moyennes des granulats alluvionnaires	23
Tableau I.2 : Caractéristiques des granulats issus des roches massives concassés	29
Chapitre II : Matériaux et méthodes	
Tableau II.1 : classe de consistance (Slump test)	44
Tableau II.2 : Classements qualitatifs du béton selon la vitesse de propagation	50
Chapitre III : Caractéristique des matériaux	
Tableau III.1 : Module de finesse du sable	54
Tableau III.2 : Masse volumique apparente des graviers concassés	56
Tableau III.3 : Masse volumique Absolue des graviers concassés	57
Tableau III.4 : Porosité, compacité et indice des vides du gravier concassé	58
Tableau III.5 : Degré d'absorption d'eau des agrégats	58
Tableau III.6 : Adaptation des charges des boulets correspondant à la classe granulaire	59
Tableau III.7 : Estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient LA	60
Tableau III.8 : Résultats d'essai de Los Angeles du gravier	60
Tableau III.9 : Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP	62
Tableau III.10 : Les résultats de l'équivalent de sable par visuelle	62
Tableau III.11 : Les résultats de l'équivalent de sable par lecture piston	62
Tableau III.12 : masse volumique absolu du sable	64
Tableau III.13 : masse volumique apparente du sable	64
Tableau III.14 : Analyse chimiques du ciment	65
Tableau III.15 : Composition minéralogique du clinker	65

Liste des tableaux

Tableau III.16 : Propriétés physiques du ciment utilisé	66
Tableau III.17 : Temps de prise à 20°C.	66
Tableau III.18 : Résistance mécanique à la compression.	66
Tableau III.19 : Analyse chimique de l'eau utilisé pour le gâchage.	66
Tableau III.20 : Différents utilisations de différents types d'adjuvants	68
Tableau III.21 : Analyse granulométrique du sable concassé	72
Tableau III.22 : Analyse granulométrique du gravier concassé (3/8)	72
Tableau III.23 : Analyse granulométrique du gravier concassé (8/15)	72
Tableau III.24 : Analyse granulométrique du gravier concassé (15/25)	73

Chapitre VI : Etude de formulation de béton

Tableau VI.1 : Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max}	76
Tableau VI.2 : K , fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment	79
Tableau VI.3 : Compacité du béton en fonction de D_{max} , de la consistance et du serrage	81
Tableau VI.4 : masse volumique de déferants constituants de béton	83

Chapitre V : Résultats et discussion

Tableau V.1 : Résultats d'affaissement des bétons étudiés	84
Tableau V.2 : Masses volumiques des bétons étudiés à l'état frais	85
Tableau V.3 : Masse volumique à l'état durci	86
Tableau V.4 : Résultats de l'essai de la résistance à la compression	87

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est un matériau de construction qui trouve son champ d'utilisation dans pratiquement tous les domaines du génie civil. Actuellement, il est sans doute le plus utilisé pour les avantages économiques et techniques qu'il présente.

L'industrie du béton est confrontée ces dernières années à des changements importants : utilisation d'adjuvants de plus en plus performants, développement de nouveaux bétons (bétons à hautes performances, béton auto-compactant).

Le but de ce travail, est de formulé un béton ordinaire et adjuvanté (superplastifiant) à base d'un ciment CPJ et de granulats concassé issue de carrière de Hadji commune de EL-ACH wilaya de Bordj Bou Arreridj.

L'évaluation des caractéristiques du béton frais et durcis sera effectuée afin de bien tirer tous les avantages de l'utilisation des adjuvants et son influence sur les propriétés physico-mécaniques du béton.

Afin d'accomplir ce travail, nous avons divisé le plan de travail en cinq chapitres comme suit :

- Introduction générale
- Chapitre I : étude bibliographique sur les bétons
- Chapitre II : étude des matériaux et les méthodes
- Chapitre III : étude des caractéristiques physico-mécanique des granulats
- Chapitre VI : étude sur la formulation de béton
- Chapitre V : discussions des résultats

Au terme de cette étude, nous aurons à présenter une conclusion générale reprenant l'essentiel de ce qu'on a appris et recensé comme méthode d'étude et de proposer des recommandations par rapport à l'utilisation des adjuvants.

CHAPITRE I :

Etude bibliographique sur les
bétons

I. Etude bibliographique sur les bétons**I.1. Introduction**

Le béton est un matériau artificiel obtenu par un mélange d'un liant (généralement du ciment), d'eau, de granulats (sable et graviers), et éventuellement d'adjuvant, le tout choisi de façon rationnelle.

Les granulats ou agrégats, qui suivant leurs dimensions, se classent en fillers, sable, gravillons et pierres, composent l'ossature du béton et jouent un rôle de remplissage. La pâte de ciment qui se forme après le gâchage à l'eau du mélange enrobe les grains de sable et de graviers, remplit les espaces entre eux et joue le rôle de lubrifiant des agrégats en communiquant au béton une certaine plasticité, nécessaire pour une mise en œuvre correcte. La pâte de ciment en durcissant, fixe les grains des granulats et donne au béton des propriétés intéressantes, notamment une bonne résistance à la compression.

Bien qu'il soit impossible de prédire avec exactitude les performances d'un béton, cependant, de nombreuses études effectuées ont permis de cerner et de quantifier le rôle des différents paramètres influents et il est possible aujourd'hui, moyennant un minimum d'études, d'obtenir des bétons de hautes qualités.

De nos jours, et grâce à ses nombreuses qualités parmi lesquels on peut citer, une bonne résistance à la compression, une bonne isolation phonique et thermique, un coût relativement bas, le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans le monde, et cette tendance mondiale est largement vérifiée en Algérie où le béton reste le matériau de construction par excellence [1].

I.2. Histoire du béton

Histoire du béton montre que sa technique, bien fixée empiriquement par les Romains, avec la chaux grasse et la pouzzolane, a évolué seulement au 19^{ème} siècle, après l'apparition des chaux hydrauliques et des ciments.

L'invention de la chaux hydraulique par Louis Vicat en 1817, celle du ciment portland par Aspdin en Ecosse en 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil en France en 1830 préparent l'avènement du béton [1].

A l'origine, le béton était constitué d'un mélange de trois matériaux : le ciment, les granulats et l'eau. Dans la plupart des cas, le ciment était du ciment Portland obtenu par mélange homogène d'argile et de calcaire, ou d'autres matériaux contenant de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, cuit à la température de linéarisation puis broyé. Par

la suite, de petites quantités d'adjuvants chimiques ont été ajoutées au mélange afin d'améliorer certaines des propriétés du béton à l'état frais ou durci.

Au 20^{ème} siècle, le béton se développa considérablement avec l'évolution de ses techniques : usage croissant des adjuvants, béton prêt à l'emploi, matériel de mise en œuvre. Dans les années quatre-vingt et quatre-vingt-dix du siècle dernier, les études relatives aux bétons à hautes performances ont montré le rôle de l'excès d'eau dans les bétons. La réduction de cette quantité d'eau par l'emploi de défloculants, a conduit aux gains de résistance allant jusqu'à 200 MPA et à une excellente durabilité.

De nos jours, l'étendue des exigences possibles a augmenté de façon spectaculaire. Par exemple l'affaissement au cône d'Abrams varie de 0 pour les bétons fermes à plus pour les bétons autoplaçants, qui sont caractérisés ailleurs par des étalements. De même, les résistances en compression à 28 jours peuvent varier de l'ordre de 10 MPA pour certains bétons de masse, à des valeurs très élevées, supérieures à 200 MPA [1].

I.3. Les composants du béton

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier et, le plus souvent, adjuvants (figure I.1) qui constituent un ensemble homogène. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³ ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0.5 μ m (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillons). Mais cette liste s'allonge très vite dès que des propriétés particulières sont visées, on utilise alors des fines complémentaires ou additions minérales [2].



Figure I.1 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire [1]

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

Dans les bétons les plus simples, le squelette granulaire est composé de deux coupures seulement, un sable et un gravier. Le ciment et l'eau de gâchage, dont les proportions relatives en masse sont fixées par le rapport E/C, vont former, avec les adjuvants éventuels, la pâte de ciment qui constituera le liant du béton. Ce rapport E/C joue un rôle primordial durant les étapes de vie du béton, l'eau en excès le rend plus fluide à l'état frais mais diminue les résistances du béton durci. Des additions minérales (cendres volantes, fumées de silice, laitiers, fillers,..) peuvent être rajoutées dans le but de modifier les propriétés du béton.

L'utilisation de ces éléments fins est toujours combinée à l'emploi de superplastifiants pouvant réduire ainsi la quantité d'eau nécessaire à l'atteinte d'une fluidité suffisante. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes et dans lequel chacun de ces composants joue un rôle bien précis dans le mélange [3].

I.3.1. Ciment

I.3.1.1. Définition

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant, les 1450 °C. Broyés sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau forment des minéraux hydratés très stables. Les travaux effectués [4] ont montré que les principaux composés du ciment portland sont :

- Le Silicate Tricalcique (Alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C3S).
- Le Silicate Bicalcique (Belite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C2S).
- L'Aluminate Tricalcique : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A).
- L'Alumino-Ferrite Tétracalcique : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C4AF).

Et d'autres éléments tels que les sulfates, les alcalins ... etc.

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 [5]. Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de

durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse.

I.3.1.2. Classification des ciments

A) Classification suivant la composition

La norme européenne [6] donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq principaux types à savoir :

- ❖ CEM I : Ciment Portland Artificiel.
- ❖ CEM II : Ciment Portland Composé.
- ❖ CEM III : Ciment de Haut Fourneau.
- ❖ CEM IV : Ciment Pouzzolanique.
- ❖ CEM V : Ciment aux Laitiers et aux Cendres.

Ces ciments sont différents par le type d'ajout, on trouve :

► **Laitier Granulé De Haut Fourneau** : Obtenu par refroidissement rapide du laitier fondu provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau ; il contient au moins deux tiers en masse de laitier vitreuse et présente des propriétés hydrauliques, après avoir subi une activation convenable.

► **Matériaux Pouzzolaniques** : Sont des substances naturelles ou artificielles siliceuses ou silico alumineuses, ou une combinaison de celles-ci contenant de l'oxyde de fer (Fe₂O₃) et d'autres oxydes mais la teneur en (SiO₂) réactif doit être au moins égale à 25 % en masse.

► **Cendres Volantes** : produits pulvérulents de grande finesse proviennent du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques. On distingue deux familles [7] :

✓ **Cendres Volantes Siliceuses** : Sont principalement des particules sphériques ayant des propriétés pouzzolaniques, constituées essentiellement de silice(SiO₂) et d'alumine (Al₂O₃)

✓ **Cendres Volantes Calcique** : Présentent des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolanique, contenant une teneur en oxyde de calcium (CaO) réactif >10% en masse, le reste était de la silice (SiO₂), d'alumine (Al₂O₃), d'oxyde de fer (Fe₂O₃).

► **Filler Calcaire** : est un matériau très finement broyé, il a pour rôle de remplir les vides entre les sables et les graviers, tout en présentant une certaine activité physico- chimique en favorisant l'hydratation des silicates tricalciques [8].

► **Fumée de Silice** : provient de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours. Elle est formée de particules sphériques contenant au moins 85 % en masse en silice amorphe [9].

B) Classification suivant les résistances à la compression

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

I.3.2. Les ajouts minéraux

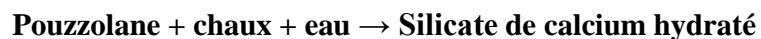
I.3.2.1. Généralités

Les ajouts sont des matériaux minéraux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment, quelques fois également au béton afin d'améliorer les propriétés du mortier ou du béton grâce à une activité hydraulique et / ou pouzzolanique.

Ils sont souvent meilleur marché que le ciment Portland et permettent d'obtenir un ciment composé ou divers plus économique. Contrairement aux adjuvants, les ajouts doivent être pris en compte dans le calcul de la composition du béton.

On peut fabriquer des bétons en utilisant seulement du ciment Portland. Cependant la substitution partielle d'une certaine quantité de ciment par un ou plusieurs ajouts minéraux lorsqu'ils sont disponibles à des prix compétitifs peut être avantageuse, non seulement du point de vue économique, mais aussi du point de vue rhéologique et parfois du point de vue résistance et durabilité. Les ajouts minéraux cimentaires typiques sont les cendres volantes (C.V), le laitier granulé de haut fourneau (L.G.H.F) et les fumées de silice (F.S). L'utilisation d'ajouts cimentaires dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques.

La plupart des ajouts minéraux ont en commun de contenir une forme de silice vitreuse réactive qui, en présence d'eau, peut se combiner à la température libérée par l'hydratation du C₂S et du C₃S avec la chaux pour former un silicate de calcium hydraté du même type que celui qui est formé durant l'hydratation du ciment Portland (N F P 18-508). On peut écrire donc une réaction pouzzolanique de la façon simple suivante :



Il faut noter qu'à la température de la pièce, cette réaction est généralement lente et peut se développer sur plusieurs semaines. Cependant plus la pouzzolane est fine et vitreuse, plus sa réaction avec la chaux est rapide. L'hydratation du ciment Portland libère une grande quantité de chaux par suite de la réaction d'hydratation du C₂S et du C₃S (30 % de la masse anhydre du ciment). Cette chaux contribue à la chute de résistance de la pâte de ciment hydratée. Elle peut même être responsable des problèmes de durabilité puisqu'elle peut être assez facilement

lessivée par de l'eau, ce lessivage augmente alors la porosité de la pâte de ciment. Le seul aspect positif de la présence de chaux dans un béton est qu'elle maintient un pH élevé qui favorise la stabilité de la couche de l'oxyde de fer que l'on retrouve sur les armatures d'acier. Quand on fabrique des bétons, si on utilise 20 à 30% de pouzzolane, théoriquement, on pourrait faire réagir toute la chaux produite par l'hydratation du ciment portland pour la transformer en C-S-H. Cependant, les conditions dans lesquelles on utilise le béton sont très différentes de cette situation idéale et la réaction pouzzolanique n'est jamais complète. Ces matériaux étant des sous-produits industriels, leurs compositions chimiques sont en général moins bien définies que celle du ciment Portland [5].

I.3.2.2. Avantages des ajouts minéraux

I.3.2.2.1 Avantages techniques

D'abord, l'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée (sauf pour les matériaux de très grande surface active, comme les fumées de silice). Ensuite, les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques. Enfin, parce qu'ils permettent une moindre chaleur d'hydratation des ciments mélangés, les ajouts cimentaires améliorent la résistance à la fissuration [5].

I.3.2.2.2. Avantages économiques

Typiquement, le ciment Portland est le composant le plus coûteux d'un mélange de béton, puisqu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plupart des matériaux (ajouts) susceptibles de remplacer le ciment dans le mortier ou béton sont des sous-produits, et, à ce titre, demandent relativement moins d'énergie, sinon aucune, et sont beaucoup moins coûteux que le ciment Portland. Toutefois, la distance qui sépare la source des ajouts cimentaires et le coût élevé du transport qui en résulte risquent de l'emporter sur leurs avantages économiques potentiels. De même, le manque de stockage abordable est parfois une barrière à leur utilisation dans certains marchés. Bien qu'il soit difficile à prédire, le prix des ajouts cimentaires pourrait se comparer à celui du ciment si la demande en béton ne diminuait pas, dans ce monde que menace le (CO₂), et c'est bien le gaz carbonique (dioxyde de carbone) qui pourrait finalement décider de la valeur de ces denrées [3].

I.3.2.2.3. Avantages écologiques

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO₂). De fait, le remplacement du ciment Portland par des

ajouts cimentaires réduit d'autant les émissions de (CO₂). En général l'utilisation de cendres volantes (C.V) et de fumées de silice (F.S) comme ajouts cimentaires ne demande pas un traitement à forte intensité d'énergie. Le laitier, par contre, doit être granulé et sa granulation provoque l'émission d'environ 0,07 tonne de (CO₂) par tonne de laitier granulé de haut fourneau (L.G.H.F) produit. A cela, il faut ajouter les émissions de CO₂ causées par le transport des matériaux (ajouts) jusqu'au chantier de construction. Les études montrent que le transport (par camion et chemin de fer) d'une tonne d'ajouts cimentaires sur une distance de 1000 km libère environ 0,022 tonne de (CO₂) [3].

I.3.2.3. Classification des ajouts minéraux

Selon la norme ENV 2006, les ajouts minéraux dans le ciment sont classés en actifs et inertes.

I.3.2.3.1. Principaux ajouts minéraux inertes

Selon certains chercheurs, les particules de clinker de dimension supérieure à 60µm ne subissent pas une hydratation complète même au cours du durcissement à long terme, pour cette même raison les particules de clinker de telle dimension pourraient être remplacées par celles de matériaux inertes (N F P 18- 305). En outre, les particules les plus fines d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de ciment, ils jouent le rôle de micro agrégats.

Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment Portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau,...).

Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et la poussière [8].

1.3.2.3.2. Fillers calcaires

Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, bentonite, ...). Les fillers se différencient les uns des autres par :

- leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qu'ils contiennent.
- leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- leur dureté, leur porosité.

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine. Les différents résultats montrent que les fillers calcaires ajoutés à un CPA peuvent jouer plusieurs rôles :

- ✓ Un rôle de remplissage en substitution du ciment dans les éléments fins de la courbe granulométrique (bétons ouvrables retenant mieux l'eau).
- ✓ Un rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle.
- ✓ Un rôle chimique et physique conduisant à l'accélération de l'hydratation du C3S et du C3A et à la formation de carbo-aluminates : germes de cristallisation et points d'ancrage des hydrates.
- ✓ Un rôle physique en permettant un arrangement initial différent ce qui réduit l'épaisseur entre la pâte et le granulat [3].

I.3.2.3.3. La poussière

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000 cm^2/g . le ciment composé avec la poussière a des caractéristiques mécaniques et une résistance au gel-dégel comparable à celle du ciment sans ajouts. Le temps de prise, le fluage et le retrait augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout. [3]

I.3.2.3.4. Les ajouts minéraux actifs

Parmi ces ajouts on distingue la pouzzolane, la fumée de silice, le laitier de haut fourneau et les cendres volantes. Nous nous intéresserons ici que par la pouzzolane puisqu'elle est l'ajout utilisée dans nos essais [1].

– La pouzzolane

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédants des propriétés liantes.

Les normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans la fabrication des ciments :

A) pouzzolane naturelle

Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques. Elle peut être d'origine volcanique : verre volcanique, ponce, rhyolite, tufs, zéolite ou d'origine sédimentaire : terre à diatomées, diatomites.

B) Pouzzolane artificielle

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Les roches

traitées thermiquement : argiles, schistes, latérite, bauxite et moler. Le professeur Massaza classe les pouzzolanes en trois catégories :

- Les constituants actifs : phase vitreuse plus au moins altérée, opale, terre de diatomées, zéolites cristallisées.
- Les constituants inertes : phase cristallisée autre que les zéolites.
- Les constituants nocifs : substances organiques et argiles gonflantes [3].

I.3.2.3.5. Propriétés et caractéristiques des pouzzolanes

Les pouzzolanes sont des roches " acides " ayant des teneurs élevées en silice et en alumine (entre 70 et 80% pour les deux composants ensemble), puis en fer, en alcalins, en magnésie et en chaux.

Les pouzzolanes naturelles d'origine sédimentaire ont des teneurs en silice encore plus élevées (cas des squelettes siliceux de micro-organismes). Les quantités de chaux sont limitées, ce qui explique par ailleurs, la capacité des pouzzolanes à fixer la chaux [19] et [20].

Les pouzzolanes sont formées surtout d'éléments vitreux. Elles sont plus au moins réactives. La réactivité est l'aspect chimique de fixation de la chaux. L'activité pouzzolanique s'explique par une attaque lente de la silice et de l'alumine des pouzzolanes par l'hydroxyde de chaux (portlandite). Des tests chimiques basés sur la quantité de chaux absorbée ou sur la vitesse de fixation ne suffisent pas pour déterminer la réactivité pouzzolanique. D'autre part, la connaissance séparée des propriétés de chacun des constituants ne permet pas de prévoir le comportement des mélanges. Seuls les résultats des essais de l'évolution des résistances mécaniques dans le temps permettent de conclure [18].

Tous les matériaux appelés « pouzzolanes » ne possèdent pas forcément cette propriété. On peut dans certains cas, activer les pouzzolanes par certains procédés :

- ajouts de produits chimiques.
- broyage à une finesse plus élevée.
- traitement thermique.

En plus de ces caractéristiques, on cite les propriétés suivantes :

I.3.2.3.6. Propriétés hydrauliques des pouzzolanes

La pouzzolane réagit avec l'eau, en présence d'une quantité suffisante de chaux, pour former des hydrates stables, peu solubles et résistants à long terme.

I.3.2.3.7. Propriétés physiques de remplissage des pouzzolanes

En plus de leur effet pouzzolanique, elles jouent un rôle de remplissage des pores des produits hydratés et de correcteurs granulaires, ce qui améliore la compacité et diminue la perméabilité

I.3.3. Les adjuvants

I.3.3.1. Définition

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5 % de la masse de ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et / ou à l'état durci [AFNOR NF EN 934-2/A2, 2006]. Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule, mais peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires. Plusieurs catégories sont définies par la norme. Il existe plusieurs types d'adjuvants qui sont régis par la norme NF EN 934-2 : plastifiants/super-plastifiants, rétenteurs d'eau, entraîneurs d'air, accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise, hydrofuges... etc. [10]

I.3.3.2. Rôle des adjuvants

Les adjuvants comme indiqué précédemment sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons lors du malaxage ou avant leur mise en œuvre, provoquent des modifications des propriétés du béton, notamment à l'état frais. [10]

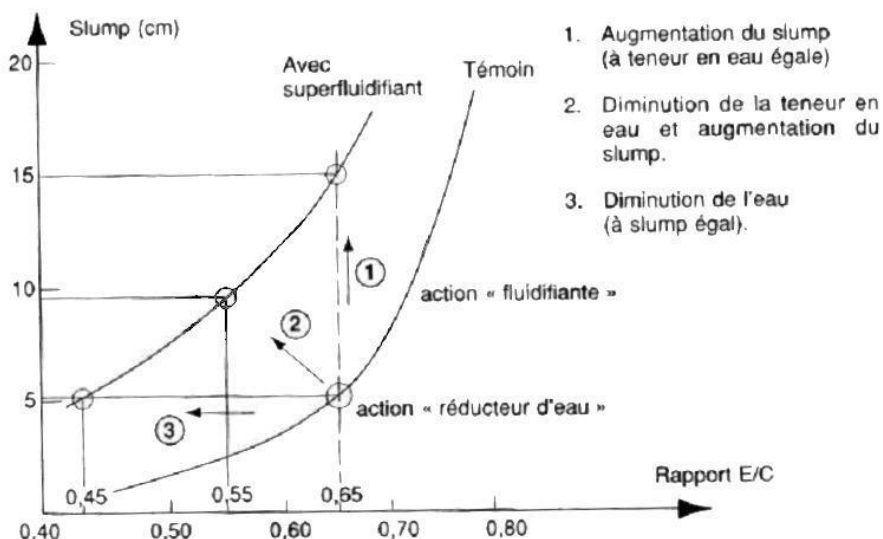


Figure I.2 : Utilisations des super-plastifiants [11]

Les plastifiants et les superplastifiants permettent, comme décrit dans la **figure 1.2**, soit de réduire le dosage en eau à maniabilité constante, induisant donc un gain de résistance en

compression, soit d'augmenter l'affaissement à teneur en eau constante. Les deux types de produits sont différenciés par leur efficacité en termes de réduction d'eau, les superplastifiants étant plus efficaces. Les premières générations de superplastifiants étaient des résines du type mélamines sulfonées, naphthalènes-sulfonates ou vinyles sulfonates.

Un superplastifiant permet de réduire la quantité d'eau et donc d'augmenter la résistance mécanique du béton tout en contrôlant sa rhéologie. Il devient possible de rapprocher considérablement les grains de ciment lorsqu'ils s'hydratent durant le mélange. Cet effet permet ainsi de confectionner des bétons à matrice cimentaire très dense et très imperméable qui présentent une résistance à la pénétration des agents agressifs sans commune mesure avec celle des bétons ordinaires [24].

Le mécanisme physique, permettant au superplastifiant d'augmenter la maniabilité du béton, est résumé comme suit : le ciment, dont la taille des grains varie de l'ordre de quelques microns à une centaine de microns, est obtenu par broyage. Ce dernier provoque une désorganisation de la surface des grains, et donc la création de sites chargés électriquement. Par conséquent, le ciment présente, à l'état concentré, une structure floculante : les charges opposées s'attirent mutuellement pour former des agrégats de particules. Au sein d'une suspension (béton frais), les grains de ciment forment des agglomérats qui emprisonnent une certaine quantité d'eau, qui n'est plus alors disponible pour donner de l'ouvrabilité au mélange.

Le rôle des superplastifiants est donc de casser ces agglomérats pour rendre cette eau disponible. Ce type d'adjuvant se compose de molécules organiques solubles dans l'eau, portant des charges électriques (négative par exemple) réparties sur leur longueur. Ces molécules viennent donc se fixer aux points chargés positivement situés à la surface des grains de ciment et forment des boucles au-dessus de cette surface. Grâce à cette boucle, tout se passe comme si le grain de ciment avait acquis une forte charge négative. Chaque grain de ciment, étant chargé de cette façon, tend à s'écarter de ses voisins.

Ces forces de répulsion peuvent être assez grandes pour fragmenter des agglomérats et libérer l'eau liée. Parmi les nouvelles générations de superplastifiants, on trouve la famille des polycarboxylates. Ils sont en général plus efficaces et fournissent un maintien de l'ouvrabilité plus long. Ces produits agissent sur les grains de ciment, comme exposé ci-dessus, mais plutôt par effet d'encombrement stérique [15].

Ces superplastifiants hauts réducteurs d'eau à effet fluidifiant prolongé sont des polymères acryliques (chargés négativement) sur lesquels sont fixés des polymères non chargés (polyoxydes

d'éthylène) ou présentant des groupements terminaux anioniques. Spécialement conçu pour le béton de bâtiment et de génie civil, ils permettent la confection de bétons à hautes performances. Leur action dispersante, liée aux groupements polyoxydes d'éthylène très encombrants, est principalement due à des forces de répulsion stériques. Ces adjuvants présentent deux effets qui peuvent être à l'origine de la dispersion :

- la défloculation par répulsion électrostatique suite à l'adsorption de molécules portant de nombreuses charges de même signe.
- La lubrification des grains par répulsion stérique due à l'encombrement des molécules (Figure 1.3).

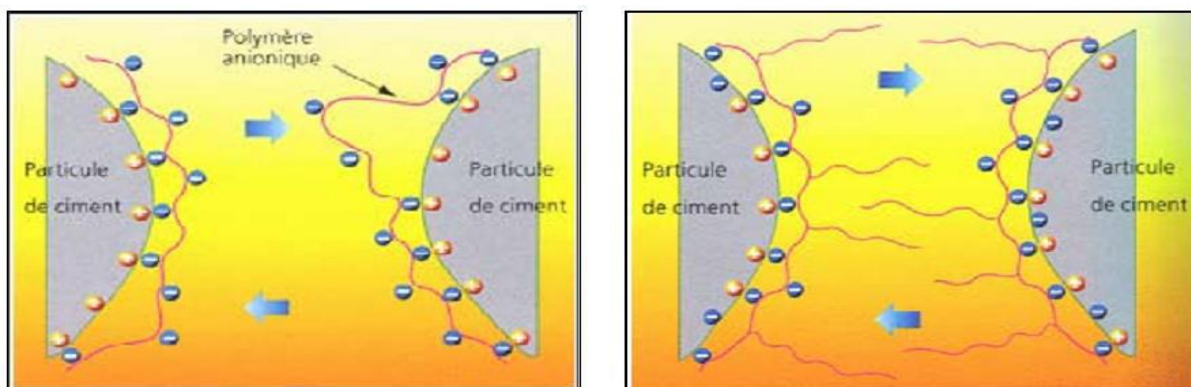


Figure I.3 : Particules de ciment recouvertes de polymères (anioniques / à fort encombrement stérique) : dispersion par répulsion (électrostatique/ statique) [11].

I.3.4. Les granulats pour le béton

I.3.4.1. Définition

La définition de granulat est donnée par la norme XP-P 18.540 : « ensemble de grains de dimensions comprises entre 0 et 125mm destiné notamment à la confection des mortiers et des bétons ». Les sables sont des granulats dont le diamètre du plus gros grain doit être inférieur à 2mm. Les granulats ont une influence importante sur les performances mécaniques et sur les déformations différées du béton obtenu. En effet ils ont, en règle générale, de meilleures performances mécaniques que la pâte de ciment. L'origine du granulat doit être prise en compte pour l'explication du comportement différé du béton en conditions sécantes à température ambiante, et à hautes températures.

Les granulats peuvent également contribuer à la dégradation d'une structure en béton. En effet les granulats ne subissent pas de déformations différées à l'échelle de la durée de vie des

structures. Les déformations différées de la pâte de ciment sont donc empêchées ce qui se traduit par :

- Des déformations différées à l'échelle du béton bien plus faibles que celles observées sur pâte de ciment.
- L'apparition de contraintes internes auto induites (sans chargement mécanique extérieur) dans la pâte de ciment et les granulats.

La forme et la rugosité des granulats ont une grande influence sur la compacité du mélange granulaire, qui est également sensible à la granulométrie (distribution de taille des granulats utilisés dans un béton donné). La granulométrie a pour but d'optimiser la réduction du volume des vides afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques du béton. [26]. La forme et la nature (calcaire, siliceuse, silico-calcaire) des granulats choisie joue également sur l'adhérence avec la matrice cimentaire. Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine soit naturelle, soit artificielle, soit recyclée [6].

I.3.4.2. Les principes de fabrication des granulats

Il n'est pas toujours possible de trouver dans la nature des gisements de granulats qui ont exactement les caractéristiques techniques désirées leur permettant de remplir sans traitement les fonctions auxquelles on les destine. Il faut impérativement les transformer dans des installations de production, ou bien les fabriquer en concassant et en tamisant des morceaux de roches abattus par dynamitage sur le front de taille d'une carrière.

Les granulats sont donc produits suite aux quatre opérations suivantes :

- L'extraction de la matière première ;
- Le concassage ;
- Le criblage ;
- Le stockage avant expédition.

Parfois, une seule opération complète ou remplace un de ces quatre traitements. Par exemple, la cuisson des nodules d'argile ou de schiste prend place entre le concassage et le criblage et lorsque les nodules sont moulés, le concassage est supprimé [6].

I.3.4.3. Les granulats concassés de roche massive (granulats de carrière)

Les granulats concassés de roche massive sont des granulats naturels extraits de carrières. Ils sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur confère des formes très angulaires. Nous nous intéresserons aux roches massives les plus couramment utilisées dans l'industrie

du béton. Parmi celles-ci, quatre roches sont d'origine magmatique : granite, porphyre, basalte, diorite ; deux roches sont d'origine métamorphique : quartzite, marbre ; une roche est sédimentaire : le calcaire.

➤ **Roches d'origine magmatique**

Le granite est une roche magmatique consolidée en profondeur. Il est constitué de quartz, de feldspath et de mica. Les porphyres ou rhyolites sont des roches de composition similaire au granite, elles contiennent de gros cristaux de feldspath, de quartz ou d'éléments ferromagnésiens. Le basalte est une roche lourde, dont les éléments essentiels sont le feldspath calco-sodique et le mica. Les diorites sont des roches de teinte sombre, d'aspect granitoïde, constituées de feldspath et de mica.

➤ **Roches d'origine métamorphique**

Les quartzites sont des grès très compacts formés uniquement de grains de quartz cimentés par de la silice. Les marbres sont des calcaires grenus (à grains microscopiques). Ils sont constitués de grains de calcite (CaCO_3) de grosseur uniforme ou irrégulière, regroupés sans orientation mais sans laisser de vide.

➤ **Roches d'origine sédimentaire**

Les calcaires sont principalement constitués de calcite. Ils montrent un très fin développement de petits grains de taille uniforme ou irrégulière.

I.3.4.3.1. Extraction des granulats concassés

Ils sont produits à partir de bancs rocheux. Pour le carrier, une bonne connaissance géologique de son gisement peut orienter, du moins dans une certaine mesure, son exploitation vers tel ou tel banc, telle ou telle zone afin de produire des granulats ayant les caractéristiques requises. L'extraction se fait par abattage à l'explosif, après que la première couche de découverte qui porte principalement sur la terre végétale ait été éliminée au boteur. L'abattage sert à fragmenter le massif que le matériau soit repris aisément par les engins et acheminé à l'usine de traitement.

Après l'abattage, on procède fréquemment à un pré criblage appelé "scalpage". Le scalpage permet d'éliminer les restes de découverte et de roches altérées dans l'abattage [28]. Le matériau scalpé ou non, est ensuite concassé pour être amené à la dimension d'utilisation.

I.3.4.3.2. Le concassage

Le concassage est la division des matières dures en fragments grossiers. Ce procédé permet de transformer des gros fragments de roches en une série de granulats qui répondent en quantité et en qualité aux divers besoins de l'industrie : granulats pour béton, granulats routiers,...etc. Cette opération est réalisée en plusieurs étapes, concassage primaire, secondaire et tertiaire, par exemple, séparés l'un de l'autre par des criblages. Les équipements qui permettent le concassage des blocs rocheux sont appelés concasseurs [28]. Ces appareils de concassage peuvent être classés en deux catégories suivant qu'ils travaillent :

- Par écrasement entre deux pièces de concassage ;
- Par chocs et projections sur des enclumes fixes ;

Le choix des concasseurs affectés à ces opérations est évidemment très lourd de conséquences pour le carrier puisque, d'une part les concasseurs représentent un investissement important et, d'autre part, la productivité de l'installation, la qualité et le prix de revient des granulats en dépendent énormément

Habituellement, le concasseur primaire est un concasseur à mâchoires, les autres étant des giratoires. Cependant, actuellement, on trouve également des concasseurs primaires giratoires. Les concasseurs à mâchoires ou giratoires sont des appareils qui travaillent par écrasement dont une pièce broyante est fixe et l'autre mobile [2].

a) Concasseurs travaillant par écrasement

Dans cette catégorie d'appareils, on trouve des concasseurs dont une pièce broyante est fixe et l'autre mobile tels que les concasseurs giratoires ou à mâchoires et des concasseurs dont les deux pièces broyantes sont mobiles tels que les concasseurs à cylindres.

▪ Concasseurs giratoires

Le pied de l'arbre principal étant engagé dans un mouvement excentrique, décrit un cercle ; sa tête étant fixe, l'arbre décrit un cône autour de l'axe vertical de l'appareil. À mi-hauteur de cet arbre, une pièce broyante, appelée le cône ou la noix, oscille à l'intérieur d'une pièce fixe appelée l'anneau de broyage ou bol. Ainsi, pendant le fonctionnement en charge de l'appareil, le cône roule sur les matériaux, ce qui réduit l'usure des pièces broyantes. Selon la géométrie interne qu'on leur donne, les concasseurs giratoires peuvent être utilisés comme concasseurs primaires, secondaires ou tertiaires.

Les concasseurs giratoires primaires présentent de larges ouvertures d'entrée qui leur permettent d'accepter les plus gros blocs. Actuellement, les plus gros appareils en service ont

des ouvertures d'admission atteignant dans le sens radial plus de deux mètres, ce qui permet d'admettre des blocs de 10 à 15 tonnes de poids unitaires avec une production pouvant dépasser 3500 t/h. Ces concasseurs ainsi chargés à plein, travaillent constamment au maximum de leur capacité. Le rapport de réduction de ce type de concasseur est de l'ordre de 6 à 8.

Les concasseurs giratoires secondaires ne sont pas habituellement utilisés pour fabriquer des matériaux finis. On demande donc à ces appareils d'avoir une capacité de prise aussi grande que possible afin de pouvoir être alimentés sans difficulté. Ils doivent permettre une bonne prise des matériaux et comporter une chambre facilitant l'admission et l'évacuation.

Les concasseurs giratoires tertiaires ou finisseurs sont utilisés lorsque l'on traite des matériaux durs et abrasifs et que l'on veut obtenir des gravillons de bonne cubicité. Divers fabricants se sont penchés sur les améliorations techniques permettant de créer les conditions idéales de production de granulats de qualité. Ces conditions sont les suivantes :

- ✓ vitesse d'écrasement bien adaptée pour permettre une meilleure prise des matériaux dans la zone d'alimentation et favoriser une bonne évacuation des produits, et de ce fait obtenir une compacité favorisant l'autobroyage;
- ✓ grand nombre de chocs sur toutes les faces des produits surtout dans la zone parallèle de finition (partie de finition de la chambre de broyage) de favoriser l'autobroyage et la rupture des éléments longs et plats ;
- ✓ broyage en milieu dense, compact et homogène.

On voit donc que le mode d'utilisation, les caractéristiques mécaniques du concasseur giratoire et les caractéristiques physiques de sa chambre de concassage ont une influence extrêmement importante sur le rendement et la qualité des produits [1].

▪ **Concasseurs à mâchoires**

Le principe général de ces appareils est le suivant : le matériau est écrasé entre deux mâchoires, l'une mobile et l'autre fixe. Le mouvement de la mâchoire mobile est différent suivant qu'il s'agit d'un appareil à simple ou à double effet. Les concasseurs à mâchoires à simple effet sont constitués d'un bâti en acier sur lequel est montée la mâchoire fixe. Le balancier, équipé de la mâchoire mobile, est suspendu sur un arbre excentré. Cet arbre est muni de deux volants d'inertie comportant des masses d'équilibrage.

L'amplitude de la mâchoire mobile est réglée par l'inclinaison du plan du volet par rapport au plan du balancier. Dans un cycle complet, la mâchoire mobile commence par s'écarter de

la mâchoire fixe avec un mouvement ascendant, puis elle se rapproche avec un mouvement descendant qui entraîne les produits vers la sortie.

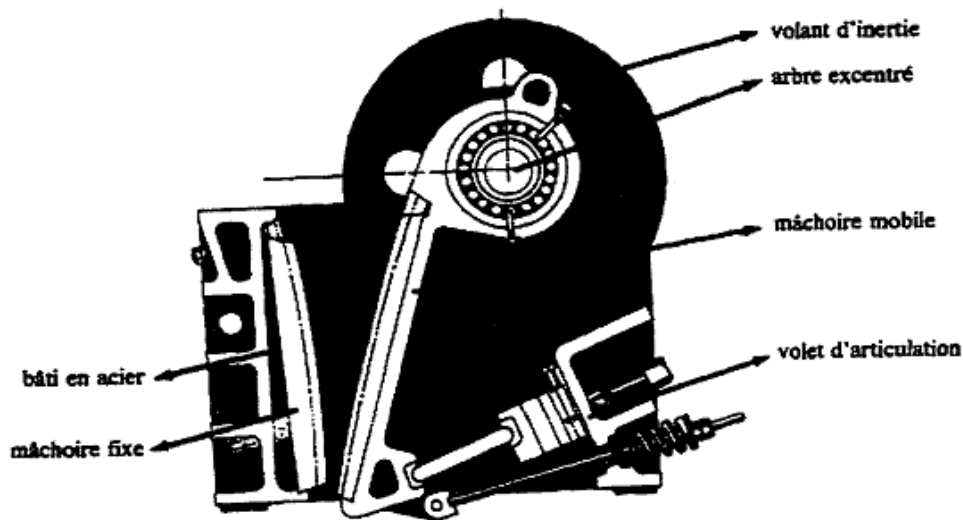


Figure I.4 : Concasseur à mâchoires à simple effet [2]

Un concasseur à mâchoires à double effet comporte un bâti sur lequel sont montés la mâchoire fixe et deux balanciers : l'un, le balancier moteur, entraîné par l'arbre excentrique, décrit des cercles dans sa partie haute, ce qui engendre un mouvement vertical alternatif. Ce mouvement vertical est transformé en un mouvement alternatif horizontal transmis au pied du balancier porte- mâchoire. Le mouvement de la mâchoire mobile est donc purement horizontal, ce qui limite l'usure due au va-et-vient vertical. Les qualités essentielles de ce type de concasseur sont sa robustesse et sa facilité d'entretien. Par contre, si la roche exploitée est à la fois dure et abrasive, et si le rendement horaire recherché est élevé (1000 t/m), il est souvent préférable d'utiliser soit un concasseur giratoire, soit un concasseur à choc. Le rapport de réduction de ce type de concasseur est de d'ordre de 4 à 5.

b) Concasseur travaillant par chocs

Le principe général en est toujours le même. Un rotor tourne à grande vitesse à l'intérieur d'une enceinte fermée équipée de plaques de chocs ou d'enclumes. Le rotor muni d'un certain nombre de pièces de chocs, fixes dans le cas des concasseurs à chocs, mobiles dans le cas des broyeurs à marteaux, projette les matériaux sur les enclumes. Le concassage s'effectue par chocs des particules sur les percuteurs ou marteau du rotor, par chocs des matériaux entre eux, par chocs des matériaux sur les enclumes.

Les concasseurs à chocs permettent de très grands rapports de réduction pouvant aller jusqu'à 30, mais produisent un pourcentage important d'éléments fins ; par contre, ils sont très sensibles à l'usure. Lorsqu'on a affaire à des matériaux tant soit peu abrasifs contenant plus de 10 % de silice. Il importe cependant de rappeler que les broyeurs à marteaux permettent d'obtenir des granulats de cubicité inégalable.

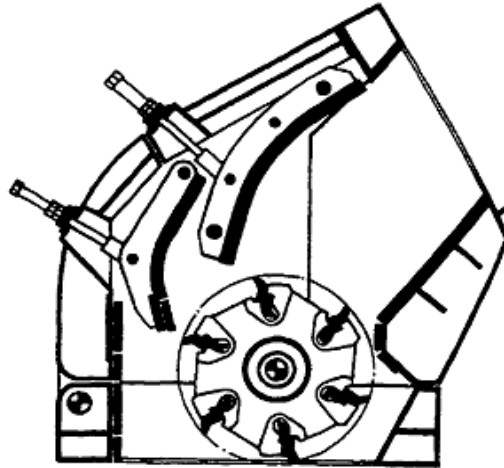


Figure 1.5 : Concasseur à choc primaire [2]

Le concasseur «à projection» est un nouveau type de broyeur qui fonctionne par projection. Les granulats à broyer sont introduits par le tube d'alimentation sur la face supérieure du concasseur. Le rotor, tournant à grande vitesse, projette les matériaux à la périphérie, soit sur un matelas de matériaux qui sert d'écran de broyage, soit dans certains cas sur des enclumes interchangeables en métal anti-abrasion. La production comporte un pourcentage important d'éléments fins et la cubicité des particules obtenues est excellente. Ces appareils sont parfois utilisés uniquement en correcteur de forme.

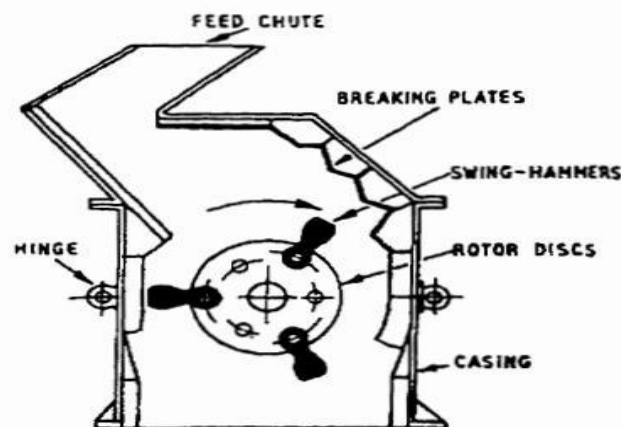


Figure 1.6 : Concasseur à projection dit finisseur (ou correcteur de forme) [2]

c) Choix du type de concasseur

Il n'existe pas de concasseur idéal ; les différents types de concasseurs que nous venons de décrire présentent des avantages et des inconvénients, compte tenu du type de roche qui doit être traité et de l'utilisation prévue des granulats produits. Les facteurs qui interviennent lors du choix d'un concasseur sont :

- La dimension des plus gros morceaux des produits d'abattage ;
- Le débit horaire ;
- le rapport de réduction désiré ;
- la dureté et l'abrasivité de la roche à traiter ;
- la granulométrie désirée des produits fins ;
- la forme des produits concassés ;
- la consommation d'énergie et la puissance des moteurs ;
- les caractéristiques mécaniques du concasseur (rusticité, facilité d'entretien, facilité de remplacement des parties usées par abrasion, facilité des réglages, etc.).

En conclusion, les paramètres tels que les caractéristiques mécaniques de la roche, la granularité du matériau à l'entrée du concasseur, le débit d'alimentation et sa régularité, le réglage du concasseur, ont une grande influence sur la forme, l'angularité, la granularité et le débit du produit de concassage. Il faut donc que les appareils choisis, soient bien réglés et bien utilisés. En particulier, le débit d'alimentation doit varier aussi peu que possible, et pour éviter les dérèglages accidentels, il faut surveiller les concasseurs à l'aide d'instruments de contrôle, ampèremètre, voltmètre, etc. [6].

I.3.4.3.3. Le criblage

Le criblage est l'opération qui permet de séparer un ensemble de granulats en deux sous-ensembles, l'un contenant les éléments plus gros d'une dimension donnée, l'autre les plus fins. Le criblage est l'opération complémentaire du concassage. Avant chaque concassage, on commence par éliminer les matériaux qui ont déjà une dimension inférieure à celles des particules les plus petites qui sortiront du concasseur : on parle de précriblage. Cette opération vise plusieurs objectifs :

- augmenter le rendement horaire du concasseur.
- éliminer les particules de roche Les plus fragiles qui ont été réduites les premières en particules de petites dimensions.

- limiter l'abrasion dans le concasseur puisque ce sont les particules les plus fines qui causent le plus l'usure du concasseur.

Après le concassage, le système de tamisage, constitué par un empilement de cribles inclinés à mailles carrées ou rectangulaires, permet de séparer les particules selon leur grosseur. L'efficacité du tamisage dépend des paramètres suivants :

- Épaisseur de la couche de matériau sur le crible ;
- Vitesse de déplacement du matériau ;
- Fréquence et amplitude de vibration du crible ;
- Longueur et surface du crible.

D'autres paramètres tels que la proportion de passant, la forme des particules, la teneur en eau du matériau, influent sur les paramètres ci-dessus, compliquant ainsi le problème qui, il faut bien le dire, n'a pas de solution toute faite.

Le système de tamisage peut fonctionner en circuit ouvert, c'est-à-dire qu'aucune des particules qui a été classée n'est retournée vers le concasseur pour y voir sa taille réduite. Il peut fonctionner en circuit fermé avec le concasseur, c'est-à-dire que le refus du tamis supérieur est sans cesse retourné vers le concasseur.

I.3.4.4. Caractéristiques des granulats concassés

Dans le **tableau 1.2** les caractéristiques des granulats issus de roches massives concassées. Nous nous sommes intéressés aux types de roches les plus couramment utilisées dans l'industrie du béton. Parmi les granulats calcaires, il faut distinguer les calcaires durs des calcaires tendres. En effet, un calcaire dur possède des propriétés très proches d'une roche magmatique ou métamorphique tandis qu'un calcaire tendre présente une absorption d'eau, une sensibilité au gel ainsi que des propriétés mécaniques beaucoup moins favorables à la réalisation d'un béton.

Concernant les propriétés physiques, mis à part les calcaires tendres, toutes les roches étudiées ont une masse volumique légèrement plus élevée que celle des granulats alluvionnaires. Parmi ces roches, les basaltes et les diorites se différencient des autres roches par des masses volumiques réelles supérieures. Le coefficient d'absorption d'eau moyen et la sensibilité au gel des granulats concassés de roche massive sont comparables à ceux des granulats alluvionnaires, mis à part pour les calcaires tendres qui sont par définition des roches poreuses. De manière générale, les granulats concassés sont plus anguleux, plus

écaillés et plus allongés que les granulats alluvionnaires ; ils ont donc un coefficient d’aplatissement plus élevé.

Concernant la propreté des granulats concassés de roche massive, la valeur de bleu, les teneurs en matières organiques, en impuretés et en éléments coquilliers sont comparables à celles des granulats alluvionnaires. La spécificité des granulats concassés est leur importante teneur en fines (9 à 14 %) et leur équivalent de sable plus faible que celui des granulats alluvionnaires.

En ce qui concerne les propriétés mécaniques, les granulats concassés de roche massive ont globalement un Los Angeles plus faible que celui des granulats alluvionnaires, ce qui signifie une meilleure résistance à la fragmentation par chocs. Il faut noter que les granulats de basalte et de diorite sont plus résistants que les autres granulats concassés de roche massive. Les granulats calcaires tendres peuvent avoir un Los Angeles supérieur à 30, ce qui est caractéristique d’une roche peu résistante à la fragmentation par chocs.

Enfin, concernant les teneurs en soufre total, sulfates et chlorures, rien ne différencie un granulats concassés de roche massive d’un granulats alluvionnaire [6].

Tableau I.2 : Caractéristiques des granulats issus des roches massives concassés [6]

Caractéristiques	Type de granulats	La nature de la roche						
		Granite	Porphyre	Basalte	Diorite	Quartzite	Marbre	Calcaire
Propriétés physique								
Masse volumique réelle (t/m ³)	Sable gravillon	2.6 2.7 2.8	2.5 2.6 2.7	2.7 2.8 2.9	2.5 2.6 2.7	2.5 2.6 2.7	2.5 2.6 2.7	2.2 2.5 2.7
Absorption d’eau (%)	Sable gravillon	0.7 0.9 1.3 0.6 0.8 1.2	0.4 0.8 1.2 0.6 0.8 1.2	1.2 1.5 1.8 0.6 0.8 0.9	0.2 0.5 0.7 0.3 0.5 0.8	0.6 0.9 1.4 0.5 0.7 0.9	0.2 0.4 0.7 0.1 0.3 0.5	1.2 2.5 3.2 0.8 1.4 2.3
Sensibilité au gel (%)	Gravillon	<10	<10	<5	<5	<5	<10	0 à 15
Module de finesse	Sable	2.9 3.1 3.3	2. 2.5 3.2	2.7 3.1 3.7	2.2 2.5 2.9	2.5 3.1 3.6	- 2.5* -	2.4 2.9 3.6
Coefficient d’aplatissement (%)	Gravillon	11 14 16	13 14 15	11 14 17	8 10 12	14 15 16	7 12 23	1 7 12
Teneur en fines (% <80µm)	Sable	9 11 17	10 14 18	7 9 12	13 13 15	9 12 16	- 10* -	6 12 19
Equivalaient se sable (PS en %)	Sable	58 64 71	53 59 71	65 68 70	62 64 68	48 63 75	- 75* -	67 74 79
Matières organique (%)	Sable	Test négatif	Test négatif	Test négatif	Test négatif	Test négatif	Test négatif	Test négatif
Impureté (%)	Sable gravillon	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Éléments coquilliers (%)	Gravillon	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Propreté (%)	Gravillon	0.3 0.9 1.6	0.6 1.1 2	0.2 0.5 0.9	0.6 1 1.7	0.9 1 1.1	0.7 0.9 1	1.1 2.8 6.2
Valeur de bleu (g de colorant /kg de fraction 0/2mm)	Sable	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.7

Propriétés mécaniques								
Los Angeles	Gravillon	12 20 32	11 17 25	8 13 17	10 13 16	15 18 25	15 22 32	16 31 49
Propriétés chimiques								
Teneur en soufre total (%)	Sable gravillon	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Teneur en sulfates	Sable gravillon	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Teneur en chlorures (%)	Sable gravillon	<0.02	<0.02	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

I.3.4.5. Approvisionnement en granulat et spécificité des granulats concassés

L’utilisation de granulats concassés de roche massive dans l’industrie du béton est liée à la proximité de cette matière première. Lors de la formulation du béton, le problème majeur rencontré est celui de l’importante quantité de fines. En effet, la fabrication d’un sable de concassage génère de 9 à 14 % de fine (< 80 µm). Pour diminuer la teneur en fines, les carriers et les industriels du béton emploient différentes méthodes :

- ✓ le carrier défillérise partiellement le sable concassé ;
- ✓ le carrier défillérise totalement le sable concassé qui est ensuite recomposé par ajout de fillers de différentes natures ;
- ✓ le sable concassé est mélangé en usine à un autre sable pauvre en fines.

Le problème posé par l’abondance des fines est encore plus délicat avec les sables concassés de calcaire car ces granulats peuvent produire de nouvelles fines lors du malaxage du béton (le coefficient Los Angeles est une indication de la résistance à la fragmentation des granulats).

I.3.4.6. Influence des granulats sur les processus de fabrication

De manière générale, les bétons frais de granulats concassés sont moins maniables que les bétons frais de granulats alluvionnaires. Cette remarque est surtout valable pour les bétons frais de granulats concassés de roche éruptive ou métamorphique. Cette moindre maniabilité est due à l’angularité des grains ainsi qu’à leur forme allongée. Pour améliorer la maniabilité et la mise en place du béton frais, il est nécessaire d’augmenter la quantité de liants, la teneur en eau et d’ajouter des plastifiants ou des superplastifiants. L’augmentation de la quantité d’eau peut toutefois être minimisée en ajoutant du sable alluvionnaire de faible granulométrie.

L'influence des granulats sur l'usure du matériel de fabrication (malaxeur, moule, presse ...) est tout à fait différente si on utilise des granulats concassés de roche éruptive ou métamorphique ou si on utilise des granulats concassés de calcaire tendre. En effet, les granulats concassés de calcaire tendre ont un pouvoir abrasif moins important que les granulats concassés de roche éruptive, métamorphique ou de calcaire dur. Dans le cas des granulats de calcaire tendre, l'usure des malaxeurs, des presses et des moules est comparable à celle observée lors de l'utilisation des granulats alluvionnaires.

Dans le cas du sable du basalte concassé, qui est une des roches les plus abrasives utilisées dans l'industrie du béton, on observe que l'usure des malaxeurs et des presses est trois fois plus importante et que celle des moules métalliques est quatre fois plus importante que l'usure observée dans le cas des granulats alluvionnaires. En utilisant des marbres, des diorites ou des porphyres concassés, des industriels du béton ont observé une usure du matériel liée à la dureté des roches deux fois plus importante d'avec les granulats alluvionnaires. Même pour la production de dalles qui est effectuée à faible cadence, les moules s'usent plus vite. Il est à noter, à titre de comparaison, que l'emploi de granulats alluvionnaires concassés (ayant des grains plus anguleux que les granulats alluvionnaires ou concassés) provoque une usure du matériel supérieure de 10% [2].

I.3.4.7. Influence des granulats sur les caractéristiques des produits

Dans l'industrie française du béton, les granulats concassés de roches éruptives, métamorphiques et calcaires sont utilisés dans la fabrication de tous les produits en béton de consommation courante tels que les blocs, les pavés, les bordures, les regards, les dalles de voirie, les entrevous, les poutrelles... À condition de réduire les teneurs en fines de ces granulats, ceux-ci peuvent être utilisés en totalité de la fraction sable ou de la fraction gravillon.

Les caractéristiques mécaniques des produits obtenus sont souvent supérieures de 10 à 20 % à celles des produits fabriqués avec des granulats alluvionnaires. Ceci est dû à la dureté des granulats concassés qui en font des granulats particulièrement intéressants pour la production de produits de voirie par exemple.

L'utilisation des granulats concassés peut également être liée à la nécessité d'obtenir des caractéristiques précises au niveau de l'aspect ou de la teinte des produits. Par exemple, l'utilisation de calcaire concassé permet d'obtenir des produits de teinte plus claire. Pour certains industriels la teinte ou l'aspect des produits constitue la raison majeure qui justifie

l'utilisation des granulats concassés. Lors de la fabrication des blocs et des entrevous, l'utilisation de granulats concassés favorise la cohésion du béton frais dans les moules. En outre, les blocs et les entrevous ne nécessitent pas de finition de surface et les enduits sont plus faciles à appliquer sur les faces des blocs de granulats concassés. Les blocs et les entrevous sont donc, du point de vue technique, des produits très favorables à l'utilisation de granulats concassés, ce qui explique la forte proportion de granulats concassés utilisés pour leur fabrication [7].

I.3.4.8. Emploi du sable de carrières dans le béton hydraulique

En les récentes années, il a eu lieu un intérêt croissant de l'utilisation du sable concassé obtenu des carrières de calcaire dans quelques pays où le sable alluvionnaire n'est largement disponible. D'ailleurs, la demande en agrégats pour produire le béton est encore élevée pendant que les ressources naturelles sont en décroissance.

Une large quantité de matériau à la dimension de filler est produite durant le processus de concassage des calcaires peu solides en particulier, qui peut être utilisée comme agrégat. L'utilisation de ce matériau est bénéfique pour l'amélioration du béton de sorte à décroître le contenu en air. Pour plusieurs années, le calcaire a été de plus en plus utilisé dans le béton comme gros agrégat, filler ou constituant principal du ciment. Il est utilisé dans le béton haute performance comme dans celui d'ordinaire. Comparé au béton ordinaire, avec le même rapport E/C et même ciment, le béton avec une teneur élevée de filler et une répartition convenable, possède généralement des caractéristiques améliorées dans la résistance.

Certaines quantités de fillers dans le béton favorise l'amélioration de cohésion. Cependant, une quantité excessive de fillers tend à croître le besoin en eau et dégrade l'adhérence agrégat-pâte du ciment. Les fillers aident à réduire le contenu total d'air dans le béton. Par conséquent, ça va contribuer à améliorer la qualité du béton. La poussière du calcaire concassé est utilisée comme matériau filler dans le ciment, ou agrégat pouvant avoir quelques effets bénéfiques sur le béton dépendant du taux de substitution et de la composition chimique de la poussière.

En vue de ceci, il est donc nécessaire de contrôler le contenu d'agrégat en argile, limon et la poussière fine. ASTM C 33 et BS 883 ont mis des limites maximales entre 3 et 15 % de la masse du sable, selon le type du matériau [8].

L'effet de l'ajout de fillers calcaires au ciment utilisé dans la confection de mortier et béton, à l'état frais et à l'état durci, a été le sujet de plusieurs recherches durant des années ;

mais des travaux moindres, ont été faits pour étudier l'effet de l'ajout fillers calcaires au sable, sur les propriétés du béton.

Les granulats concassés issus de roche massive conviennent à la confection des bétons hydrauliques et à l'exécution des travaux de viabilité courants.

Les bétons confectionnés à partir de granulats concassés de roche massive ont une moins bonne maniabilité que les bétons de granulats alluvionnaires. Ceci est dû à la nature anguleuse, écaillée et allongée de grains de granulats concassés. Pour atteindre une maniabilité comparable à celle des bétons de granulats alluvionnaire, il est nécessaire d'apporter une quantité d'eau supérieure au mélange et d'augmenter le dosage en ciment dans des proportions variant de 10 à 30 kg/m³.

Toutefois, la demande en eau des bétons de granulats concassés peut être réduite en utilisant du sable alluvionnaire comme granulat fin. L'addition d'un plastifiant est également recommandée toujours dans le but d'améliorer la maniabilité des bétons frais [34].

Concernant la résistance mécanique, les bétons fabriqués avec des granulats concassés de type basalte ont généralement des résistances à la compression supérieures à celles des bétons de gravillons alluvionnaires.

Par ailleurs, à résistance à la compression égale, les résistances à la flexion des bétons de gravillons concassés peuvent être entre 10 à 20 % supérieures à celles des bétons de gravillons alluvionnaires [2].

I.3.4.5. Les granulats alluvionnaires

La plupart des granulats alluvionnaires sont des roches sédimentaires détritiques non consolidées. En effet, les matériaux alluvionnaires sont le résultat d'une érosion sur place des différentes roches, les résidus de cette altération ayant été entraînés par les eaux de ruissellement puis par les rivières et les fleuves. Au cours de ce transport, des éléments sont arrachés par les cours d'eau aux terrains qu'ils traversent, ce qui explique l'hétérogénéité des alluvions.

I.3.4.5.1. Extraction des granulats alluvionnaires

Les exploitations de granulats alluvionnaires se trouvent dans les vallées où sont implantées des agglomérations, c'est-à-dire à proximité des besoins en granulats pour les bétons. La distance entre le gisement et le lieu d'utilisation est limitée ce qui diminue d'autant

le coût de transport. Comme ces granulats se présentent déjà sous une forme granulaire et que par conséquent ils nécessitent moins de fragmentation, le coût de production est faible.

L'extraction des granulats alluvionnaires se fait généralement à l'aide de pelles mécaniques en site terrestre et par dragage en site aquatique. Le concassage est une opération auxiliaire pour les granulats alluvionnaires. Il est essentiellement employé pour augmenter la production des classes déficitaires à partir des classes granulaires excédentaires. Le criblage est l'opération principale du procès. Il est généralement pratiqué dans un courant d'eau, ce qui permet de combiner les opérations de tamisage et de lavage [6].

I.3.4.5.2. Caractéristiques des granulats alluvionnaires

Du fait de leur érosion naturelle, les granulats alluvionnaires sont des matériaux aux formes arrondies. Comme de plus les matériaux sont peu concassés lors du processus industriel, les granulats produits sont peu anguleux.

Le **tableau I.2** donne les valeurs moyennes et l'étendue des caractéristiques des granulats alluvionnaires.

Tableau I.2 : Caractéristiques moyennes des granulats alluvionnaires [6]

Caractéristiques		Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximal
Propriétés physique				
Masse volumique	sable	2.4	2.5	2.6
Réelle (tonnes/m ³)	gravillon	2.5	2.6	2.7
Absorption eau (%)	sable	0.5	0.8	1.2
	Gravillon	0.6	0.8	2.1
Sensibilité au gel (%)		0	11	20
Module de finesse		2.2	2.4	2.8
Teneur en fines (% < 80 µm)		2.5	3.5	6
Equivalent de sable (PS en %)		70	85	90
Valeur de bleu (g de colorant/kg de fraction 0/2 mm)		<0.7		
Matières organiques (%)		Test négatif		
Impuretés (%)				
Elément coquilliers (%)		0	0.1	1
Propreté des gravillons (%)		0.2	0.4	1.5
Propriétés mécaniques				
Los angeles		15	22	30
Propriétés chimiques				
Teneur en soufre total (%)		<0.1		
Teneur en sulfates (%)		<0.1		
Teneur en chlorures (%)		<0.02		

Les principales caractéristiques des granulats alluvionnaires sont leur faible teneur en fines (éléments inférieurs à 80 μm) et leur propreté (équivalent de sable élevé). Leur teneur en fines est inférieure à 4 % et leur équivalent de sable (PS) supérieur à 85 % en moyenne. Le module de finesse des sables alluvionnaires indique une valeur moyenne de 2.4 ce qui est caractéristique d'un bon sable à béton. Concernant les caractéristiques mécaniques, la valeur de l'essai Los Angeles qui est supérieure à 20 indique que les granulats alluvionnaires ont une résistance moyenne à la fragmentation par choc.

Les granulats alluvionnaires sont des matériaux de choix pour la fabrication des bétons hydrauliques et notamment des produits en béton courants. La forme arrondie ou roulée des granulats alluvionnaires confère au béton frais une maniabilité élevée qui facilite le serrage et permet l'obtention d'une compacité élevée [6].

I.4. Propriétés des bétons

I.4.1. Propriétés physiques

I.4.1.1. Ouvrabilité

C'est l'aptitude d'un béton à une bonne adéquation à la méthode de sa mise en œuvre dans un ouvrage donné compte tenu de ses caractéristiques. Elle est influencée par la granulométrie et la forme des granulats, par le dosage en ciment et en eau, par l'emploi éventuel d'adjuvants. Les essais de mesure de consistance du béton les plus courants sont l'essai d'affaissement à l'êtré d'Abrams (norme NF P 18-451) et l'essai d'étalement à la table à secousses ; mais les essais Vébé et indice de serrage ne s'appliquent qu'à des bétons très fermes [3].

I.4.1.2. Le retrait

C'est une diminution dimensionnelle du béton en absence de chargement, dû à l'élimination d'une partie de l'eau de gâchage et aux réactions d'hydratation des grains de ciment. Le siège du retrait se situe dans la pâte du ciment, selon les circonstances, peuvent se développer dans un béton cinq types de retrait : le retrait plastique, le retrait de séchage, le retrait endogène, le retrait thermique et le retrait de carbonatation.

Ces retraits provoquent des contraintes internes qui se matérialisent par l'apparition de fissures micro et macroscopiques à la surface de béton ou dans l'ensemble de sa masse, ces fissures détériorent l'esthétique et endommagent l'élément, tels l'accélération de la corrosion du béton et des armatures en laissant pénétrer des agents agressifs. On distingue les retraits suivants :

I.4.1.2.1. Retrait plastique

C'est le premier retrait de dessiccation qui se développe à la surface d'un béton encore à l'état plastique, c.-à-d. l'eau de gâchage n'est pas encore liée aux constituants du ciment, elle n'est retenue que physiquement et mécaniquement donc elle peut s'évaporer comme elle peut être absorbée par un coffrage en bois trop sec ou par des granulats poreux non humidifiés. Il dépend de la vitesse de dessiccation qui dépend à son tour de la température de l'air et du béton, de l'humidité relative et de la vitesse du vent. Ce retrait est moins important pour le béton par rapport à la pâte de ciment et au mortier, car le squelette de granulats s'oppose aux contraintes. L'amplitude du retrait plastique est 5 à 10 fois plus élevée que celle du retrait observé après prise, et il est irréversible, conduit à des fissures peu profondes limitées à la surface supérieure du béton. Ce type de retrait peut être limité par l'utilisation des coffrages étanches non absorbant ou en fournissant au béton à partir de ses surfaces libres de l'eau, ou en scellant ces surfaces pour empêcher toute évaporation [4].

I.4.1.2.2. Retrait endogène

Endogène parce qu'inhérent aux matériaux avec absence de tout échange d'eau avec l'extérieur. L'évolution de ce retrait est directement liée à la cinétique d'hydratation des grains de ciment. Le retrait endogène peut avoir deux origines :

- 1) Une origine chimique due à l'hydratation de la pâte de ciment qui s'accompagne d'une diminution de volume absolu, ceci vient du fait que le volume des hydrates formés est inférieur à la somme des volumes initiaux de l'eau et du ciment, c'est le phénomène de la contraction Le Chatelier [5].
- 2) Une origine physique, la porosité très fine créée par l'hydratation du ciment draine de l'eau des capillaires les plus grossiers ce qui assèche, le réseau des pores capillaires. Par suite, même en absence d'un squelette rigide, la dessiccation des capillaires va provoquer un raccourcissement progressif du matériau, appelé retrait hydrique endogène (retrait d'auto-dessiccation ou retrait d'hydratation). Mais si le béton est mûri à l'eau, les gros capillaires drainent à leur tour l'eau de la source extérieure, par conséquent, il n'y a plus de phénomène de dessiccation, il se trouve même que le béton gonfle (Le Chatelier, 1904) [4].

I.4.1.2.3. Retrait de séchage

C'est un retrait de dessiccation qui se développe à partir de la surface de l'élément de béton durci exposé à l'air ambiant, son intensité dépend de la réserve d'eau disponible dans le matériau après les réactions d'hydratation, et donc directement du rapport E/C et de

l'hygrométrie ambiante. Il existe trois principales théories qui expliquent les mécanismes du retrait de dessiccation : la dépression capillaire, la variation de la tension superficielle et la variation de la pression de disjonction [4].

I.4.1.2.4. Retrait thermique

Résulte de la baisse de la température du béton tout juste après sa prise, température occasionnée, soit par la chaleur d'hydratation du ciment qui est une réaction exothermique, soit par la variation thermique du milieu de conservation. Le retrait thermique dépend de plusieurs facteurs comme la composition, la finesse de mouture et la quantité du ciment, la forme et les dimensions de l'élément, de la température initiale du béton et la température ambiante... etc [4].

I.4.1.2.5. Retrait de carbonatation

Est un exemple de couplage entre vieillissement et dessiccation, se développe principalement dans les premiers centimètres du béton, le gaz carbonique de l'atmosphère réagit avec la portlandite Ca(OH)_2 (le CO_2 réagit presque avec tous les composants de l'hydrate sauf sulfate de calcium) pour former un carbonate de calcium, cette réaction libère l'eau :



Le retrait est occasionné par l'évaporation de cette eau libérée. Le retrait de carbonatation se traduit par des fissures peu profondes et principalement limitées aux surfaces exposées du béton [2].

I.4.1.3. La compacité et la porosité

Sont des caractéristiques physiques essentielles du béton, conditionnent plusieurs propriétés de ce dernier telle sa perméabilité, ses résistances mécaniques, son module d'élasticité et surtout sa durabilité. On distingue les pores contenus dans les granulats leur taille et leur volume n'évoluent pas, par contre ceux se trouvant dans la pâte de ciment leur dimension diminue avec la progression d'hydratation on distingue [6] :

- Les pores capillaires ($0.01 \mu\text{m} \leq \emptyset \leq 0.5 \mu\text{m}$) occupent les espaces entre les grains de ciment en suspension dans l'eau, leur taille et leur volume dépendent du rapport E/C. La perméabilité du matériau est essentiellement dépendante de ces pores.
- Les pores relatifs aux hydrates ou pores des gels ($\emptyset < 40$ angströms) sont présents dans le gel de C-S-H. Le volume de ces pores n'est pas affecté par le rapport E/C.

Ces pores sont divisés en pores inter-cristallites qui se situent entre les gels et les pores intra-cristallites présents à l'intérieur du gel lui-même.

- Les bulles d'air occlus ($\varnothing > 1$ mm) piégées non intentionnellement à l'intérieur du béton lors du malaxage du béton frais [6].

I.4.1.4. Perméabilité et diffusivité

La perméabilité est l'aptitude d'un matériau à se laisser pénétrer et traverser par un fluide (eau, air ou un autre gaz ...) sous l'effet d'une pression motrice. Elle est directement liée aux caractéristiques du réseau poreux (forme, dimension, distribution, sinuosité,... etc), la perméabilité des matériaux cimentaires varie avec la progression de l'hydratation [1].

La diffusion est relative au déplacement d'une espèce chimique à l'échelle moléculaire sous l'effet d'un gradient de concentration, elle ne dépend pas de la taille des pores mais de leur interconnexion [2].

Les mécanismes et les lois qui régissent la perméabilité et la diffusivité sont différents mais les moyens d'action les limitant sont les mêmes c-à-d limiter le volume occupé par l'eau et la connectivité du réseau capillaire, car le béton est d'autant plus durable qu'il résiste à la pénétration des agents agressifs extérieurs.

I.4.1.5. Déformabilité

I.4.1.5.1. Définition de la rhéologie

La rhéologie représente l'étude de la déformation et de l'écoulement de la matière sous l'effet d'une contrainte appliquée. La déformation et l'écoulement sont en fait les conséquences de mouvements relatifs des particules d'un corps les unes par rapport aux autres. La rhéologie est capable d'intégrer l'étude de l'ensemble des substances, qu'elles soient liquides ou solides. Dans le cadre des matériaux fluides, on s'intéresse plus particulièrement à leur écoulement [6].

I.4.1.5.2. Module d'élasticité

Par définition, ce paramètre traduit l'aptitude à la déformation sous contrainte d'un béton. Il correspond au rapport de la contrainte à la compression σ_c à la déformation longitudinale relative ε . Son expression est donnée par la relation suivante :

$$E = \frac{\sigma_c}{\varepsilon}$$

ε est sans dimension. Son expression est donnée par :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Où :

L est la longueur de la base de mesure,

ΔL le raccourcissement mesuré sur cette base.

Certaines relations expérimentales relient le module élastique du béton à sa résistance à la compression f_c . Ces relations sont généralement des lois de puissance. Par exemple, celle proposée dans le règlement français du béton armé BAEL est donnée par la relation suivante :

$$E_{ij} = 1100 (f_{cj})^{1/3}$$

Le module d'élasticité se mesure généralement par un essai d'extensométrie en compression. Selon la norme ISO 6784, après surfacage soigné et disposition de l'extensomètre dans la zone centrale de l'éprouvette, on applique sous la presse trois cycles de « chargement-déchargement » jusqu'au tiers de la charge de rupture (déterminée auparavant par un essai de compression sur une éprouvette du même mélange). La mesure de la déformation s'effectue lors du troisième chargement [2].

I.4.1.5.3. Modèle trispère du module d'élasticité

De Larrard, fait intervenir les propriétés d'élasticité des constituants (module du granulat, module de la pâte de ciment, etc.) et propose dans ses travaux un modèle plus élaboré qui repose sur un calcul d'homogénéisation (modèle trispère).

Le module du béton est déduit de celui des deux phases présentes dans le composite et de la structure granulaire du mélange, décrite par les compacités g et g^* . La relation s'écrit :

$$E = \left(1 + 2g \frac{E_g - E_m}{(g^* - g)E_g + 2(2 - g^*)E_g - E_m + (g^* + g)E_m} \right) E_m$$

Où E_g et E_m sont respectivement les modules du granulat et de la matrice. E_m est déduit de la résistance à la compression du composite, selon la relation suivante :

$$E_m = 226 f_c$$

Rappelons que g est la compacité réelle du squelette granulaire et g^* sa compacité maximale. Pour calculer E , il faut connaître au préalable le module E_g du granulat. Si celui-ci n'est pas mesuré directement sur la roche mère, on peut alors l'estimer avec une bonne précision en réalisant des bétons dont on mesure E et f_c .

Les relations précédentes permettent alors de trouver E_g . C'est cette approche qui a été adoptée pour la suite. Elle a permis de comparer E_g à la résistance des roches mères. Par ailleurs, d'après la relation ci-dessus, on peut vérifier que c'est bien les granulats les plus rigides qui donne les bétons les plus rigides, si tous les paramètres de la formule restent équivalents par ailleurs (E_m , g , et g^*) [1].

I.4.1.5.4. Effet des granulats sur le module d'élasticité

Le module d'élasticité des agrégats constitue un des facteurs déterminant de la résistance du béton. Généralement la résistance du béton augmente avec l'augmentation du module d'élasticité des agrégats. Cette relation peut être expliquée par l'effet de la rigidité des agrégats sur la distribution des contraintes dans le béton sous charges.

A déformation égale la part des charges supportées par les agrégats augmente avec la rigidité (c'est à dire le module d'élasticité) ; et par conséquent la part supportée par la pâte de ciment diminue.

Pour cette raison, pour formuler un bon béton, il est préférable d'utiliser un gros granulat dont le module d'élasticité est aussi voisin que possible de celui du mortier qui l'enrobe de façon à minimiser les déformations différentielles au niveau de l'interface mortier – gros granulat qui pourraient nuire à l'adhérence du mortier ou de la pâte de ciment hydraté sur le gros granulat [8].

I.4.2. Propriétés mécaniques

I.4.2.1. Résistance mécanique

La résistance mécanique est l'une des caractéristiques essentielles du béton. Le béton est employé, en général, comme matériau porteur et le taux de travail d'un ouvrage en béton dépend de sa résistance mécanique qui évolue avec le durcissement du béton. La résistance mécanique d'un béton dépend de plusieurs paramètres à savoir :

- la nature et la qualité des constituants (ciment, granulats, eau, adjuvant).
- les conditions de mise en œuvre de ces constituants.
- les conditions thermo hygrométriques ambiantes de conservation.

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

- Résistance à la compression : est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton armé. Le béton est caractérisé par la résistance à la compression R_{c28} mesurée sur des éprouvettes écrasées à 28 jours selon la norme NF EN 12390-3 ;

- Résistance à la traction : Elle est moins étudiée que la résistance à la compression car le béton est conçu essentiellement pour résister à la compression, et son comportement en traction est quasi fragile. Le comportement en traction du béton peut être identifié par l'essai de flexion sur trois points, désignée par Ft28 [9].

I.4.2.2. Durabilité

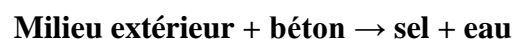
Elle est généralement utilisée pour caractériser de façon très générale la résistance d'un béton face à l'attaque d'un agent agressif physique ou chimique (Moranville and Regourd, 1982), et aussi aux contraintes mécaniques (fluage). La durabilité du béton dépend des facteurs qu'il n'est pas toujours aisé d'isoler : condition de mise en œuvre, composition des différents constituants (ciment, granulats, eau, adjuvant), âge du béton, conditions climatiques et le milieu dans lequel le béton est exploité.

Les facteurs influençant la durabilité peuvent être internes aux béton comme la porosité, perméabilité et diffusivité, la fissuration, les ions chlorure (présent dans certains accélérateurs et eau de gâchage), réactions alcalis granulats, les ions sulfates (oxydations des pyrites contenues dans certains granulats calcaires), ou externes les ambiances hivernales (la répétition des cycles de gel dégel, l'action des sels de déverglace, formation des sels gonflants), les ambiances chimiquement agressives notamment le dioxyde de carbone, les eaux de pluies, de neige, les eaux souterraines, l'eau de mer, les acides ainsi que toutes les solutions résultant de la dissolution de sels ou de gaz.

Le béton est caractérisé par une basicité accentuée dû à la nature de la pâte durcie qui est composé de :

- de 15 à 20 % de portlandite : base forte
- environ 70 % de C-S-H : considérés comme des sels d'acide faible (silicique) et de base forte $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- 10 à 15 % d'aluminates et sulfoaluminates de calcium
- une solution interstitielle, dans les pores et capillaires enrichie en alcalins (NaOH et KOH) dont le pH varie entre 12.5 et 13.5.

Alors que le pH de l'environnement est en général inférieur à ces valeurs, ce qui donne une réaction entre le milieu extérieur et le béton pour former des sels et de l'eau sous la forme suivante :



Cette réaction peut améliorer la durabilité du béton si le sel formé possède des propriétés liantes, on peut citer l'exemple de la carbonatation superficielle du béton de ciment portland par le CO_2 de l'air, mais le pH de la solution interstitielle du béton diminue jusqu'au environ une valeur de 9 ce qui entraîne la dépassivation des armatures.

Dans le cas où le sel formé est soluble ce qui crée des risques de dégradation par dissolution et lessivage. Par ailleurs les aluminates du ciment (anhydres ou hydratés) réagissent avec les ions sulfates pour former l'étringite secondaire potentiellement expansive ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$).

Sous certaines conditions le C-S-H peuvent aussi réagir avec les sulfates et conduire à la formation de thaumasites ($\text{CaCO}_3\cdot\text{CaSiO}_2\cdot\text{CaSO}_4\cdot 15\text{H}_2\text{O}$) entraînant des phénomènes expansifs et surtout une désagrégation de l'ensemble du liant. Il a été toujours dit qu'un béton mécaniquement résistant n'est pas nécessairement durable [3].

I.4.2.3. Développement mécanique du béton

La résistance mécanique du matériau se développe durant l'hydratation : on parle alors de prise du béton. La formation progressive des hydrates permet l'obtention d'une matrice cimentaire résistante mécaniquement. Ces propriétés mécaniques sont mesurées par des essais de résistance en compression simple normalisés à 28 jours. On trouve parfois des mesures à différentes échéances permettant de suivre cinétiquement l'hydratation des matériaux. La **figure 1.1** montre l'évolution dans le temps de la résistance mécanique d'un béton ($E/C=0,49$) confectionné avec différents ciments.

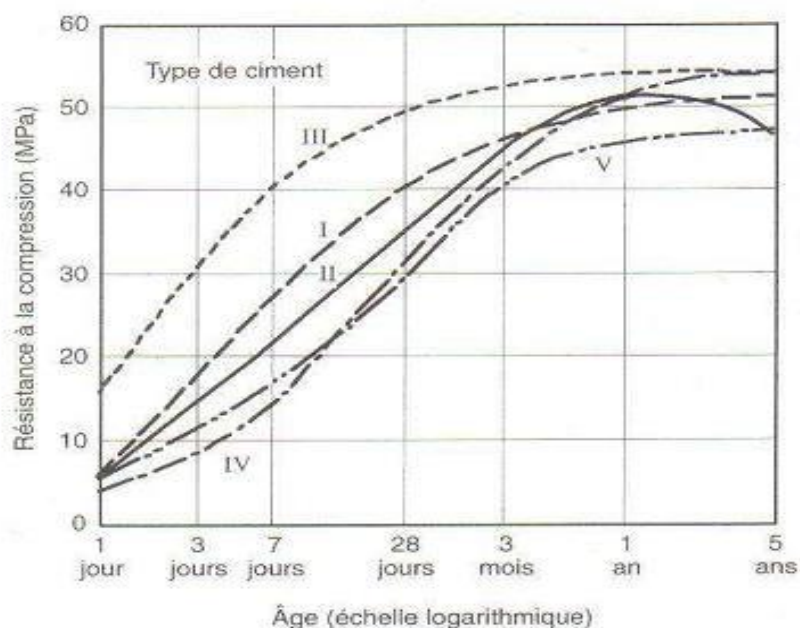


Figure I.7 : Développement de la résistance mécanique d'un béton ($E/C=0,49$) [2]

Le développement des propriétés mécaniques d'un béton est fonction de sa formulation et en particulier de la nature du ciment. Certains ciments comme les CEM I font l'essentiel de leur hydratation très tôt et développent donc l'essentiel de leurs propriétés mécaniques entre un et quelques mois. En revanche, pour des ciments à hydratation plus lente (comme les ciments mélangés, contenant de fortes proportions de laitiers de hauts fourneaux ou de cendres volantes), ce processus peut se dérouler sur plusieurs années [2].

Un autre paramètre influant sur la résistance mécanique est le rapport E/C. Comme mentionné précédemment, l'augmentation du dosage en eau augmente la porosité capillaire et donc abaisse la compacité. Une conséquence macroscopique de ce processus est une chute des résistances mécaniques, comme le montre la **figure 1.2** concernant l'étude d'un béton auto compactant.

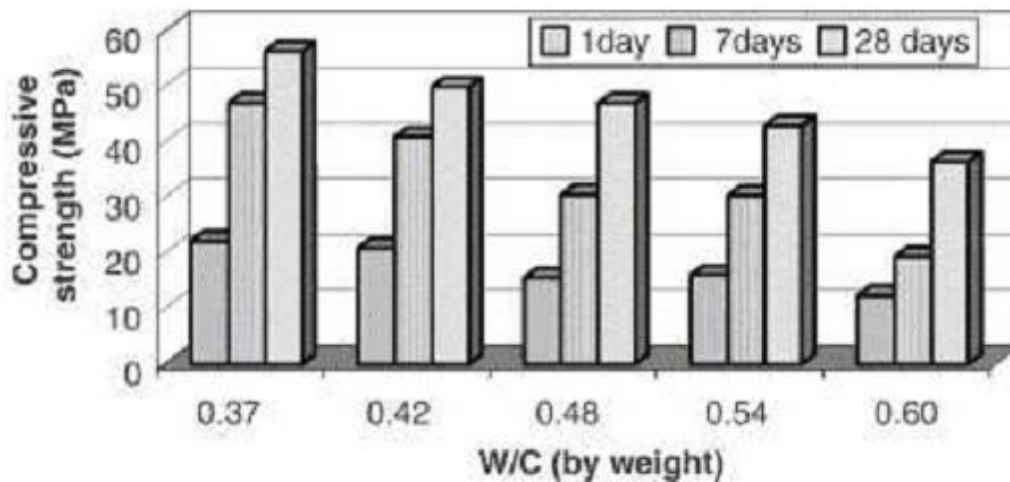


Figure I.8 : Influence du rapport E/C sur la résistance en compression [2]

L'augmentation du rapport E/C fait donc diminuer la résistance du matériau et ceci quel que soit son âge. Ceci est à relier à la quantité d'eau libre présente au sein du matériau, qui conditionne la porosité et par conséquent la résistance du béton.

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a tenté de faire une synthèse bibliographique sur les constituants du béton ordinaire, notamment le sable de concassage, en présentant certains résultats de recherches faites en Algérie et à l'étranger, relatifs à la valorisation de ce sable comme substitution au sable alluvionnaire dans la fabrication du béton.

Nous nous sommes rendu compte qu'il y a une bonne possibilité de remplacement des granulats alluvionnaires par les granulats concassés, ainsi d'autres effets positifs sur le béton.

Par conséquent, les granulats concassés constituent une bonne alternative en matière de manque d'approvisionnement en granulats alluvionnaire. Les résultats obtenus par plusieurs chercheurs sur le béton à base de sable ou de gravier de carrière apparaissent prometteurs, mais des études approfondies sur les propriétés de ce béton s'imposent davantage en vue d'une meilleure utilisation des granulats de concassage dans les bétons.

CHAPITRE II :

Matériaux et méthodes

II. Matériaux et méthodes**II.1. Introduction**

Le béton est un matériau artificiel obtenu par un mélange d'un liant (généralement du ciment), d'eau, de granulats (sable et graviers), et éventuellement d'adjuvant, le tout choisi de façon rationnelle. Les granulats ou agrégats, qui suivant leurs dimensions, se classent en fillers, sable, gravillons et pierres, composent l'ossature du béton et jouent un rôle de remplissage.

La pâte de ciment qui se forme après le gâchage à l'eau du mélange enrobe les grains de sable et de graviers, remplit les espaces entre eux et joue le rôle de lubrifiant des agrégats en communiquant au béton une certaine plasticité, nécessaire pour une mise en œuvre correcte. La pâte de ciment en durcissant, fixe les grains des granulats et donne au béton des propriétés intéressantes, notamment une bonne résistance à la compression.

Bien qu'il soit impossible de prédire avec exactitude les performances d'un béton, cependant, de nombreuses études effectuées ont permis de cerner et de quantifier le rôle des différents paramètres influents et il est possible aujourd'hui, moyennant un minimum d'études, d'obtenir des bétons de hautes qualités.

De nos jours, et grâce à ses nombreuses qualités parmi lesquels on peut citer, une bonne résistance à la compression, une bonne isolation phonique et thermique, un coût relativement bas, le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans le monde, et cette tendance mondiale est largement vérifiée en Algérie où le béton reste le matériau de construction par excellence.

II.2. Différents types de bétons**a) Béton ordinaire**

Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base ciment, granulats, eau, avec un rapport (E/C) qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée. Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre :

$$20 \text{ Mpa} \leq f_{c28} \leq 50 \text{ Mpa}$$

b) Béton léger

Les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage 2100 kg/m^3 . Parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique.

c) Béton lourd

C'est un béton dont la masse volumique est supérieure à 2600 kg/m³, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau.

d) Béton autoplaçant (BAP)

Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon [53], le béton auto plaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration.

Il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes, il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique

e) Béton de haute performance (BHP)

Bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 Mpa), et un rapport pondéral (E/C) inférieur à 0.4. Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires.

Ceci est obtenu grâce à leur faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants

f) Béton de fibre

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

g) Béton a durcissement rapide

Bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent la réalisation des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide, ainsi que le décoffrage prématuré ou la mise en précontrainte le plus rapidement en préfabrication [14].

II.3. Propriétés essentielles d'un 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 œuvre 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 [14].

II.3.1. Propriétés du béton frais

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage [18].

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 [27].

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.

II.3.1.1. Le malaxage (NA EN 12390-2)

Les constituants sont introduits dans le malaxeur à l'ordre suivant :

- Introduire gravier 8/15, ciment, sable 0/5 et gravier 15/20.
- Malaxer pendant 1 min et 30 secs
- Introduire la quantité d'eau.
- Malaxer pendant 3 min et ajouter l'eau tout attentivement.
- Mesurer l'affaissement à chaque fois par le cône d'Abrams jusqu'à la valeur désirée visée.

Dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques-uns, les plus couramment utilisés dans la pratique [18].



Figure II.1 : Machine de malaxage du béton

II.3.1.2. Vibration (NA EN 12390-2)

La vibration est la méthode de compactage la plus répandue, le degré de compactage d'un béton frais par vibration dépend de la fréquence et de l'amplitude des oscillations, ainsi que de la durée de vibration.

- On commence par piqué de vibration qui utilise pour vibrer le béton dans l'éprouvette dans 3 étapes et 3 couches à chaque fois en frappant 25 frappes avec le même rythme à fin d'homogénéiser la forme de l'échantillon.
- On fait la vibration sur la table vibrante pendant 20s.
- Peser 3 moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.
- Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre au laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquées par peinture et conservées dans l'eau [14].



Figure II.2 : Vibration de béton par la table vibrante

II.3.1.3. Essai d’affaissement au cône d’Abrams (NA EN 12350-2)

C’est l’essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre au laboratoire et au niveau des chantiers [61]. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40 mm. Il s’agit de constater l’affaissement d’un cône de béton sous l’effet de son poids propre.

Selon la norme NF P 18-451 l’essai consiste à remplir de béton un moule en tôle tronconique (D = 20 cm, d = 10 cm, h = 30 cm), le remplissage s’effectue en trois couches tassées avec une tige en acier de 16mm de diamètre et dont l’extrémité est arrondie, à raison de 25 coups par couche (figure II.3). On soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l’affaissement [13].



Figure II.3 : Mesure d’affaissement au cône d’Abrams.

Tableau II.1 : Classe de consistance (Slump test) [28].

Classe des consistances	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme	0 à 4	1
Plastique	5 à 9	2
Très plastique	10 à 15	3
Fluide	> 16	

II.3.1.4. 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 :

$$D = \frac{M2-M1}{V} \quad (\text{Eq II-1})$$

Où

D : la masse volumique du béton frais, en (kg/m³) ;

M1 : la masse du récipient, en (kg) ;

M2 : la masse du récipient plus la masse de béton contenu dans le récipient, en (kg) ;

V : le volume du récipient, en kilogrammes (kg) ;

Le calcul de la masse volumique doit être réalisé selon la norme (NF 12390-7).



Figure II.4 : Eprouvettes à l'état frais.

Figure II.5 : Mesure de la masse volumique à l'état frais

II.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 [14].

II.3.2.1. Essai de résistance à la compression

La caractéristique essentielle d'un béton à l'état durci est la résistance mécanique en compression à l'âge de 28 jours. Le béton est un matériau qui travaille bien en compression.

La connaissance de ses propriétés mécanique est donc indispensable pour le dimensionnement et le calcul des ouvrages.

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 (voir figure I.6).

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. L'essai d'écrasement doit être réalisé selon les normes [NF 18-406].



Figure II.6 : Epreuves cylindrique de diamètre 16 cm et de hauteur 32 cm.



Fig. II.7 : Presse hydraulique de compression

II.3.2.2. Essai de résistance à la traction

La résistance à la traction est également mesurée sur des éprouvettes 16x32 cm par l’essai de fendage conformément à la norme (NF 18-406). La résistance à la traction peut être déterminée par différents essais :

➤ **Traction par fendage (essai brésilien)**

L’essai consiste à écraser un cylindre de béton placé suivant deux génératrices opposées entre les deux plateaux de la presse. La résistance en traction par fendage est donnée par l’équation suivante :

$$F_{tr} = \frac{2F}{\pi DL} \quad (\text{Eq II-2})$$

Où :

F_{ct} : est la résistance en traction par fendage, en (Mpa) ou en (N/m²) ;

F : est la charge maximale, (N) ;

L : est la longueur de la ligne de contact de l’éprouvette, en (mm) ;

D : est le diamètre nominal de l’éprouvette, en (mm).

L’essai d’écrasement doit être réalisé selon la norme [66].

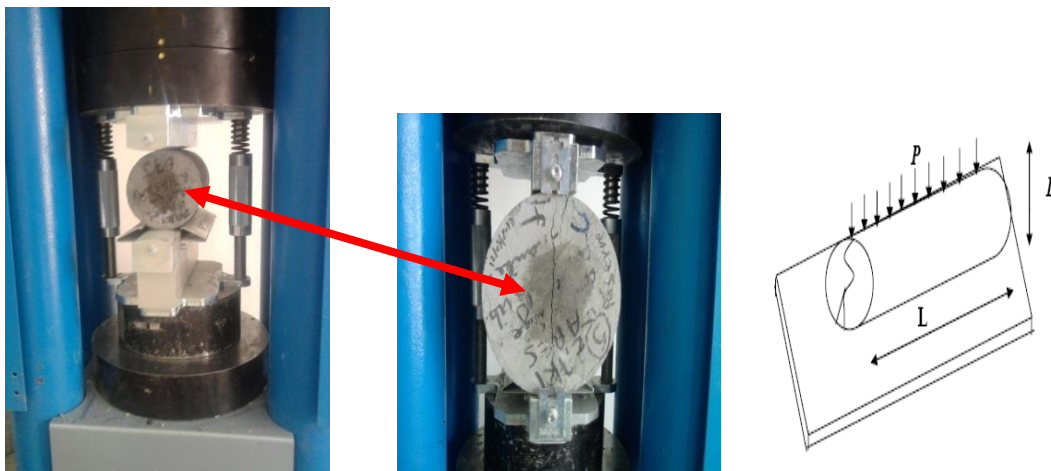


Figure II.8 : Essai de Traction par fendage.

➤ **Traction par flexion**

L’essai consiste à rompre une éprouvette prismatique 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. La résistance en traction par fendage est donnée par l’équation suivante :

$$Ft = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (\text{Eq II-3})$$

Où :

Ft : est la résistance en traction par fendage, en (MPa) ou en (N/mm²) ;

F : est la charge maximale, (N) ;

L : écartement entre les appuis, en (mm) ;

b : épaisseur de l'éprouvette, en (mm).

L'essai d'écrasement doit être réalisé selon la norme (NF 18-406)



Figure II.9 : Essai de traction par flexion.

II.3.2.3. Masse volumique du béton durci

Calculer la masse volumique de l'échantillon au moyen des valeurs de masse et de volume précédemment déterminées, à l'aide de la formule suivant :

$$D = \frac{M}{V} \quad (\text{Eq II - 4})$$

Où :

D : est la masse volumique, en (kg /m³), pour un état de l'échantillon et une méthode de détermination du volume données ;

M : est la masse de l'échantillon, en (kg), pour un état de l'échantillon donné ;

V : est le volume de l'échantillon, en (m³), déterminé selon la méthode choisie.

L'essai de la masse volumique doit être réalisé selon la norme [68].

II.3.2.4. La Porosité

Une caractéristique essentielle du béton durci est sa porosité – rapport du volume des vides au volume total. Les études de Féret avaient déjà établi le lien entre la porosité du béton et sa résistance. L'importance de cette caractéristique sur la résistance du béton aux agents agressifs, sur la carbonatation et sur la tenue au gel a été démontrée depuis. C'est donc un facteur déterminant de la durabilité du béton.

II.3.2.5. Essais non destructif par auscultation sonique (Ultra Son)

Il s'agit d'évaluer la résistance du béton à partir de la vitesse de propagation d'ondes (voir le tableau II.2). Mesure du temps de propagation de la première impulsion d'un train d'ondes appelées ondes longitudinales, généré par un transducteur (voir la figure II.11), entre deux points déterminés du béton. Ces essais sont rapides et faciles à mettre en œuvre, et consiste à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions. Consiste à presser les deux têtes sur les faces des l'éprouvettes, donc la surface du béton est bien nettoyée (voir la figure II.9). En utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission du son. La vitesse de propagation est donnée par l'équation suivante :

$$V = \frac{L}{T} \quad (\text{Eq II} - 5)$$

Où :

V : la vitesse de propagation en (m/s) ;

L : est la distance entre les transducteurs en (m) ;

T : est le temps de propagation en (seconde).

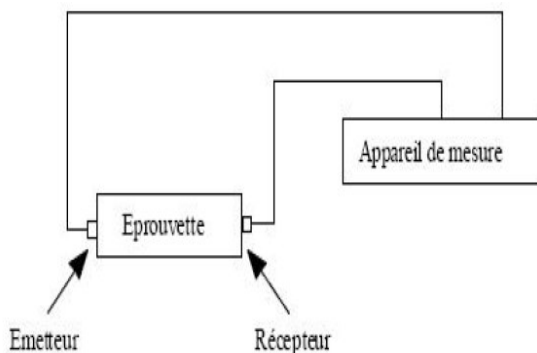


Figure II.10 : Principe d'utilisation [2].



Figure II.11 : Appareillage Ultra Son (TICO).

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM (voir figure II.12) sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré connue. Les résistances ne correspondent pas toujours à la résistance réelle du béton in situ.

Tableau II.2 : Classements qualitatifs du béton selon la vitesse de propagation [19].

Vitesse de propagation (m/s)	Qualité du béton de Pui la résistance
$2500 \leq V < 3200$	béton de faible résistance
$3200 \leq V < 3700$	béton de moyenne résistance,
$3700 \leq V < 4200$	béton à haute résistance,
$V \geq 4200$	béton à très haute résistance.

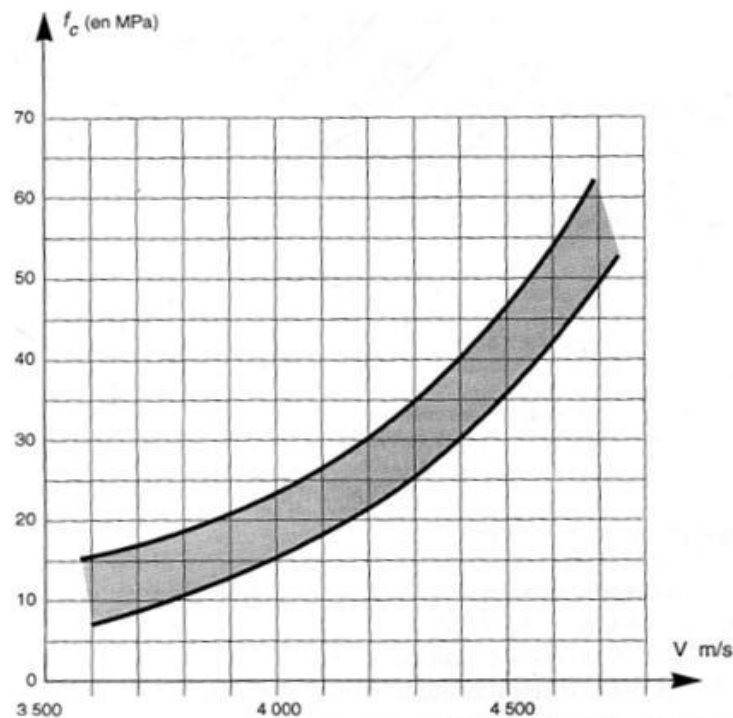


Figure II.12 : Courbe RILEM [17].

II.3.2.6. Essai d'absorption d'eau par immersion

Le principe de cet essai consiste à mettre les éprouvettes prismatiques dans l'étuve et de les peser jusqu'à poids constant, ensuite les immerger totalement dans l'eau à 20°C pendant 24 heures (jusqu'à leur saturation) dans le but de calculer le volume des vides du béton

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté le matériaux béton a ces différent états frais et durci avec discussion théorique des expérimentations qu'on va les faires sur ce matériau, et les différentes étapes de confection et aussi le matériel utilisé.

A l'état frais une présentation des différentes étapes de confection, mélange, malaxage, vibration (serrage) et la confection des éprouvettes. Généralement le béton à l'état frais, deux essais s'applique :

Essai d'affaissement par le cône d'abrams qui donne la consistance du béton, et le deuxième c'est la mesure de la densité du béton.

A l'état durci les essais expérimentaux qui s'appliquent sont : la résistance en compression, traction, flexion et l'essai ultrason.

CHAPITRE III :

Caractéristiques des matériaux

III. Caractéristiques des matériaux**III.1. Introduction**

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un béton joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures. En effet, les propriétés essentielles du béton sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.

De ce fait, la normalisation des modes d'essais et d'identification des composants d'un béton, selon les normes en vigueur, devient une condition nécessaire pour l'obtention d'un béton avec des résultats expérimentaux comparables avec ceux donnés dans la littérature.

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection des bétons à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes et les modes opératoires en vigueur.

III.2. Matériaux utilisés

Nous avons utilisé les matériaux locaux, leurs caractéristiques sont étudiées expérimentalement au laboratoire de génie civil à l'université de Mohamed EL Bachir EL-Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj.

Qu'il soit le béton frais ou durci nous avons choisi d'utiliser les granulats de SARL carrière Hadji commune AL-ACH, Wilaya de Bordj Bou Arreridj.

III.2.1. Information sur SARL Carrière Hadji

Sarl carrière Hadji se trouve à la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Située à coté de la route nationale N°45 qui accorder wilaya de BBA avec M'sila, suit à village Maaza commune de ELACH frontière de la wilaya de M'sila, elle active dans le secteur économique industriel « vente en gros de matériaux de construction ».



Figure III .1 : Situation de SARL carrière HADJI, Bourdj Bouarerdj (Google map, 2022).

III.3. Caractéristiques des matériaux

III.3.1. Caractéristiques du gravier

Les granulats utilisés dans notre étude expérimental pour la confection des différents types de bétons provient de la carrière SARL Hadji EL-ACH, obtenu après concassage de roches naturelles. Les fractions utilisées dans notre étude sont : Sable 0/3, graviers 3/8, 8/15 et 15/20.

III.3.1.1. Analyse granulométrique par tamisage (NA EN 933-5)

❖ But de l'essai

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

❖ Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableaux et sous forme graphique.

❖ **Préparation de l'échantillon pour l'essai**

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme (NA EN 933-5). La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieure à **0,2 D**, avec M exprimé en kilogrammes et D plus grande dimension spécifiée en millimètres.

L'opération du tamisage du gravier se fait au moyen d'une tamiseuse où on place la série des tamis sur le cercle inférieur du cadre de l'appareil en suite l'ensemble est serré par la couronne supérieure, à l'aide de deux jeux de ressort et vis de blocage. La vibration se fait 03 fois durant 07 minutes à chaque fois.

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux en annexe et présentés dans la figure III.2 ci-après :

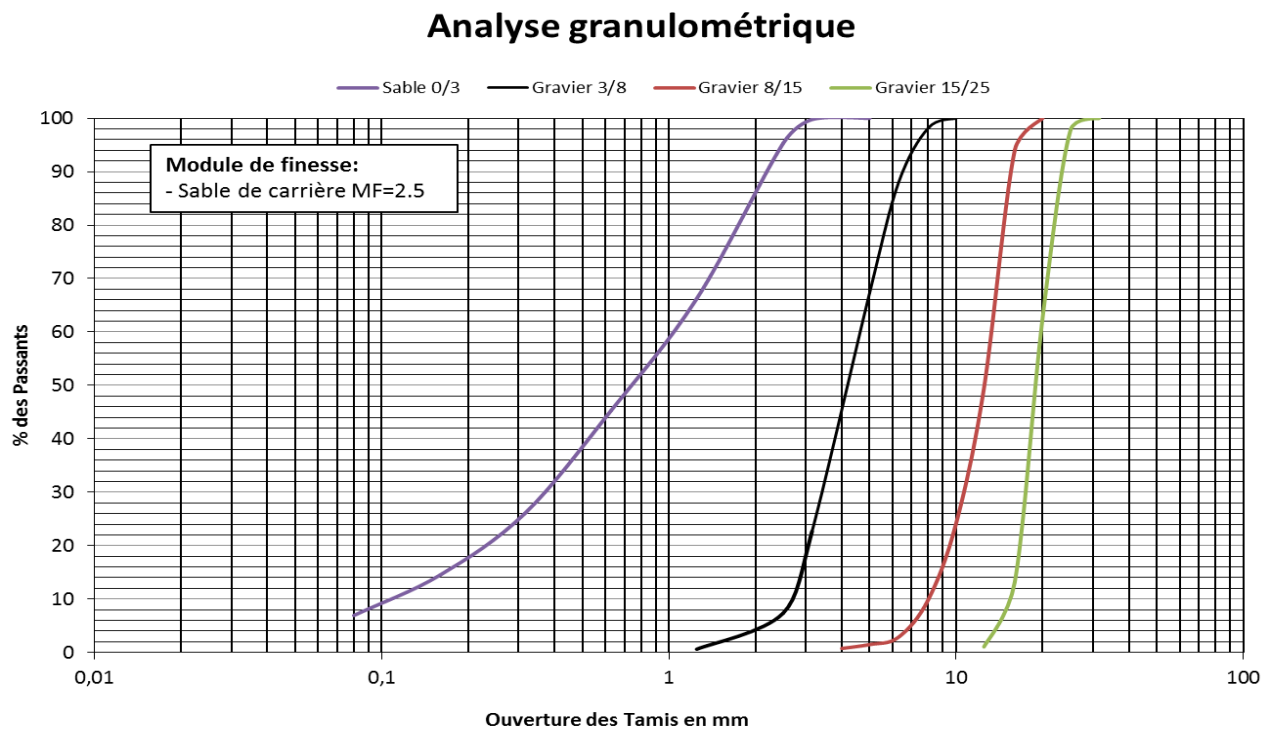


Figure III.3. Courbe granulométrique des graviers concassés.

III.3.2.2. Modules de finesse (NA EN 12620)

Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100 de la somme de refus exprimés en pourcentage sur les tamis (0.08 - 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 3.15).

Tableau III.1 : Module de finesse du sable

Quantité du sable	Module de finesse
Gros	>2.5
Moyen	2 à 2.5

Fin	1.5 à 2
Très fin	1 à 1.5

$$MF = \Sigma Ri / 100 \quad (\text{eq III-1})$$

$MF = (1/100) \Sigma$ (refus cumulés en % des tamis (0.08-0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-3.15))

Après l'analyse granulométrique on trouve que, le module de finesse du sable testé est égal à : Sable concassé 0/3 : **MF = 2.5** (C'est un sable moyen).

III.3.1.2. Masse volumique

C'est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume, on distinguera :

a) Masse volumique apparente (γ)

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g/cm^3 ; kg/m^3 ; t/m^3).

Il s'agit de remplir une mesure de 1 litre ou plus (2 litres, 5 litres) avec le matériau et de déterminer la masse du contenu.

Le mode de remplissage de la mesure a une influence très importante sur les résultats, il faudra réaliser les essais avec du matériel aussi simple que possible, et très soigneusement

➤ Mode opératoire

- Peser le récipient à vide et noter M1
- Prendre le matériau dans les 2 mains formant entonnoir,
- Placer les 2 mains à 10 cm environ au-dessus de la mesure et laisser tomber le matériau ni trop vite, ni trop lentement,
- Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce qu'il déborde autour en formant un cône,
- Araser à la règle, et peser le contenu et noter M2.

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\gamma = (M2 - M1) / V \quad (\text{eq III-2})$$

M1 : masse du récipient vide.

M2 : masse du récipient et gravier.

V : volume de récipient.

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Masse volumique apparente des graviers concassés (3/8) ; (8/15) ; (15/25).

Gravier	N° d'essai	M ₁ (kg)	M ₂ (kg)	ρ _{ap} (kg/l)	ρ _{ap moy} (kg/l)
3/8	1	3.47	17.35	1.388	1.387
	2	3.47	17.36	1.389	
	3	3.47	17.32	1.385	
8/15	1	3.47	17.30	1.383	1.382
	2	3.47	17.31	1.384	
	3	3.47	17.26	1.379	
15/25	1	3.47	17.39	1.392	1.390
	2	3.47	17.36	1.389	
	3	3.47	17.36	1.389	

b) Masse volumique absolue (NF P18-554)

➤ But de la mesure

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

➤ Définition de la masse volumique absolue

C'est la masse de l'unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

➤ Mode opératoire

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V₁ d'eau (V₁=350ml).
- peser un échantillon sec M de granulats (M=300g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- le liquide monte dans l'éprouvette, lire le nouveau volume V₂.

La masse volumique est alors :

$$\rho_s = M / (V_1 - V_2) \quad (\text{eq III-3})$$

On refait l'opération trois fois et on trouve les résultats dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Masse volumique Absolue des graviers concassés (3/8) ; (8/15) ; (15/25).

Gravier	N° d'essai	M (g)	Ve (cm ³)	V (cm ³)	ρ _{ab} (g/cm ³)	ρ _{ab} (g/cm ³)
3/8	1	300	300	410.3	2.72	2.69
	2	300	300	412.1	2.67	
	3	300	300	411.7	2.68	
8/15	1	300	300	411.1	2.70	2.68
	2	300	300	411.5	2.69	
	3	300	300	413.2	2.65	
15/25	1	300	300	409.1	2.75	2.76
	2	300	300	408.3	2.77	
	3	300	300	408.7	2.76	

III.3.1.3. La porosité

C'est le rapport entre le volume des vides d'un matériau et son volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides. La porosité est exprimée en pourcentage (%) et définie par la relation :

$$P (\%) = V_v / V_t \times 100 \quad (\text{eq III-4})$$

En peut exploiter les résultats des masses volumiques pour déterminer la porosité de notre gravier d'où :

$$P (\%) = (1 - \gamma/\rho) \times 100 \quad (\text{eq III-5})$$

III.3.1.4. La compacité

C'est le quotient du volume des grains solides et le volume total du matériau, elle est exprimée en pourcentage (%) et donner par la relation suivante :

$$C(\%) = (V_s / V_t) \times 100 \quad (\text{eq III-6})$$

Aussi :

$$C(\%) = 1 - P \quad (\text{eq III-7})$$

III.3.1.5. Indice des vides

C'est le rapport entre le volume occupé par les vides et le volume de la partie solide des grains, V étant le volume total occupé par les granulats.

$$e(\%) = V_v / V_s \quad (\text{eq III-8})$$

Aussi :

$$e(\%) = (1 - c) / c \quad (\text{eq III-9})$$

Tableau III.4 : Porosité, compacité et indice des vides du gravier concassé

Fraction (d/D)	Porosité	Compacité	Indice de vide
3/8	48.44	51.56	0.94
8/15	48.50	51.50	0.94
15/25	49.63	50.36	0.98

III. 3.1.6. Degré d’absorption d’eau (NA EN 1097-6)

C’est le pouvoir d’un matériau d’absorber et de retenir l’eau. Elle est exprimée en (%) et définit par la formule :

$$A (\%) = [(MH - MS)/MS].100 \quad (\text{eq III-10})$$

MH : La masse du matériau saturé d’eau en (g).

MS : La masse du matériau sec en (g).

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.5: Taux d’absorption d’eau des agrégats (3/8) (8/15) et (15/25)

Fraction (d/D)	M _h (g)	M _s (g)	A (%)
3/8	300	293.0	2.24
8/15	300	296.0	1.35
15/25	300	297	1.01



Figure III.4 : L’échantillon et les boules avant l’essai Los Angeles (Appareille Los Angeles)

III.3.1.7. La résistance à la fragmentation par chocs (Essai Los Angeles) EN 1097- 2

❖ But de l’essai

Estimé la résistance à la fragmentation par chocs ou bien la dureté des agrégats.

❖ **Principe de l’essai**

Faire rouler dans un tambour rotatif un échantillon de granulats mélangé à des boules d’acier. A la fin, en évalue la quantité de matériau retenu sur le tamis de 1.6 mm.

Il se pratique sur une des six classes granulaires qui sont : (4/6.3) ou (6.3/10) ou (10/14) ou (10/25) ou (16/31.5) ou (25/50).

On place un échantillon de 5 kg de granulat et 7 à 12 boulets d’aciers dans un tambour pouvant tourner de son axe, la charge des boules est fixée conformément aux indications du tableau ci-après.

Tableau III.6 : Adaptation des charges des boulets correspondant à la classe granulaire choisie.

Classes granulaires (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)	
4 - 6.3	7	3080	20 à -150
6.3 – 10	9	3960	
10 – 14	11	4840	
10 – 25	11	4840	20 à -150
16 - 31.5	12	5280	
25 – 50	12	5280	

◆ **Mode opératoire**

- ✓ Après introduire l’échantillon et les boules d’acier avec soin dans le tambour, en faire opérer la machine de Los Angeles.
- ✓ Faire effectuer à la machine 500 rotations avec une cadence régulière comprise entre 30 tr /min à 33 tr/min.
- ✓ Après l’achèvement de l’essai, en recueillir les granulats dans un bac placé sous l’appareil, en ayant soin d’amener l’ouverture, juste au-dessus de ce bac, afin d’éviter les pertes de matériau.
- ✓ Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm.
- ✓ Laver le refus au tamis de 1.6 mm. Égoutter et sécher à l’étuve à 105°C, jusqu’à masse constante.
- ✓ Peser ce refus une fois sèche
- ✓ Soit **P** le résultat de la pesée avec :

$$P = 5000 - \text{refus} \quad (\text{eq III-11})$$

Le coefficient de Los Angeles **LA**, est donné par la relation suivante :

$$L_A = 100 (P/5000) \quad (\text{eq III-12})$$

P : passant à 1.6 mm.

Le tableau suivant donne l'estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient L_A .

Tableau III.7 : Estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient L_A

Coefficient L_A (%)	Estimation de la dureté des agrégats
< 20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
>50	Très tendre

Tableau III.8 : Résultats d'essai de Los Angeles du gravier (3/8), (8/15) et (15/25).

Fraction granulaire	L_A (%)
3/8	21
8/15	20.74
15/20	21

Les valeurs de la résistance à la fragmentation montrent que le gravier testé est dure et reconnue apte pour la confection du béton.

III.3.1.8. Essai Micro-Deval (NF EN 1097)

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements entre les granulats et une charge abrasive. Il consiste à mesurer la quantité d'élément inférieur à 1.6 mm produite dans un broyeur, dans des conditions bien définies, à sec ou en présence d'eau. Plus le coefficient micro-Deval est élevé, meilleur est le matériau. Selon les normes (NF EN 1097 et NF P18-577), doit être 35% pour les granulats naturels. Le coefficient micro-Deval (MDE) donne par la formule :

$$M_{de} = (M/m) \times 100 \quad (\text{eq III-13})$$



Figure III.7 : Appareille Micro-Deval



Figure III.6 : L'échantillon avant l'essai (Micro Deval)

III.3.2. Caractéristiques du sable

III.3.2.1. Equivalent de sable (NA EN 933-8)

Cette mesure détermine la proportion d'impuretés argileuses, limoneuses ou ultra fine contenue dans le sable. Ce type d'impureté devient au de la d'une certaine proportion nocif pour le béton car la présence d'argile ou particules colloïdales perturbe la réaction d'hydratation des liants hydraulique : Retard de prise et même arrêt de durcissement.

Le principe de la mesure repose sur la différence de vitesse sédimentation des grains contenue dans le sable.

L'équivalent de sable (E.S) représenté le rapport multiplié par 100 de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du flocculat et de la partie sédimentée. On distingue :

E.S.V : équivalent de sable visuel au à vue (mesuré visuellement).

$$\text{E.S.V} = \frac{H_2}{H_1} \times 100 \quad (\text{eq III-14})$$

Avec :

H1 : hauteur totale (sable + flocculat).

H2 : hauteur de sable sans tassement $H_2' < H_2$.

E.S.P : Equivalent à de sable à piston (mesure au piston).

$\text{E.S.P} = (H_2'/H_1) \times 100$.

H1 : hauteur totale (sable + flocculat).

H2 : hauteur de sable c'est-à-dire de la partie sédimentée.

Le tableau III-9 présente la qualité du sable et sa nature d'après l'essai d'équivalent de sable :

Tableau III.9 : Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP (BRETTE Alain)

Esv	Esp	Nature et qualité de sable
Es <65	Es <65	Sable argileux : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour des bitons de qualité.
65<Es<75	65<Es<80	Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤Es≤85	70 ≤Es≤80	Sable propre à faible pourcentage de fines argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
Es ≥85	Es>85	Sable très propre : absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.



Figure III.8 : Essai Equivalent de sable

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.10 : Les résultats de l'équivalent de sable par visuelle.

Essai n°	H ₁	H ₂	E.S.V (%)	E.S.V _{moy} (%)
1	10.3	8.5	82.52	83,71
2	10.2	8.7	85.29	
3	10.2	8.5	83.34	

Tableau III.11 : Les résultats de l'équivalent de sable par lecture piston

Essai n°	H ₁	H' ₂	E.S.P	E.S.P _{moy} (%)
1	10.3	8.3	80.58	81.43
2	10.2	8.4	82.35	
3	10.2	8.3	81.37	

$75 \leq E_{sv} \leq 85$; $75 \leq E_{sp} \leq 85$; Donc le Sable est propre et à faible pourcentage de fines argileuses convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.

III.3.2.2. Masse volumique des sables (NF P18-555)

a) Masse volumique absolue

Le mode opératoire et le même que celui utilisé pour le gravier décrit précédemment. La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$\rho_s = M / (V_1 - V_2) \quad (\text{eq III-15})$$

- **Principe** : le volume absolu d'un corps est généralement déterminé en mesurant le volume d'un liquide (en général de l'eau) que déplace l'introduction de ce corps.
- **Méthode du pycnomètre** : C'est nettement plus précis, mais plus délicat
- **Matériels nécessaires** : pycnomètre en verre avec couvercle à vis comportant un trou circulaire de quelques millimètres de diamètre, balance de précision : force de 4 à 5 kg, sensibilité 1 à 2 cg et une tige en verre pour l'agitation.

Mode opératoire

1. Préparer un échantillon de 2 à 3 kg de sable, séché à l'étuve et refroidi
2. Peser le pycnomètre (sec et propre) avec son couvercle, soit P0.
3. Dévisser le couvercle et introduire 400 à 500 g de l'échantillon de sable. Peser l'ensemble, soit P1.
4. Remplir la bouteille moitié avec de l'eau et remuer énergiquement avec la tige en verre pour chasser les bulles d'air. Ajouter de l'eau jusqu'à 2cm du bord supérieur, visser à fond le couvercle et remplir à l'aide d'une pissette par le trou supérieur.
5. Secouer le pycnomètre en rebouchant avec un doigt le trou du couvercle. Laisser un bon moment, pour permettre à l'air de s'échapper et toute mousse ou écume de se disperser (on peut utiliser une pompe à vide pour accélérer le phénomène), compléter si nécessaire.
6. Sécher les parois extérieures du pycnomètre et peser l'ensemble, soit P2.
7. Vider le pycnomètre, le laver et le remplir d'eau jusqu'au niveau du trou supérieur.
8. Sécher les parois extérieures du pycnomètre et peser l'ensemble, soit P3.
9. Reprendre les étapes 3 à 6 pour deux autres échantillons non utilisés.

Les valeurs sont obtenues en utilisant la formule ci-dessous :

$$\diamond \text{ la masse volumique absolue est : } \rho_{\text{abs}} = (P_1 - P_0) / (P_3 - P_0) - (P_2 - P_1).$$

Les résultats obtenus sont regroupés dans le **tableau III.16**.

Tableau III.12: Masse volumique absolu du sable

N° de l'essai	1	2	3
Masse P ₀ (g)	38.36	38.36	38.36
Masse P ₁ (g)	68.35	68.37	68.25
Masse P ₂ (g)	156.70	156.72	156.65
Masse P ₃ (g)	138.09	138.09	138.09
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.635	2.636	2.638
Moyenne (g/cm ³)	2.636		

a) Masse volumique apparente (NF P 18-554)

➤ **Définition :** C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

➤ **Mode opératoire :** On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2,5 litres.

On remplit l'entonnoir avec du sable sec.

On pèse le récipient vide M_1 .

On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.

Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout, soit M_2 ce poids. Le volume du récipient= 1 L. La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r} \quad (\text{eq III-16})$$

Tableau III.13 : Masse volumique apparente du sable

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)
1	284	1740	1.456	1.452
2	284	1734	1.450	
3	284	1699	1.415	

III.3.3. Caractéristiques du ciment utilisé

III. 3.3.1. Présentation du ciment

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico mécaniques et chimiques satisfont aux exigences des ciments CPJ CEM III/A 42.5R selon la norme française (NF P 15-301).

III.3.3.2. Domaines d'utilisation

Le ciment CPJ CEM III/A 42.5 R est utilisé pour tous les projets de construction qui nécessitent de hautes résistances mécaniques mais qui ne présentent pas un besoin spécifique en bétons exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment. Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) ;
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport, etc.) ;
- Secteur hydraulique (barrages, château d'eau, stations d'épuration, etc.) ;
- Secteur industriel.

III.3.3.3. Caractéristiques chimique du ciment CPJ CEM III/A 42.5 R

L'analyse chimique des ciments déterminé selon la norme française [NF EN 196-2].

Tableau III.14 : Analyse chimiques du ciment

Composantes	Valeur (%)	Norme
Teneur en sulfates SO ₃	2.00 à 2.70	NA 5042
Teneur en oxyde de magnésium MgO	1.00 à 2.20	
Teneur en chlorures	0.01 à 0.05	
Teneur en équivalent en alcalis	0.3 à 0.75	
Perte au feu	7.50 à 12.00	
Résidus insolubles	0.7 à 2.00	

Tableau III.15: Composition minéralogique du clinker.

Composantes	Valeur (%)
Silicates tricalciques C3S	58 à 64
Silicates bicalciques C2S	12 à 18
Aluminates tricalciques C3A	6.00 à 8.00
Aluminoferritetetralciques C4AF	10.00 à 12.00

Tableau III.16: Propriétés physiques du ciment utilisé.

Propriété	Valeur
Consistance normale	25 à 28.50 (%)
Surface spécifique Blaine	4150 à 5250 (cm ² /g)
Retrait à 28 jours	<1000 (µm/m)
Expansion	0.3 à 2.5 (mm)
Masse volumique apparente	1.005 (kg/dm ³)
Masse volumique spécifique	3.02 (kg/dm ³)

Tableau III.17: Temps de prise à 20°C.

Temps de prise	Temps (min)	Norme
Début de prise	140 à 195	NA 230
Fin de prise	195 à 290	

Tableau III.18: Résistance mécanique à la compression.

Age de l'éprouvette	Résistance à la compression (MPa)	Norme
02 jours	≥ 10.0	NA 234
28 jours	≥ 42.5	

III.3.4. L'eau de gâchage (XP P18-303)

Nous avons utilisés pour le gâchage de notre béton l'eau de robinet disponible au niveau de notre université, d'où ces caractéristiques physico-chimique sont écrites dans le tableau III.24.

L'analyse chimique de l'eau de gâchage a été réalisée au laboratoire de la chimie de l'université d'El Bachir El Ibrahim, Bordj Bou Arreridj.

Les résultats obtenus à montrer que l'eau testée est apte pour la confection des bétons.

Tableau III.19 : Analyse chimique de l'eau utilisée pour le gâchage.

Paramètre	Quantité	Commentaire
pH	8.18	Acceptable pour le gâchage.
Conductivité	1250 µs/cm
Taux de (Cl ⁻)	0.24mg/l	0.05 à 0.50
Taux de (NO ₂ ⁻)	0,15 mg/l	> à la concentration max (0.1)
Taux de (NO ₃ ⁻)	1,8 mg/l	< à la concentration max (50)
Résidu sec	100 mg/l	Traces non nuisible.

Les résultats obtenus montrent que l'eau testée est apte pour la confection du béton.

III.3.5. Adjuvants

III.3.5.1. Définition

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 5% du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci.

Un adjuvant n'est pas un palliatif. Il n'a pas pour mission ni pour effet de faire un bon béton à partir d'un mauvais dosage ou d'une mise en œuvre défectueuse. Ce n'est pas un produit capable de se substituer aux règles de la bonne technique.

III.3.5.2. Classification des adjuvants

La norme [18] classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

A. Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et en modifient la viscosité [18].

- **Plastifiants - Réducteurs d'eau** : Ce sont des produits qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent l'affaissement (ou l'étalement), ou qui produisent les deux effets à la fois [18].
- **Superplastifiants-Haut réducteurs d'eau** : Ce sont des produits qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent considérablement l'affaissement (ou l'étalement), ou qui produisent les deux effets à la fois [18].

B. Les Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Ces adjuvants modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Leur action se traduit par une évolution différente de la résistance d'un béton, mortier ou coulis adjuvante comparée à celle du témoin [44]. On peut distinguer deux types d'adjuvants :

- **Accélérateurs de prise et durcissement** : Les premiers diminuent le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils sont utilisés souvent en préfabrication et les derniers augmentent la vitesse de développement des

résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise. Ils sont préférentiellement utilisés par temps froid.

- **Retardateurs de prise** : Ces adjuvants augmentent le temps de début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils sont généralement utilisés par temps chaud [47].

C. Adjuvants modifiant certaines propriétés du béton

On peut distinguer deux types d'adjuvants :

- **Entraîneurs d'air** : Ces adjuvants permettent d'incorporer pendant le malaxage une quantité contrôlée de fines bulles d'air entraîné uniformément réparties et qui subsistent après durcissement. Ils sont utilisés pour protéger les bétons du gel [48].
- **Hydrofuges de masse** : Ces adjuvants permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques [49].

III.3.5.3. Utilisations des différents types des adjuvants

On distingue essentiellement l'adjuvant haut réducteur d'eau (super plastifiant). Le dosage en adjuvant n'excède pas 5 % de la masse du ciment. Il a pour rôle de maintenir une maniabilité donnée tout en diminuant la quantité d'eau dans le béton. Ils permettent ainsi d'obtenir un béton plus résistant en raison de la réduction de l'eau. A titre indicatif, le super plastifiant permet de réduire la teneur en eau de 25 à 35 % tout en gardant une même maniabilité [50].

Parmi les super plastifiants les plus connus on citera : les polynaphtalènes sulfonés (PNS), les sulfonates de mélamine (MS), les polymères carboxyliques d'éther (PCE).

Tableau III.20 : Différents utilisations de différents types d'adjuvants [23].

Adjuvants	Utilisation
Plastifiants	Béton pur dallage (béton pompé) Béton maigre (blocs manufacturés) Béton très ferrailé
Super plastifiants	Bétons de compacité, et donc durabilité Bétons de haute performance Béton autoplaçants
Accélérateurs	Décoffrage rapide (réduction de temps de prise) Bétonnage par temps froid Mise en béton hors-gel En fabrication : augmentation de la rotation des coffrages Travaux d'étanchement, travaux à la mer (entre deux marées) Réparation rapide, remise en circulation rapide des routes
Retardateurs	Les bétons mis en place sur des fortes épaisseurs (ouvrage d'art, barrage,...)

	Tout bétonnage par temps chaud Transport des bétons sur des longues distances Bétons injectés en continu Mortiers stabilisés utilisable plusieurs jours sur chantier
Entraîneurs d'air	Les barrages, les routes, les ponts, Les travaux maritimes et les travaux en montagne Les ouvrages exposés au gel et à l'action des eaux agressives

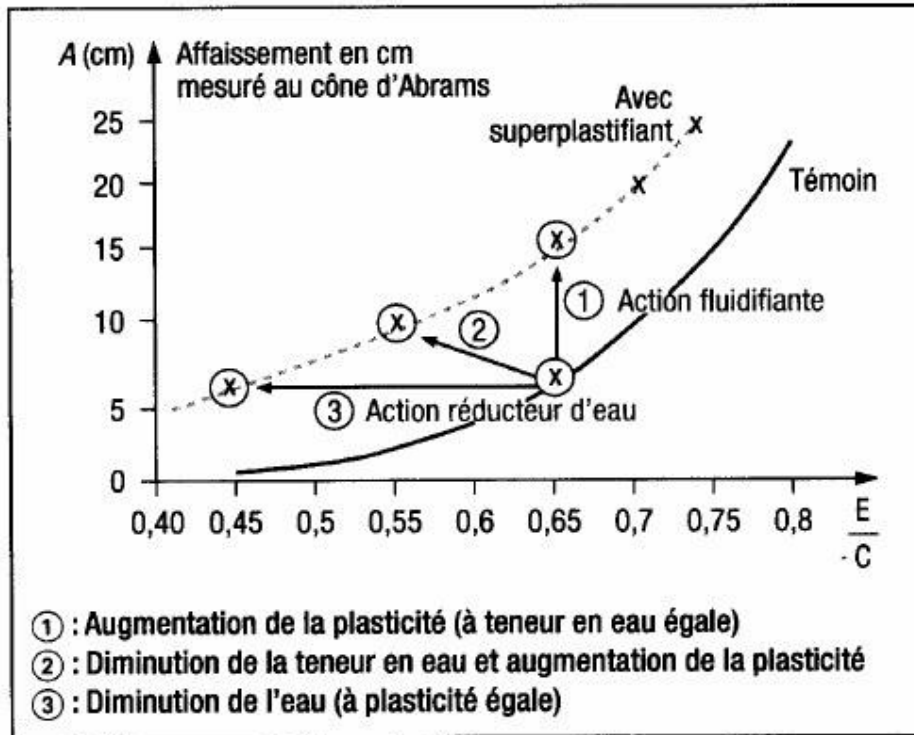


Figure III.9: Les utilisations des super plastifiants

III.3.5.4. Le super-plastifiant MEDAPLAST SP 40

a) Définition :

Le **MEDAPLAST SP 40** est un super plastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau de béton.

b) Domaines d'application

Le super-plastifiant **MEDAPLAST SP 40** est utilisé dans plusieurs domaine comme suit :

- ◆ Bétons à hautes performances
- ◆ Bétons pompés
- ◆ Bétons précontraints
- ◆ Bétons architecturaux
- ◆ Bétons extrudés

- ◆ Bétons BCR

c) Propriétés :

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

Sur béton frais :

- ◆ Améliorer la fluidité
- ◆ Augmenter la maniabilité
- ◆ Réduire l'eau de gâchage
- ◆ Éviter la ségrégation
- ◆ faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- ◆ Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- ◆ Diminuer la porosité
- ◆ Augmenter la durabilité
- ◆ Diminuer le retrait

d) Caractéristiques :

- ◆ Aspect Liquide
- ◆ Couleur Marron
- ◆ PH 8,2
- ◆ Densité $1,20 \pm 0,01$
- ◆ Teneur en chlore $< 1\text{g/L}$
- ◆ Extrait sec 40%

e) Mode D'emploi

Le MEDAPLAST SP 40 est introduit dans l'eau de gâchage. Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été introduite.

Dosage

Plage de dosage recommandée :

0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5 L à 2 L pour 100 kg de ciment

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

f) Motif de choix

Pour le cas de notre étude, on a choisi le superplastifiant MEDAPLAST SP 40 pour ses caractéristiques et ces avantages, et pour avoir un béton homogène avec moins de porosité et

de retrait et éviter les effets de ségrégation, en plus avoir des caractéristiques mécaniques durable.



Figure III.10 : Le super plastifiant MEDAPLAST SP 40

CHAPITRE VI :

Etude de formulation de
béton

VI. Etude de formulation de béton**VI.1. Introduction**

Dans ce chapitre on va déterminer la formulation de notre béton et différentes quantités des matériaux utilisés d'après que on a présenté les différents essais et matériels utilisés dans l'élaboration des essais programmés dans ce travail dans le chapitre précédent.

Pour la formulation on a utilisé la méthode DREUX-GORISSE puisque cette méthode est plus utilisable dans la formulation des bétons et aussi une méthode efficace et précisé dans le demain génie civil.

VI.2. Formulation des bétons étudiés**VI.2.1. Calcul de la composition du béton****VI.2.1.1. Méthodes de calcul de la composition du béton**

Le calcul de la composition du béton a pour but de déterminer le dosage en ciment, granulats (fins et gros) et en eau pour un dosage de 1 m³ de béton frais, afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique volume (exigée).

Il existe plusieurs méthodes de détermination la composition du béton proposé et applique dans les différents payes du monde, permis ces méthodes on peut citer :

- Méthode de BOLOMEY (méthode à granularité continue).
- Méthode de FAURY.
- Méthode de JOISEL.
- Méthode de VALETTE.
- Méthode de DREUX GORISSE.
- Méthode des volumes absolus.
- Méthode générale du CES (centre d'essai des structures).

Dans notre projet la méthode DREUX GORISSE, a été adoptée pour formuler notre béton.

VI.2.2. Formulation de Dreux-Gorisse

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 (m³) de béton. Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

- Détermination du mélange optimal à minimum de vides. Détermination de la compacité du béton.
- Détermination des masses de granulats.
- Les résultats intermédiaires relatifs à chaque étape de calcul seront consignés sur la fiche de résultats jointe en annexe.
 - Détermination du rapport C/E.
 - Détermination de C et E.
 - Détermination de Volume de l'adjuvant.

Cette méthode est de nature fondamentalement empirique. Dreux a mené une large enquête pour recueillir des données sur des bétons satisfaisants. Sur la base d'une analyse statistique de ce grand nombre de bétons et en combinant les courbes granulaires obtenues, ils ont pu fonder une approche empirique pour déterminer une courbe granulaire de référence ayant la forme de deux lignes droites dans un diagramme semi-logarithmique [78].

a) Détermination du rapport C/E

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

$$f_{c=28} = G * F_{ce} \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \quad (\text{Eq VI-1})$$

Avec :

$f_{c=28}$ = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa

F_{ce} = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa

C = Dosage en ciment en kg par m³ de béton

E = Dosage en eau total sur matériau sec en litre par m³ de béton

G = Coefficient granulair (Tab.4) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau VI.1 : Coefficient granulair G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max} .

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

Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe).

$$f_c = G * F_{cE} \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \rightarrow 1.15 * 25 = 0.5 * 50 \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \rightarrow \frac{C}{E} = 1.65 \quad (\text{Eq VI-2})$$

b) Détermination de C

La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque de la figure 1 en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams.



Figure VI.1 : Essai d'affaissement au cone d'Abrams

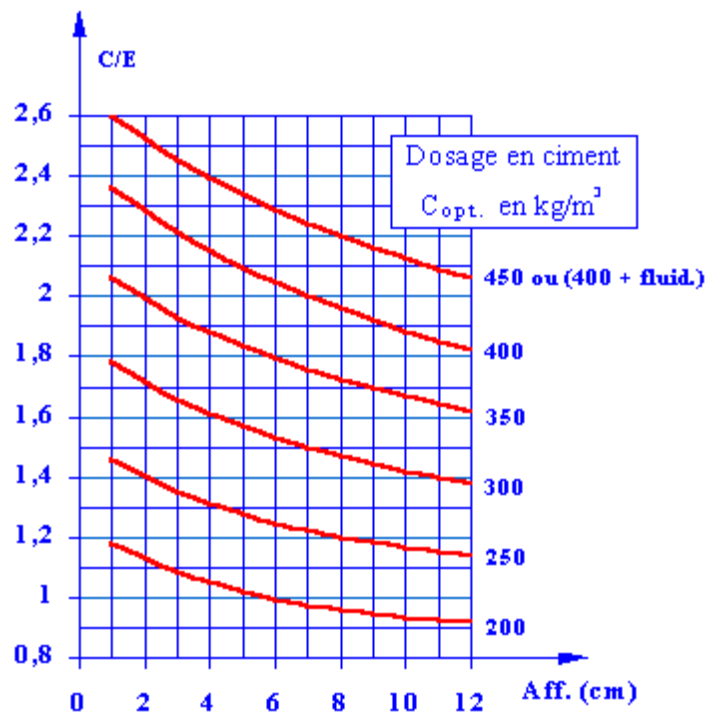


Figure VI. 2 : Abaque permettant la détermination de C_{opt.}

Pour cela il suffit de positionner sur l'abaque (Fig. VI.1) les valeurs de C/E et de l'affaissement au cône recherchées. Le point ainsi obtenu doit être ramené parallèlement aux courbes de l'abaque pour déterminer la valeur optimale de C_{opt} . Au delà de 350 kg de ciment par m³ de béton, on préférera à un surdosage en ciment l'usage ordinaire.

Expérimentalement ; Affaissement A= 8 cm et E/C = 1.65 donc estimé C= 345 kg/m³.

Le dosage effectif de ciment C à **retenir** doit être supérieur ou égal à C_{opt} , et aux valeurs minimales C_{min} données par les formules 1 à 3 pour les bétons non normalisés (formule 1 lorsque le béton est en milieu non exposé, formule 2 pour un milieu exposé sans agressivité particulière et formule 3 pour un milieu agressif).

$$C_{min}(kg/m^3) = \frac{250+10\sigma'28}{\sqrt[5]{1.25D_{max}}} \dots\dots\dots (1) \quad (\text{Eq VI-3})$$

$$C_{min}(kg/m^3) = \max \left[\frac{250+10\sigma'28}{\sqrt[5]{1.25D_{max}}} ; \frac{550}{\sqrt[5]{1.25D_{max}}} \right] \dots\dots\dots (2) \quad (\text{Eq VI-4})$$

$$C_{min}(kg/m^3) = \max \left[\frac{250+10\sigma'28}{\sqrt[5]{1.25D_{max}}} ; \frac{700}{\sqrt[5]{1.25D_{max}}} \right] \dots\dots\dots (3) \quad (\text{Eq VI-5})$$

Formule (1) : Milieu non exposé avec : f_{c28} en MPa et D_{max} en mm.

Formule (2) : Milieu exposé sans agressivité particulière.

Formule (3) : Milieu agressif.

c) Détermination de E

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

C/E = 1.65 donc E= 345/1.65 donc **E= 209,1 L**

d) Détermination du mélange optimal à minimum de vides

Il s'agit de déterminer les pourcentages de sable, de gravillons et de cailloux qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Les quantités des matériaux de chaque classe granulaire doivent être judicieuses pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. La courbe granulométrique théorique d'un matériau à minimum de vides peut être schématisée par une droite brisée. La démarche proposée par Dreux pour déterminer le mélange optimum à minimum de vides est la suivante :

Tracé de la droite brisée de référence.

Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux :

Tracé de la droite de référence de Dreux

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides. C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y :

En abscisse :

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

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

En ordonnée :

$$Y + 50 - \sqrt{1.25(D_{max})} + K' \quad \text{ou} \quad K' = K + K_s + K_p \quad (\text{Eq VI-6})$$

Y : est donné en pourcentage de passants cumulés

K est un coefficient donné par le (tableau VI.2), Ks et Kp étant des coefficients correctifs définis par :

Ks : (correction supplémentaire fonction de la granularité du sable) +2 :

Ks = (6 Mfs – 15) avec Mfs le module de finesse du sable, notre cas sable fine et Mf = 1.96.

Kp (correction supplémentaire si le béton est pompable) :

Kp = +5 à +10 selon le degré de plasticité désiré.

Tableau VI.2: K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

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

La droite de Dreux a pour origine les point 0 origines du graphe et pour extrémité le point D_{max} caractéristique des plus gros granulats.

$$Y = 50 - \sqrt{20} + 2 - 3,24 \quad \Rightarrow \quad Y = 44,29 \%$$

e) Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux

Pour déterminer les pourcentages en volumes absolus de granulats permettant la confection d'un mélange à minimum de vide il est nécessaire de tracer comme indiqué sur la figure 3 des droites reliant deux à deux les courbes granulométriques des matériaux du mélange.

Ces droites sont définies par 5 % de refus pour le matériau à faible granularité et par 5 % de passant pour le matériau à forte granularité. L'intersection des droites ainsi tracées avec la droite brisée de Dreux permet, par prolongement sur l'axe des ordonnées, de déterminer les pourcentages en volumes absolus de chaque matériau. Ces pourcentage doivent permettre l'obtention d'un mélange dont la courbe granulométrique est proche de la droite brisée de Dreux. Si la courbe du mélange obtenue est trop éloignée de la courbe de Dreux, un ajustement de ces pourcentages peut s'avérer nécessaire.

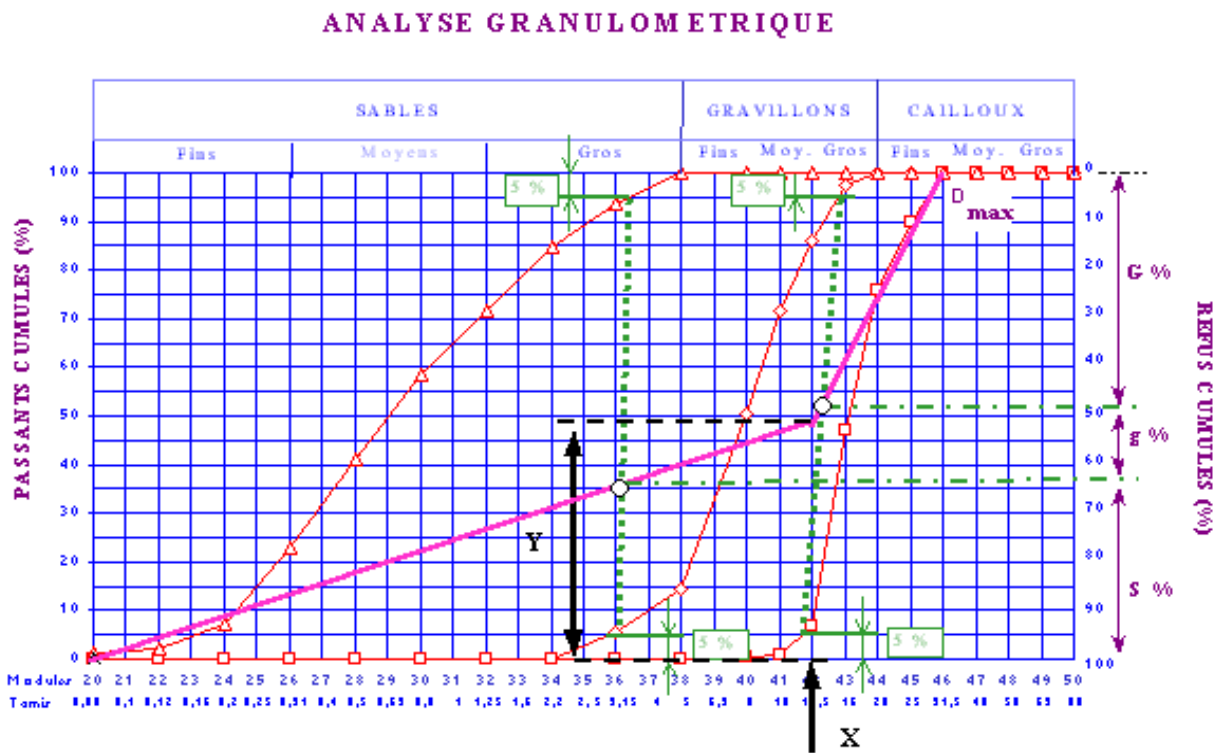


Figure VI.3 : Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau.

Le point B a pour abscisse D et pour ordonnée 100 % de tamisât :

$$X=25\text{mm} \quad Y=100\%$$

Position du point de brisure : abscisse du point A : $A_x = 10 \text{ mm}$

On en déduit par tracé de la ligne de partage, les pourcentages des granulats en volume absolu :

- Sable carrier43%
- Gravier (3/8).....10%
- Gravier (8/15).....23%
- Gravier (15/25).....27%

f) Détermination de la compacité du béton

Le dosage en béton est déterminé pour obtenir 1 m³ béton en place ; cela signifie que le volume de matière vaut 1 m³.

$$V_{abs} = V_c + V_g + V_s = 1 \text{ m}^3 \quad (\text{Eq VI-7})$$

La compacité γ représente la proportion du volume de matière que contient le matériau ;

$$\gamma = V_{abs}/V_{app} \quad (\text{Eq VI-8})$$

V_{abs} : Le volume de matière représente le volume absolu du matériau.

V_{app} : Le volume du matériau représente le volume apparent du matériau.

$$\text{Danc } \gamma = (V_c + V_g + V_s) \text{ en volume absolue} \quad (\text{Eq VI-9})$$

La valeur de base c_0 est fonction de la taille des granulats, de la consistance du mélange et des moyens de vibration mis en œuvre (Tab.VI.3). Des corrections (C_1 , C_2 et C_3) fonctions de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment, doivent être apportées (Tab.VI.3) : $C = C_0 + C_1 + C_2 + C_3$. (Eq VI-10)

Tableau VI.3 : Compacité du béton en fonction de D_{max} , de la consistance et du serrage.

Consistance	Serrage	Compacité C_0				
		$D_{max}= 8$	$D_{max}=12,5$	$D_{max} = 20$	$D_{max}=31,5$	$D_{max} = 50$
Molle (TP-Fl)	piquage	0,78	0,795	0,805	0,81	0,815
	vibration normale	0,79	0,805	0,815	0,82	0,825
Plastique (P)	piquage	0,79	0,805	0,815	0,82	0,825
	vibration normale	0,8	0,815	0,825	0,83	0,835
Ferme (F)	vibration normale	0,81	0,825	0,835	0,84	0,845
	vibration puissante	0,815	0,83	0,84	0,845	0,85

g) Volume absolu de ciment

$$V_c = C/MV_{abs} \text{ cimnet} \quad (\text{Eq VI-11})$$

V_c : volume absolu de ciment en dm³

C : masse de ciment en kg

MV_{abs} : masse volumique absolue du ciment en kg/dm³ = 3100 kg/m³ = 3,1 kg/dm³.

$$V_c = 345/3,1 = 111,3 \text{ L.}$$

h) Volume absolu de granulats

De la relation de : $\gamma = (V_c + V_g + V_s)$, on en déduit V_g et V_s (Eq VI-12)

En remplaçant le volume de granulats ($V_s + V_g$) par la valeur V_G , on déduit de $\gamma = (V_c + V_G)$

$$\gamma = 0,825 - 0,03 = 0,795$$

$$V_G = (1000 * \gamma) - V_c = V_G = (1000 * 0,795) - 111,3$$

$$V_G = 683,7 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

i) Volume de sable :

$$V_s = S \% * V_G \text{ donc } V_s = 44 \% * 683,7 = 0,44 * 683,7 = 300,8 \text{ dm}^3 \quad (\text{Eq VI-13})$$

j) Volume de gravier :

$$V_g = G \% * V_G \text{ donc } V_g = 56 \% * 683,7 = 0,56 * 683,7 = 382,9 \text{ dm}^3 \quad (\text{Eq VI-14})$$

k) Détermination de la composition pondérale sèche en kg

Pour une concentration de béton de 2400 kg/ m³ on a :

l) Masse de ciment :

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

m) Masse d'eau :

$$E = 210 \text{ kg/m}^3$$

n) Masse volumique de sable

$$S = V_s * MV_{\text{abs Sable}} \text{ donc } S = 300,8 * 2,636 = 800 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Eq VI-15})$$

o) Masse volumique de gravier

$$G = V_g * MV_{\text{abs gravier}} \text{ donc } G = 382,9 * 2,710 = 1040 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Eq VI-16})$$

p) Masse volumique de l'adjuvant

$$V_{\text{adj}} = 4\% * V_c = 4 * 111,3 / 100 = 445,2 / 100 = 4,452 \text{ L} \quad (\text{Eq VI-17})$$

$$MV_{\text{adj}} = 4,452 \text{ L} * 1,20 = 5,34 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Eq VI-18})$$

❖ Donc on a les densités suivant :

- Sable concassé 0/3 : 2.66 kg/m³
- Gravier 3/8 : 2.69 kg/m³
- Gravier 8/15 : 2.68 kg/m³
- Gravier 15/25 : 2.76 kg/m³
- Adjuvant : 1.20 kg/m³

❖ Pour le sable on prend :

- Sable concassé 0/3 : 35%
- ❖ Pour le gravier :
 - Gravier 3/8 : 20%
 - Gravier 8/15 : 35%
 - Gravier 15/25 : 45%

Tableau VI.3: Les masse volumique de déferants constituants de béton

Béton	C (kg/m ³)	E (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)			Adj
			S 0/3	G 3/8	G 8/15	G 15/25	
Béton ordinaire	350	210	280	208	364	468	/
Béton adjuvanté	350	204.66	280	208	364	468	5.34

VI.3. Conclusion

Dans ce chapitre on a effectué une formulation de béton par la méthode DREUX GORRISSE avec détermination des proportions de chaque fraction granulaire (sable, gravillons, eau et adjuvant). Cette méthode nous parée plus méthodologique, plus effucace et plus pratique, vu qu'elle se base sur l'essai le plus basique à savoir l'analyse granulométrique.

CHAPITRE V :

Résultats et discussion

V. Résultats et discussion

V.1. Introduction

Dans la partie précédente, nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés, ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiés.

Cette partie portera sur la présentation et la discussion des résultats des essais expérimentaux obtenus sur les différents bétons testés, à savoir les essais à l'état frais : affaissement au cône d'Abrams et masse volumique, ainsi qu'à l'état durci : résistance mécanique à la compression, à la traction par fendage et masse volumique de béton durci.

V.2. Essais à l'état frais

V.2.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams

L'essai d'affaissement est réalisé à l'aide du cône d'Abrams selon la norme (NF P 18-451). Les valeurs d'affaissement mesurées des bétons étudiés sont présentées dans le tableau (V.1).

Tableau V.1 : Résultats d'affaissement des bétons étudiés

Type		Béton ordinaire	Béton adjuvanté
Affaissement A (cm)	T = 0 (min)	8	14
	T = 30 (min)	8	13

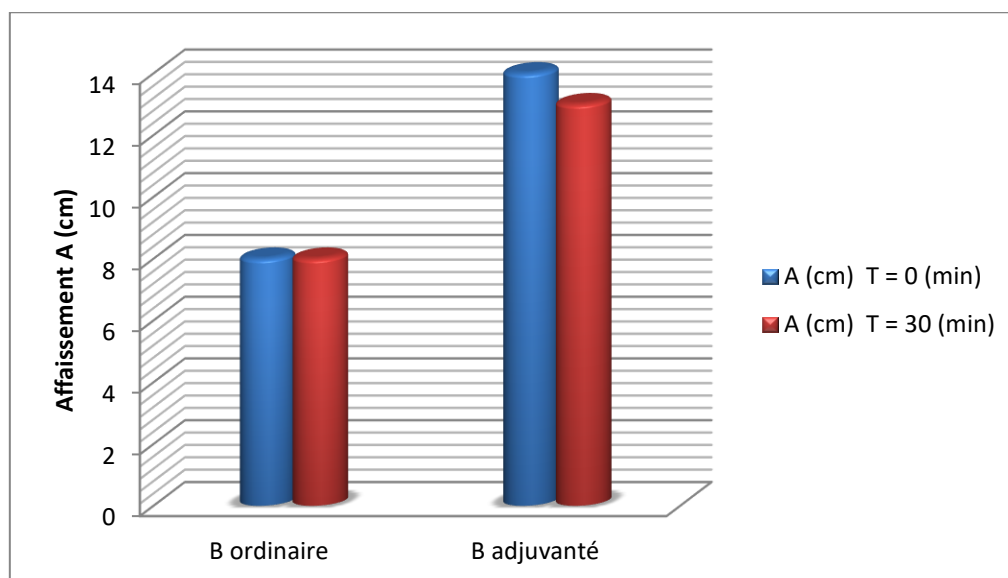


Figure V.1 : Résultats d'affaissement des bétons étudiés

La figure (V.1) montre la variation de l'affaissement des bétons étudiés. D'après les résultats obtenus on peut conclure que :

Le béton ordinaire sans adjuvant est au cas plastique (affaissement entre 5 et 9 cm). Le béton adjuvanté est au cas très plastique (affaissement inférieure à 16cm), conformément aux prescriptions de la norme français (NF EN 206-1).

L'utilisation de l'adjuvant super-plastifiant MEDAPLAST SP 40 améliore légèrement l'affaissement et influe positivement sur la maniabilité et la facilité de mise en œuvre de béton.

V.2.2. Mesure de la masse volumique

La masse volumique à l'état frais des différents bétons déterminé selon la norme européenne (EN 12350-6). Le tableau (V.2), présentés les résultats obtenus de la masse volumique mesurée des différents bétons étudiés.

Tableau V.2 : Masses volumiques des bétons étudiés à l'état frais

Type	Béton ordinaire	Béton adjuvanté
Masse volumique (kg/m ³)	2399	2409

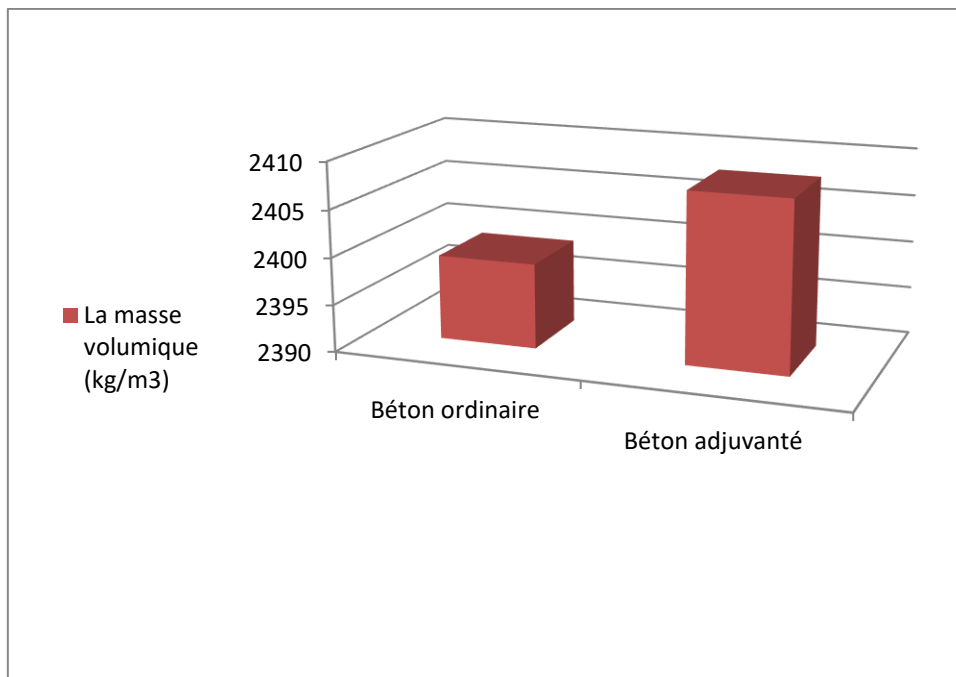


Figure V.2 : Résultats d'affaissement des bétons étudiés à l'état frais

La figure (V.2), montre la variation de la masse volumique des bétons étudiés à l'état frais. D'après les résultats obtenus on remarque que :

Tous les bétons étudiés présentent presque la même valeur de masse volumique à l'état frais. Ceci s'explique par l'utilisation des composantes granulaires sur le mélange.

V.3. Essais à l'état durci

V.3.1. Mesure de la masse volumique du béton durci

La masse volumique à l'état durci des bétons étudiés déterminé selon la norme français (NF 12390-7). Le tableau (V.3), présente les résultats obtenus.

Tableau V.3 : Masses volumiques des bétons étudiés à l'état durci

Type	Béton ordinaire	Béton adjuvanté
Masse volumique (kg/m ³)	2406	2423

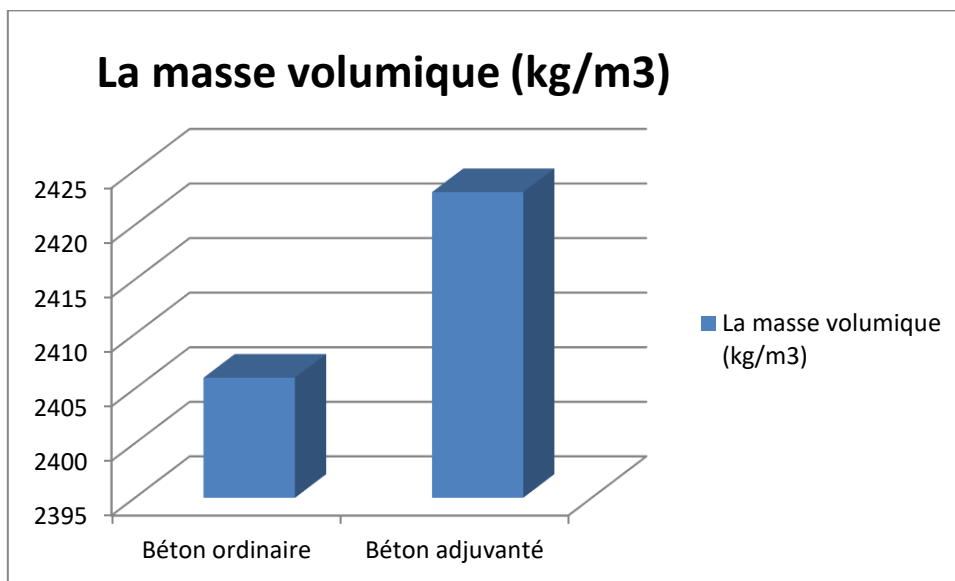


Figure V.3 : Masses volumiques des bétons étudiés à l'état durci

La figure (V.3), montre la variation de la masse volumique des bétons étudiés à l'état frais. D'après les résultats obtenus on remarque que :

Tous les bétons étudiés présentent presque la même valeur de masse volumique à l'état frais. Ceci s'explique par l'utilisation des composantes granulaires sur le mélange.

V.3.2. Résistance de compression

L'essai de la résistance à la compression a réalisé selon la norme NF 18-406. Un essai a été réalisé sur chaque mélange de béton soit ordinaire, soit adjuvanté à trois échéances (7 jours, 14 jours et 28 jours). Pour chaque mélange de béton, trois éprouvettes (16/32) ont été testées à 7 jours, 14 jours et 28 jours.

Les moyennes des résultats des essais de résistance à la compression sont regroupées dans le tableau V.3 et présentées par la figure V.4.

Tableau V.4 : Résultats de l'essai de la résistance à la compression

Béton	7 J				14 J				28 J			
	1	2	3	moy	1	2	3	moy	1	2	3	moy
B ordinaire	28,67	29,30	27,45	28,47	29,99	30,89	30,10	30,33	32,44	34,26	31,47	32,72
B adjuvanté	28,15	27,2	26,5	27,30	29,1	33,5	31,25	31,29	34,00	34,25	36,75	35,00

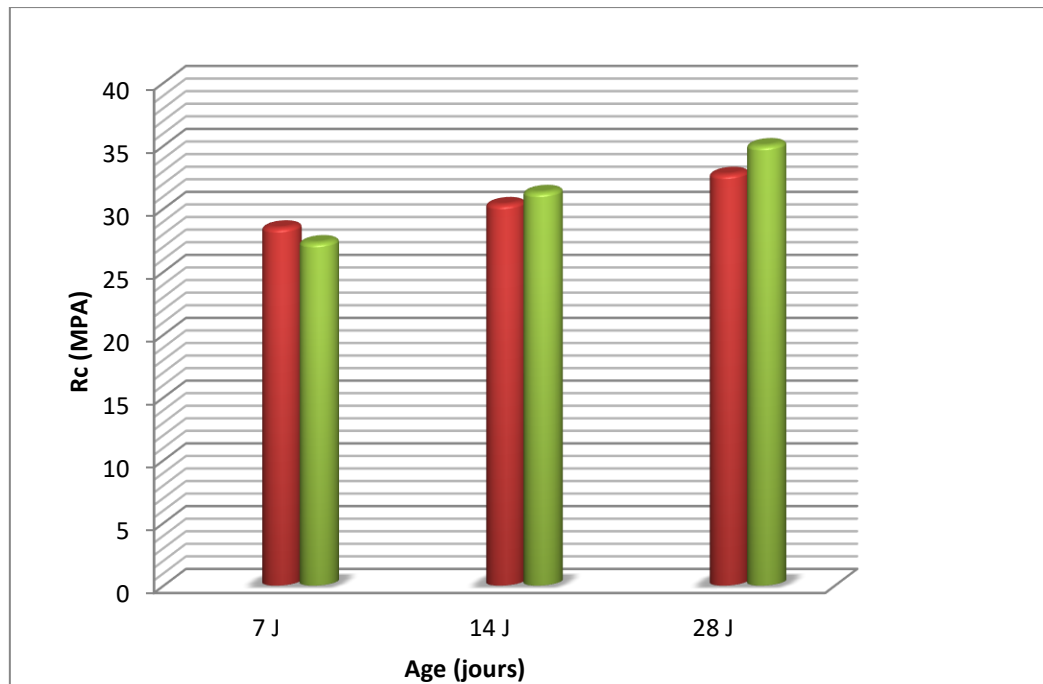


Figure V.4 : Résultats de l'essai de la résistance à la compression

La figure (V.4), montre la variation de la résistance mécanique à la compression des bétons étudiés en fonction de temps (7,14 et 28 jour). Les résultats obtenus montre que :

- A 7 jours la résistance de béton ordinaire est supérieure que le béton adjuvanté à cause de l'adjuvant.
- A 14 jours les valeurs de la résistance à la compression éteint presque convergentes.
- A 28 jours la résistance de la compression de béton adjuvanté est supérieure par rapport au béton ordinaire, donc l'adjuvant augmente la résistance.

V.4. Conclusion

Dans ce chapitre une discussion des résultats a été entreprise, les résultats des essais expérimentaux sur deux types de béton formulés (ordinaire et adjuvanté) à l'état frais et à l'état durci, avec l'utilisation d'un superplastifiant comme adjuvant.

A l'issue des résultats, le béton adjuvanté a permis d'avoir des résistances à la compression très acceptable par rapport au béton ordinaire, avec une diminution appréciable de la quantité d'eau.

A partir de ces résultats, on peut conclure que l'utilisation des adjuvants est plus que recommandée en vue des avantages qu'ils procurent aux bétons frais et durcis.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail nous a permis de mettre en valeur l'utilisation des sables locaux dans la formulation des bétons ordinaires qui sont plus utilisés dans le domaine de la construction.

Les résultats trouvés après l'élaboration de différentes formulations réalisées par la méthode DREUX-GORISSE, pour un béton ordinaire et un béton adjuvanté à base d'un ciment CPJ et granulats de carrière de frère Hadji commune de EL-ACH wilaya de Bordj Bou Arreridj, et aussi utilisé le super plastifiant MEDAPLAST SP 40.

Nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les granulats de la carrière des frères Hadji à EL-ACH présentent des caractéristiques physico-mécaniques conformes aux spécifications demandées, et peuvent être utilisés pour la confection des bétons.
- Le super plastifiant MEDAPLAST SP 40 a donné une plasticité au béton augmentation son maniabilité et permettant une meilleure ouvrabilité.
- L'adjuvant a permis une réduction de l'eau de gâchage avec une augmentation des caractéristiques à l'état frais.
- Le béton adjuvanté a donné un béton durable avec une résistance à la compression élevé à jeune âge.

ANNEXE

Annexe

Tableau 1 : Analyse granulométrique du sable concassé.

Tamis en mm	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100,00
3.15	2,3	2,3	0,23	99,77
2.5	44,4	46,7	4,67	95,33
1.25	291	337,7	33,77	66,23
0.63	209	546,7	54,67	45,33
0.315	193	739,7	73,97	26,03
0.116	115	854,7	85,47	14,53
0.08	76	930,7	93,07	6,93
Fond	103	1033,7	103,37	0,00

Tableau 2 : Analyse granulométrique du gravier concassé (3/8)

Tamis en mm	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
10	0	0	0	100
8	29	29	1,45	98,55
6,3	164	193	12,06	87,94
5	329	522	32,63	67,38
4	360	882	55,13	44,88
3,15	355	1237	77,31	22,69
2,5	245	1482	92,63	7,38
1,25	108	1590	99,38	0,63
0,63	5	1595	99,69	0,31
Fond	5	1600	100,00	0,00

Tableau 3 : Analyse granulométrique du gravier concassé (8/15)

Tamis en mm	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
20	0	0	0	100
16	179	179	5,97	94,03
12,5	1335	1514	50,47	49,53
10	758	2272	75,73	24,27
8	429	2701	90,03	9,97
6,3	211	2912	97,07	2,93
5	41	2953	98,43	1,57
4	22	2975	99,17	0,83
Fond	23	2998	99,93	0,07

Tableau 4 : Analyse granulométrique du gravier concassé (15/25)

Tamis en mm	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
31.5	0	0	0	100
25	111	111	2,22	97,78
20	1754	1865	37,3	62,7
16	2474	4339	86,78	13,22
12.5	608	4947	98,94	1,06
10	40	4987	99,74	0,26
8	5	4992	99,84	0,16
6.3	2	4994	99,88	0,12
Fond	6	5000	100	0,00

NOTICE TECHNIQUE

Version 03

Édition février 2017

2 1 3 6

MEDAPLAST SP 40

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super Plastifiant -/Haut réducteur d'eau

Description

Le **MEDAPLAST SP 40** est un super plastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

Domaines D'application

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

Propriétés :

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

Sur béton frais :

- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

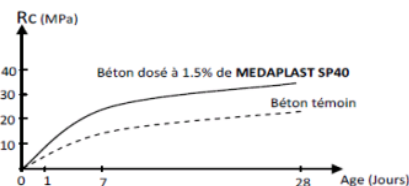
- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

DESIGNATION	Rc MPA	
Jours	7j	28j
Témoin	8,05	31,3
MEDAPLAST SP 40(1.5%)	13,65	38,13

Béton CPJ 42.5 = 350Kg/m³ ; E/C = 0.46
Gravier et sable concassés

Caractéristiques :

- Aspect Liquide
- Couleur Marron
- PH 8,2
- Densité 1,20 ± 0,01
- Teneur en chlore < 1g/L
- Extrait sec 40%



Mode D'emploi

Le **MEDAPLAST SP 40** est introduit dans l'eau de gâchage. Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été introduite.

Dosage :

Plage de dosage recommandée : 0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment
Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés

Conditionnement Et Stockage

Le **MEDAPLAST SP 40** est conditionné en bidons de 12Kg, fûts de 270 kg et cubéteinaire de 1200 kg.

Durée de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Précaution D'emplois

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le CNERIB en 17 JUL 2016.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz



Figure 1 : Fiche technique super plastifiants MEDA PLAST SP 40.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Ayadi, W., et Abdelmalek, G., 2016.** Valorisation des sables locaux dans la formulation de béton ordinaire. Mémoire de Master en : Génie des Matériaux, Université M'hamed Bougara Boumerdes.
- **Righi, L., et Leziar, K., L'année universitaire 2018.** Contribution à l'étude des bétons à base des sables des carrières de la région de Bordj Bou Arreridj. Mémoire de Master, université Mohammed El Bachir El-Ibrahimi.
- **Messaouden, B., 2014.** Durabilité du béton. Polycopié de cours, université de Bordj Bou Arreridj.
- **Boudali, S., 2018.** Durabilité des bétons autoplaçants à base de granulats recyclés. Thèse doctorat, université des sciences et technologie Mohammed Boudiaf, Oran.
- **Collection Technique Cimbeton.** Les constituants des bétons et des mortiers. Tome 1. Centre d'information sur le ciment et ses applications (France).
- **Bulletin du ciment n° 21** : Béton avec granulats de pierres concassées - septembre 1981.
- **Arquié, G., Panet, M., Tourenq, C., 1990.** Granulats. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées.
- **Gabrysiak, F., 2013.** Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2 », Académie de Nancy Metz, http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/. P 7. Site académique de documentation
- **Torrenti, J.M., 2009.** Du béton frais au béton durci », sino data, éléments de comportement par directeur scientifique de l'école française du béton (EFB).
- **Barkat, M., 2012.** Effets des additions minérales et adjuvants fluidifiants sur le comportement rhéologique des mortiers et bétons frais et durcis à base de sable de carrières ». Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider de Biskra.
- **Aitcin, P.C., et Baron, J., 1996.** Les adjuvants normalisés pour bétons, les bétons bases et données pour leur formulation » Ed. Eyrolles.
- **Sidi Mohammed E.A., et Boukli, H., 2009.** Contribution à l'étude de la résistance Caractéristique des bétons de la région de Tlemcen. Mémoire de doctorat, université de Bou Beker Belkaid, Tlemcen.

Références bibliographiques

- **El Barrak, M., 2005.** Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplacants à l'état frais. Thèse de doctorat, Université Toulouse III – Paul Sabatier, France.
- **Neville, A.M., 2000.** Propriétés des bétons », traduit par le CRIB, Edition Eyrolles.
- **Bioudchicha, A., 2007.** Utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons. Thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine.
- **Chanvillard et d'Aloia., 1994.** Préviation de la résistance en compression au jeune âge du béton, Application de la méthode du temps équivalent. Bull. Liaison Lab. Ponts et Ch. France.
- **Lapointe, R., 1997.** Contribution à l'étude des méthodes d'injections des fissures dans le béton ». Mémoire des études graduées, Université McGill, Montréal, Canada.
- **Ayad, M., et Barka, Y., 2013.** Modélisation des bétons ordinaires par des plans d'expériences », Mémoire de Master, Tlemcen.
- **G. Dreux., & J. FESTA., 1998.** Nouveau guide du béton et ses constituants. Edition Eyrolles, 8ème édition.
- **F. Gabrysiak.** Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2 », Académie de Nancy-Metz, http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/. P 7.
- **R. Dupain., R. Lanchan., & J.-C. Saint-Arroman., 2000.** Granulats, Sols, Ciments et Bétons », Editions Casteilla, 2ème édition conforme aux normes européennes.
- **Elbachir, Y., 2014.** Effet des différents adjuvants sur la performance du béton, mémoire de Master Professionnel, Université Mohamed Boudiaf, M'Sila.
- **Boufedah, et Badissi, A., 2011.** Influence da la granularité classe granulaire4/22. Sr les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaire. Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine.
- **Baron, J., Olivier, J.P., 1996.** Les bétons bases et données pour leur formulation, Edition Eyrolles, 522 p, Paris.
- **Ayad, M., et Barka, Y., 2013.** Modélisation des bétons ordinaires par des plans d'expériences », Mémoire de master, Université de Bou Beker Belkaid Tlemcen.
- **Wei Chen., 2011.** Etude expérimentale de la perméabilité du béton sous conditions thermiques et hydriques variables. Thèse de doctorat, école centrale de Lille (France), page 47.

Références bibliographiques

NORMES

- [NF P18-560] Granulat-Analyse granulométrique par tamisage, Septembre 1990.
- [NF P 18- 555] Granulat – mesure des masse volumique, coefficient d’absorption et de la teneur en eau de sable, Décembre 1990.
- [NF P18-573] Granulats-essai Los-Angeles, Décembre 1990.
- [NA EN P-18 598] Granulat –Equivalent de sable, Octobre 1991.
- [NA EN 933-8] Essai pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats Partie8 : Evaluation des fines-Equivalent de sable, Août 1999.
- [NA EN 1097-6] Essai de déterminer les mécanique et physique des granulats, Décembre 2009.
- [NF EN 196-6] Méthodes d’essais des ciments : Détermination de la finesse, Aout 1990.
- [NA EN 1008] Eau de gâchage pour béton- Spécifications d’échantillonnage, d’essais et d’évaluation de l’aptitude à l’emploi, y compris les eaux des processus de l’industrie de béton, telle que l’eau de gâchage pour béton, juillet 2003
- [NA EN P18-404] Bétons-Essais d’étude, de convenance et de contrôle convection et des éprouvettes, Décembre 1981.
- [NA EN P18-451] Bétons-Essais d’affaissement, Décembre 1981.
- [NA EN 12350-5] Essai pour béton frais- Partie 5 : essai de vibration, juin 2009.
- [NA EN 12390-2] Essai pour béton durci-confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance, Octobre 2001.
- [NA EN 12390-3] Essai pour béton durci-Résistance à la compression des éprouvettes, Février 2003.
- [NA EN 12390-5] Essai pour béton durci-Résistance à la flexion sur éprouvette, Octobre2001.
- [NA EN 12390-6] Essai pour béton durci-Résistance en traction par fendage d’éprouvette, Octobre 2001.
- EN 13055-1 : Granulats légers — Partie 1 : Granulats légers pour bétons et mortiers, 2002.