

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE D'ELOUED



Faculté de Technologie  
Département de Hydraulique & Génie civil

## Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention d'un diplôme de **Master**  
spécialité :Ouvrage Hydraulique

### Thème

Contribution à l'amélioration des  
propriétés du béton vis-à-vis de  
la remontée des eaux.

*Préparé par :*

SADANI Salah Eddine

CHIKHA Mohammed Sadok

*Devant le jury composé de:*

*M<sup>R</sup> MANI Mohammed*

*M<sup>K</sup> LOGBI Abd Elaziz*

*M<sup>R</sup> DJEDID Tarek*

*Président*

*Examineur*

*Encadreur*

Année Universitaire 2017 / 2018

## ملخص

الخرسانة الإسمنتية مادة تتأثر بالمحيط الخارجي عموماً؛ فإن كان المحيط الخارجي وسطاً يحتوي على عناصر خطيرة قد تؤثر على ديمومة الخرسانة كما هو الحال في المناطق التي تعاني من ظاهرة صعود المياه و مثال ذلك منطقة الواحات بالجنوب الجزائري، فعلى الخرسانة في هاته الحال أن تكون ذات خصائص حسنة من جميع الجوانب. حيث أن عملنا كان في هذا السياق على النحو التالي:

اردنا في هذا العمل المساهمة في تحسين نوعية الخرسانة لتصبح أكثر مقاومة في الوسط الذي يعاني من ظاهرة صعود المياه وذلك بتقليل توغل العناصر الخطيرة اعتماداً على تقليل نسبة الفراغات في الخرسانة وذلك بواسطة عنصرين اثنين، الأول بالاعتماد على تقليل ماء خلط الخرسانة و ذلك باستعمال مضاف صناعي و الثاني بالاعتماد على استعمال رمل صناعي يحتوي على نسبة عالية من الغبار ذات الأصل الكلسي، حيث قمنا بتركيب خرسانة C0 من أصل 100 % رمل عسيلة وخرسانة أخرى C1 من 50% رمل عسيلة + 50 % رمل صناعي محجر حاسي مسعود و تركيبة خرسانة ثالثة C2 من أصل 100 % رمل صناعي محجر حاسي مسعود ومن ثم قمنا بتجارب على الخرسانة الرطبة قصد تحديد نسبة المضاف المثلى، حيث أفضت التجارب على اعتماد التركيز 2.5 % والذي وافق أعلى كتلة حجمية للخرسانة الرطبة بالنسبة لجميع التركيبات الثلاثة وهذا كان بليوننة خرسانة ثابتة ( affaissement من 5 الى 6 سم في تجربة cône d'Abrams ) كما قمنا بتجارب الضغط على عينات 10\*10\*10 سم<sup>3</sup> وكذلك تجارب الشد على عينات (7\*7\*28سم<sup>3</sup>) وهذا باستعمال إسمنت مقاوم للسلفات CRS حيث كان غمس العينات في أربعة أوساط كالتالي :

1- المنطقة – أ- منطقة سيدي مستور ببلدية الوادي

2- المنطقة – ب- بمنطقة الطلايبة ببلدية الوادي

3- المنطقة – ج- بمنطقة الشط ببلدية الوادي

4- ماء الحنفية

كانت النتائج المتحصل عليها جد مرضية بالنسبة لمقاومة الضغط و مقاومة الشد.

كان استعمال الرمل الصناعي ايجابيا في تقليل الفراغات من الخرسانة عند استعماله بنسبة 50% في التركيبة C1 دون غيرها من التركيبات والسبب في ذلك يرجع الى ان الرمل الصناعي اذا فاق نسبة 50% احتاج الى كمية اضافية من الماء للخط.

## Résumé

Le béton c'est un matériau affecté par le milieu extérieur, qui contient des agents agressives, comme les zones qui souffrent au phénomène de la montée d'eau, alors le béton doit être de bon qualité.

Ce travail pour objectif est de contribuer à l'amélioration de la qualité du béton pour être résistant au milieu agressive, en cherche de réduire les incursions des agents agressives dans les eaux de la nappe par la réduction de vides dans le corps du béton à l'aide de deux facteurs, le premier est par la réduction de l'eau de gâchage, par l'utilisation d'un adjuvant superplastifiant et le deuxième par l'utilisation d'un sable artificielle qui contient un taux de fine important, où nous avons composé un béton C0 à base 100% de sable Assila et un béton C1 à base de 50% de sable Assila et 50% de sable de artificiel et une troisième composition à base de 100 % de sable artificiel C2.

On a travaillé aussi avec ces trois compositions à l'état frais avec un ciment CRS pour déterminer le taux d'adjuvant, alors un dosage de 2.5% c'est l'idéale (le béton toujours plastique de 5 à 6 cm d'affaissement au cône d'Abrams).

Dans la présente étude, nous avons confectionné des éprouvettes de béton cubiques de (10x10x10) cm pour les essais de compression et des éprouvettes prismatiques (7x7x28)cm pour les essais de traction par flexion, Les éprouvettes étés conservé dans quatre milieux:

- 1- Zone A - Zone de Sidi Mastour, Commune d'Eloued
- 2 - La zone - B – Talaïba, Commune d'Eloued
- 3- Zone – C- zone de chot, Commune d'Eloued
- 4- L'eau de robinet

Les résultats obtenus ont été très satisfaisants à la résistance en compression et en traction à 07 et 28 jours d'âge de béton.

# **SOMMAIRE**

RESUME.....	02
SOMMAIRE.....	04
INTRODUCTION GENERALE.....	08

## ***I . La remontée des eaux.***

1. INTRODUCTION .....	11
2 PRESENTATION DE LA REGION D’ETUDE.....	11
2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE .....	11
2-2. CADRE HYDROGEOLOGIQUE .....	11
2.3. HISTORIQUE DE LA REMONTEE DES EAUX DANS LA ZONE D’OUED SOUF..	11
3. QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE .....	12
4. CONCLUSION .....	12

## ***II . Etude Bibliographique***

II.1. GENERALITE SUR LE BETON.....	15
1.1. INTRODUCTION.....	15
1.2 HISTORICITE DU BETON.....	16
1.3 LES COMPOSANTS D’UN BETON.....	16
1.3.1. CIMENT.....	17
1.3.1.1. Définition	
1.3.1.2. Classification des ciments.....	17
• Classification suivant la composition.....	17
• Classification suivant les résistances à la compression.....	18
1.3.2. L’EAU DE GACHAGE.....	19
1.3.3. ADDITIONS MINERALES.....	19
1.3.4. GRANULAT.....	20
1.3.4.1. Définition.....	20
1.3.4.2. Différents types de granulats.....	20

1.3.4.3. Caractéristiques principales des granulats.....	20
1.3.5. ADJUVANTS.....	33
1.3.5.1. Définition.....	33
1.3.5.2. Classification des adjuvants .....	33
1.3.5.2. Utilisations des différents types des adjuvants.....	34
1.4. DIFFERENTS TYPES DE BETONS.....	35
1.5. PROPRIETES ESSENTIELLES D'UN BETON.....	36
1.5.1. PROPRIETES DU BETON FRAIS.....	37
1.5.1.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams.....	37
1.5.1.2. La masse volumique du béton frais.....	38
1.5.2. PROPRIETES DU BETON DURCI.....	39
1.5.2.1. Essai de résistance à la compression.....	39
1.5.2.2. Essai de résistance à la traction.....	39
1.5.2.3. Masse volumique du béton durci.....	41
1.5.2.4. La Porosité .....	42
1.5.2.5. Essais non destructif par Auscultation sonique (Ultra Son) .....	42
1.6. PARAMETRES QUI INFLUENT SUR LES CARACTERISTIQUES DU BETON ...	44
1.6.1. Influence du rapport eau/ciment (E/C) .....	44
1.6.2. Influence du dosage en ciment.....	46
1.6.3. Influence du type de ciment.....	47
1.6.4. Influence du squelette granulaire.....	48
1.6.5. Dimension maximale des granulats Dmax.....	48
1.6.6. Influence du squelette granulaire sur l'affaissement .....	49
1.7 METHODES DE FORMULATION DES BETONS .....	50
1.7.1. Méthode de Bolomey.....	50
1.7.2. Méthode de Faury .....	50
1.7.3. Méthode de Valette.....	51
1.7.4. Méthode de Dreux-Gorisse.....	51

### ***III . Etude Expérimentale***

III.1 CARACTERISATION ET FORMULATION .....	54
1.1. CARACTERISTIQUES DES MATIERES PREMIERES UTILISENT .....	54
1.1.1. Ciment.....	54
1.1.2. Adjuvant .....	54
1.1.3. Granulats.....	54
1.1.3.1. Gravier.....	55
1.1.3.2. Sables .....	58
1.2. FORMULATIONS DES BETONS .....	61
1.2.1. Formulation de béton témoin .....	61
III.2. PRESENTATIONS DES RESULTATS ET DISCUSSION .....	62
2.1. ESSAIS REALISE A L'ETAT FRAIS .....	62
2.1.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams.....	62
2.1.2. Mesure de la masse volumique.....	62
2.1.3. Essai d'étalement sur table.....	64
2.2. ESSAIS REALISE A L'ETAT DURCI .....	65
2.2.1. Essai de résistance à la compression .....	65
2.2.2. Essai de résistance à la traction .....	67
2.2.3. Mesure de la masse volumique du béton durci .....	68
2.2.4. Mesure de la Porosité .....	68
2.2.5. Mesure de la vitesse de propagation des ondes ultrasons .....	69
CONCLUSION GENERALE .....	71
LISTE DES FIGURES.....	72
LISTE DES TABLEAUX.....	73
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	75

*Introduction*

*Général*

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

Aujourd'hui le béton occupe une importante place dans le domaine de la construction son intérêt réside de sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance en compression, sa durabilité, son ouvrabilité et son coût acceptable, ont contribué à accroître son utilisation pour tous les ouvrages, comme des immeubles de bureaux ou d'habitation, des ponts, des routes, des tunnels, d'aéroports, des barrages, et des ports...etc.

Le béton est un matériau composite et hétérogène résulte d'un mélange intime de ciment, de granulats, d'eau, et présente des propriétés mécaniques qui peuvent être très supérieures à celles des roches naturelles.

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton.

Les pratiques de l'industrie du béton sont conditionnées par les ressources locales et sont relativement routinières. Cependant, 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).

L'objectif de ce travail, est d'améliorer la qualité de béton pour résister plus l'eau de nappe lorsque le béton est en contact directement avec elle ; dans le cas où la nappe d'eau remonte à la surface de terre et lorsque on connaitre l'agressivité des eaux remontés.

Alors notre travail est basé d'augmenter la densité du béton pour objectif de diminuer le vide dans le corps du béton à fin de diminuer l'attaque de l'eau de la nappe ; pour ce objectif on a expérimenté le travail à deux facteurs, l'un par la réduction de la quantité d'eau de gâchage avec l'utilisation d'adjuvant supreplastifiant et l'autre par l'utilisation d'un sable riche en filler tel que le sable artificiel de la carrière de HMD qui contient 17% de fine.

Ce mémoire est composé de trois chapitres ;

Le premier chapitre, est définir le phénomène de remonté d'eau dans la région de la wilaya de Oued Souf.

Le deuxième chapitre, est consacré à une étude bibliographique détaillée sur le matériau béton et ces constituants.

Le troisième chapitre, est consacré à l'étude expérimentale et subdivisé en deux parties :

- La première partie, décrit la caractérisation des matériaux utilisés pour la confection des bétons dans le cadre de ce travail, en présentant leurs propriétés physiques et mécaniques. La méthode de formulation, ainsi que les compositions retenues pour les différents bétons étudiés.
- La deuxième partie, décrit les résultats obtenus et leurs interprétations, à partir de nombreux essais expérimentaux, à l'état frais et à l'état durci sur les différentes formulations du béton.

Finalement, on clôture notre travail par une conclusion générale.

# *Chapitre I*

## *La remonté d'eau*

## **1. Introduction**

Dans la région d'El-Oued (SE Algérie), la rareté des précipitations et l'augmentation de la demande sur l'eau, pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et pour l'industrie, nécessite le recours des ressources en eau profondes, les prélèvements des eaux de complexe terminal et de continentale intercalaire augmentent chaque année. Les quantités d'eaux prélevées sont rejetées directement dans la nappe phréatique sans aucun traitement, avec l'insuffisance de réseau assainissement, le niveau piézométrique commence à monter jusqu'à la surface de sol ou à un niveau proche de la surface de sol. Notre étude, vise à améliorer les caractéristiques de béton pour résister plus les effets de la remontée des eaux de la nappe.

## **2 présentation de la région d'étude**

### **2.1. Situation géographique**

la wilaya El-Oued localisée au Sud Est Algérien et limitée par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa au Nord, Djelfa au Nord-Ouest, Ouargla au Sud et Sud-ouest et la Tunisie à l'Est, elle occupe une superficie de 220Km<sup>2</sup>. La région fait partie de la grande Erg Oriental, qui se caractérise par un ensemble de dunes de sable d'origine Continental et d'âge quaternaire, La pente de la zone d'étude est généralement orienté Sud-Nord.

Le climat de la région est de type saharien, la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 28,4°C, les précipitations sont rares avec une moyenne interannuelle de l'ordre de 70,03 mm.

### **2.2. Cadre hydrogéologique**

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois aquifères; un aquifère libre, et deux aquifères captifs (le complexe terminal "CT" et le continentale intercalaire "CI") . L'aquifère libre est constituée de formations détritiques d'âge Quaternaire et Miopliocène représentées par les: sable, grés, sable argileux, et l'argile sableuse, alors que le substratum est constitué d'argile. La profondeur du substratum est comprise entre 50 et 90 mètres.

### **2.3. Historique de la remontée des eaux dans la zone d'Oued Souf**

Le phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la région d'El-Oued est complexe et s'étend pratiquement sur un demi-siècle. Avant 1956, toute l'eau utilisée pour l'alimentation humaine, animale et l'agriculture provenait de la nappe phréatique. L'augmentation de la population et l'extension des cultures ont conduit à creuser en 1956 le premier forage au Complexe Terminal (CT) pour l'AEP d'El Oued, entre 1957 et 1969, environ un nouveau

forage par an a été exécuté dans le CT, de 1970 à 1980, environ 2 forages par année ont été réalisés dans le CT, dès 1980, on observe les premiers ghouts envoyés à El Oued et une montée progressive et persistante de la nappe phréatique aux portes d'El Oued, ce qui en 1985 alarme les Autorités. Entre 1980 et 1987 une centaine de nouveaux forages sont réalisés dans le CT et trois forages dans Continental Intercalaire (C.I.), ses derniers sont fortement artésiens, et débits de 200 l/s, soit de 5 à 10 fois plus importantes que ceux de CT.

En 1993, la nappe avait envoyé la palmeraie sur 25 km dans le couloir Kouinine-Robbah. A partir de 1993 jusqu'en 2004, une série d'investigations ont été entreprises pour connaître les caractéristiques géométriques et géologiques de l'aquifère, et recensé et les forages existants. A la fin d'investigation une série des mesures telles que ; l'arrêt de nouveaux forages pour l'irrigation dans le CT et le CI, et remplacés par des puits dans la nappe phréatique, la réduction des allocations d'AEP à la population, la construction pour l'agriculture de nouveaux puits améliorés dans la nappe phréatique et la mise en valeur de nouveaux périmètres agricoles ont eu un impact positif avec une stabilisation ou une baisse du niveau piézométrique dans certaines des zones affectées, alors que dans la ville d'El Oued, la nappe continue à monter de 40 à 60 cm par année dans les quartiers les plus touchés de la ville. Devant ce problème une étude a été faite pour effectuer un réseau de drainage vertical dans les centres urbains, constitué de 58 forages débitants de 6 l/s, connecté à 34 km de conduites, l'ensemble des eaux drainées aboutit à la station de pompage qui refoulera vers Chott Halloufa, le réseau de drainage devient opérationnel depuis 2011, et maintien le niveau d'eau à 1m de profondeur sous les zones les plus bas (ghouts).

### **3. qualité des eaux de la nappe phréatique**

les eaux de la nappe phréatique sont très salées et de mauvaise qualité. L'origine de la salinité des eaux de la nappe libre est la dissolution des évaporite et la concentration des sels à la suite de l'évaporation de l'eau dans les zones où la nappe se trouve à une faible profondeur et dans les zones agricoles male drainé où on constate que l'évaporation de l'eau est très important, on ajoute aussi la salinisation des eaux d'origine anthropique, causé par l'évacuation des eaux usées industrielles ou domestiques.

### **4. Conclusion**

La mauvaise gestion des ressources hydriques est la cause principale de la remontée des eaux, la surexploitation des nappes profondes et l'évacuation des eaux résiduelles vers la nappe phréatique avec des quantités énormes dépassent la capacité de transfert hydraulique souterrain de la nappe, vers l'exutoire naturel (chotts). Les conséquences de cette remontées est le noyage des ghouts et la perte des palmeraies dattiers, la propagation de la pollution bactériologique

dans la nappe, la contamination des eaux par les nitrates d'origines domestiques et agricoles, la forte minéralisation d'eau à cause de l'évaporation à partir des surfaces d'eau libres ou de faible profondeur.

Les constructions en béton alors en contact directe avec l'eau de nappe ce qui facilité la corrosion du béton et ce qui facilité aussi l'attaque par les agents agressives existent dans l'eau. Notre étude est pour but d'améliorer les propriétés du béton vis-à-vis à la remontée des eaux.

# *Chapitre II*

## *Etude*

### *Bibliographique*

## II.1. GENERALITE SUR LE BETON

### 1.1. INTRODUCTION

Le béton est un matériau hétérogène multiphasique poreux dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes. Il est constitué d'un mélange de granulats et d'une pâte (ciment, d'eau et éventuellement d'ajouts).

Les granulats sont des matériaux inertes qui, agglomérés par un liant, constituent le squelette du béton, lui confèrent sa compacité, participent à sa résistance mécanique et atténuent les variations volumiques lors du durcissement.

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

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

### 1.2. HISTOIRE DU BETON

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<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> 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.

### 1.3 LES COMPOSANTS D'UN BETON

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier et, le plus souvent, adjuvants 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/m<sup>3</sup> ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0.5 µm (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].

constituants	Volume (%)	Poids (%)
Granulats	60-78	65-85
Ciment	7-14	9-18
Eau	14-22	5-9
Air	1-6	-



Figure II.1: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un Béton ordinaire [3].

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].

### 1.3.1. CIMENT

#### 1.3.1.1. 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) :  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\text{C}_3\text{S}$ ).
- Le Silicate Bicalcique (Belite) :  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\text{C}_2\text{S}$ ).
- L'Aluminate Tricalcique :  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_3\text{A}$ ).
- L'Alumino-Ferrite Tétracalcique :  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_4\text{AF}$ ).

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 ( $\text{SiO}_2$ ) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse.

#### 1.3.1.2. Classification des ciments

- **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 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et d'autres oxydes mais la teneur en ( $\text{SiO}_2$ ) 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 ( $\text{SiO}_2$ ) et d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- ✓ **Cendres Volantes Calcique** : Présentent des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolanique, contenant une teneur en oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ) réactif >10% en masse, le reste était de la silice ( $\text{SiO}_2$ ), d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), d'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

► **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].

- **Classification suivant les résistances à la compression**

La norme européenne [10] classes les ciments courant d'après leur résistance à la compression voir (Tableau II.1)

Tableau II.1: Résistance à la compression des ciments [10].

Classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
23.5N	-	$\geq 16.0$	$\geq 32.5$	$\leq 52.5$
32.5R	$\geq 10.0$	—	$\geq 42.5$	$\leq 62.5$
42.5 N	$\geq 10.0$	—	$\geq 52.5$	—
42.5 R	$\geq 20.0$	—		
52.5 N	$\geq 20.0$	—		
52.5 R	$\geq 30.0$	—		

### 1.3.2. L'EAU DE GACHAGE

L'eau est un des ingrédients essentiels du béton, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. L'eau introduite dans le béton lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation. L'aspect fondamental du dosage en eau reste celui de la recherche d'un optimum sur un objectif contradictoire : une meilleure résistance obtenue en réduisant la quantité d'eau et une amélioration de l'ouvrabilité en augmentant la teneur en eau. C'est lors de la recherche de cet optimum que les adjuvants peuvent jouer un rôle [3].

Le rapport E/C est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ces performances : résistance à la compression, durabilité.

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher le béton. Certes, l'eau potable distribuée par le réseau du service public est toujours utilisable mais, de plus en plus souvent, nous sommes placés devant la nécessité d'utiliser une eau non potable. La norme [11], a permis de préciser à quelles conditions une eau est utilisable.

### 1.3.3. ADDITIONS MINÉRALES

Différentes additions peuvent être mélangées au ciment pour modifier les propriétés du béton frais et durci [12]. Les principales sont les fillers calcaires, la fumée de silice, la pouzzolane naturelle le laitier de haut fourneau et les cendres volantes. Ces additions minérales confèrent

aux bétons frais de meilleures qualités de maniabilité, augmenter la cohésion et entraînent une diminution du ressuage et de la ségrégation du béton [13]. D'un autre côté, les additions minérales améliorent aussi l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques [14].

### **1.3.4. GRANULAIRE**

#### **1.3.4.1. Définition**

La plupart des définitions relatives aux granulats sont empruntées du texte de la norme [15]. Un granulat est un ensemble de grains compris entre 0 et 125 mm, ci des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (Gros et Fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. Il y a deux Intérêts d'utiliser des granulats dans le béton :

Le 1<sup>er</sup> économique : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ;

Le 2<sup>ème</sup> technique : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton  
(les granulats sont plus rigides que la pâte de ciment) [16].

#### **1.3.4.2. Différents types de granulats**

Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle :

- Naturels : lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions) ;
- Artificiels : lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais.

#### **A. Granulats naturels courants**

Ils n'ont subi que des opérations de transformation de type mécanique: concassage, criblage, lavage...

On les distingue selon leur origine :

### A.1. Origine minéralogique

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzs et quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

### A.2. Origine « d'extraction »

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories:

- ❖ **Les granulats alluvionnaires, dits roulés** : dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et cribléton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires [16].

Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature :

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



FigureII.2 : Exemple des granulats alluvionnaires naturels [16].

- ❖ **Les granulats concassés (de carrière)** : sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donnent des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres: origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage [17].



Figure II.3 : Exemple des granulats de carrière.

Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues [18].

## **B. Les granulats artificiels**

On distingue :

### **B.1. Sous-produits industriels, concassés ou non**

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau.

La masse volumique apparente est supérieure à  $1250 \text{ kg/m}^3$  pour le laitier cristallisé concassé,  $800 \text{ kg/m}^3$  pour le granulé [19].

### **B.2. Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement**

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels, ou granulats réfractaires [19].

### **B.3. Granulats allégés par expansion ou frittage**

Ces granulats [19], très utilisés dans de nombreux pays comme l'URSS ou les Etats- Unis, n'ont pas eu en France le même développement, bien qu'ils aient des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressants. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé et le laitier expansé. D'une masse volumique variable entre  $400$  et  $800 \text{ kg/m}^3$  selon le

type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique.

#### **B.4. Les granulats très légers :**

Ils sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé). Très légers (20 à 100 kg/m<sup>3</sup>), ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m<sup>3</sup>. On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrants, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants [20].

#### **1.3.4.3. Caractéristiques principales des granulats**

Les granulats utilisés dans la construction doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. Les propriétés des granulats sont liées aux caractéristiques intrinsèques des roches originales et aux caractéristiques de fabrication.

Le prélèvement d'un échantillon pour les caractérisations des granulats doit se faire conformément aux normes [21,22] relatives au prélèvement par "échantillonneur" ou par "quartage".

#### **A. Caractéristiques géométriques**

##### **A.1. Classe granulaire**

Les granulats sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par criblage sur les tamis à mailles dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres (mm) [23].

Le terme granulat d/D est réservé aux granulats dont les dimensions s'étalent de d pour les petits éléments à D pour les gros éléments. La norme expérimentale [24] précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles.

La norme [24] distingue quatre familles de granulats: les fillers, les sablons, les sables et les gravillons, et également quatre catégories pour les granulats naturels A, B, C et D [23].

- ✓ Filler 0/D                    pour D < 2 mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm ;
- ✓ Sablon 0/D                    pour D < 1 mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm ;
- ✓ Sable 0/D                      lorsque D est tel que : 1 mm < D ≤ 6,33 mm ;
- ✓ Graves 0/D                    lorsque D > 6,3 mm ;

- ✓ Gravillons d/D      lorsque  $d \geq 1$  mm et  $D \leq 125$  mm ;
- ✓ Ballast d/D        lorsque  $d \geq 25$  mm et  $D \leq 50$  mm.

la classe des granulats est définie par tamisage au travers d'une série de tamis dont les mailles ont les dimensions suivantes en (mm) : [23]

0.063 ; 0.08 ; 0.100 ; 0.125 ; 0.160 ; 0.200 ; 0.250 ; 0.315 ; 0.40 ; 0.50 ; 0.63 ; 0.80 ; 1.00 ;  
1.25 ; 1.60 ; 2.00 ; 2.50 ; 3.15 ; 4.00 ; 5.00 ; 6.30 ; 8.00 ; 10.00 ; 12.50 ; 16.00 ; 20.00 ; 25.00 ;  
31.50 ; 40.00 ; 50.00 ; 63.00 ; 80.00 ; 100.00 ; 125.00.

## A.2. Granulométrie :

L'analyse granulométrique est régie par les normes [25,26]. Les granulats sont désignés par d et D, ou d et D représentent la plus petite et la plus grande des dimensions demandées [27].

L'analyse granulométrique consiste à fractionner le matériau en différentes coupures au moyen de tamis [28]. Les masses des différents refus sont rapportées à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique) [27]. Une bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour obtenir un béton maniable [23].

Les tamis sont définis par la norme [26]. Les ouvertures de mailles permettent un classement granulaire.

- ✓ Le module d'un tamis dans le cas de l'ancienne série française, est le produit par 10 du logarithme décimal de l'ouverture exprimée en micron augmentée d'une unité.
- ✓ Le tamisage est l'opération qui consiste à séparer un matériau en différentes fractions au moyen d'une série de tamis de caractéristique connues [27].
- ✓ En appelle tamisat la partie des granulats qui est passée à travers le tamis et refus la partie qui est restée sur le tamis [27].
- ✓ La courbe granulométrique donne les pourcentages cumulés en masse, de grains passant dans les tamis successifs.

On trace la courbe granulométrique sur un graphique comptant en ordonnée le pourcentage des tamisats sous les tamis dont les mailles D sont une progression géométrique de raison [23].

La figure suivant montre des exemples de fuseaux granulaires à l'intérieur desquels doivent se trouver les fuseaux de fabrication de granulats.

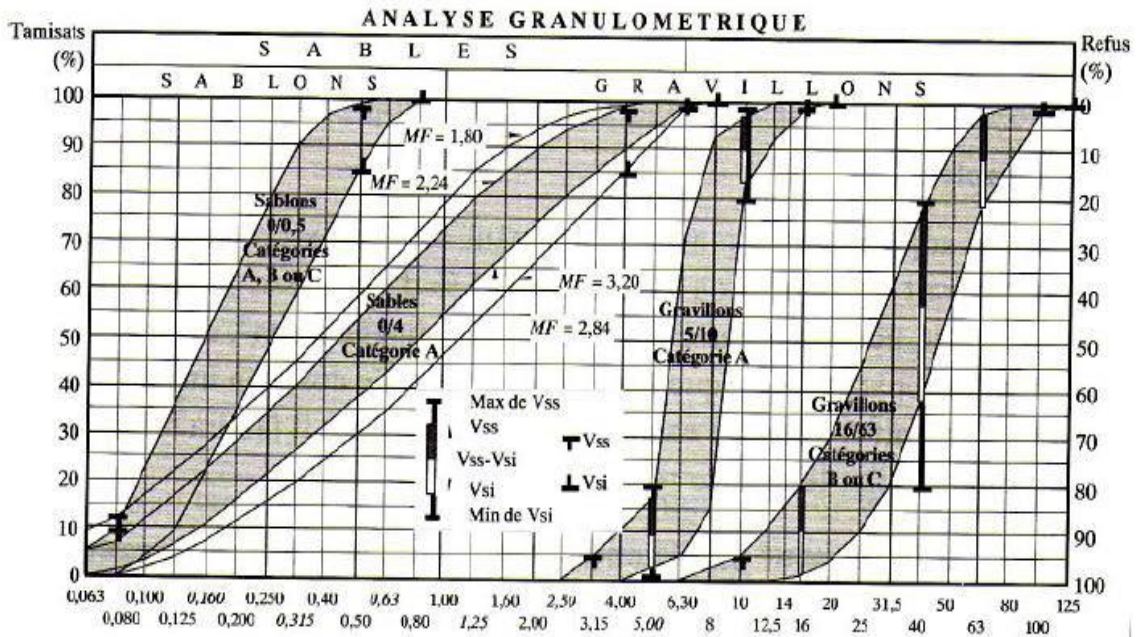


Figure II.4 : Exemple de courbe granulaire des granulats pour béton [23].

**A.3. Module de finesse d’un sable (Mf):**

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l’importance des éléments des fins dans un granulat. Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis [29]. Le Tableau II.2 présente la série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse selon la norme prise en compte [23, 27].

Le Module de finesse d’un sable donne par la formule suivant :

$$MF = \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis.}$$

Tableau II.2 : Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable.

01 Tamis	0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 et 5 mm	[29]
02 Tamis	0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 et 4 mm	[30]

Des recherches sur l’influence de la finesse des sables sur les diverses qualités du béton ont conduit à délimiter certains fuseaux de granularités admissibles.

- La partie central A ( $2.2 < MF < 2.8$ ) convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limité [23].
- La partie central B ( $1.8 < MF < 2.2$ ) est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance [23].
- La partie central C ( $2.8 < MF < 3.2$ ) correspond à des sables à utiliser pour la recherche de résistance élevées, mais on aura, en général, une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation [23].

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2.2 à 2.8 ; au-dessus, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité [23].

- **La Correction d'un sable**

Il n'est pas rare d'avoir un sable disponible présentant un "Mf" non satisfaisant. Une façon de le rendre convenable consiste à le mélanger à un autre sable de telle sorte que la combinaison des deux "Mf" permette l'obtention du "Mf" escompté. On utilise pour cela la méthode d'ABRAMS. C'est une règle de mélange de granulats basée sur l'obtention d'un module de finesse global à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à mélanger.

On dispose de deux sables "S1" et "S2" de module de finesse respective "Mf<sub>1</sub>" et "MF<sub>2</sub>".

On désire obtenir un mélange granulaire "S" de module de finesse "Mf".

#### **A.4. Forme des granulats :**

La forme des granulats a une incidence sur la maniabilité du béton, la forme la plus souhaitable se rapprochant de la sphère ; une mauvaise forme (aiguilles, plats) nécessite une quantité d'eau plus élevée et peut provoquer des défauts d'aspect [23].

La forme d'un élément granulométrique est définie par ses trois caractéristiques dimensionnelles principales, voir la figure (I.7) :

- ✓ Sa longueur L ;
- ✓ Son épaisseur E qui est le plus petit ; écartement d'un couple de plans tangents parallèles ;
- ✓ Sa grosseur G.

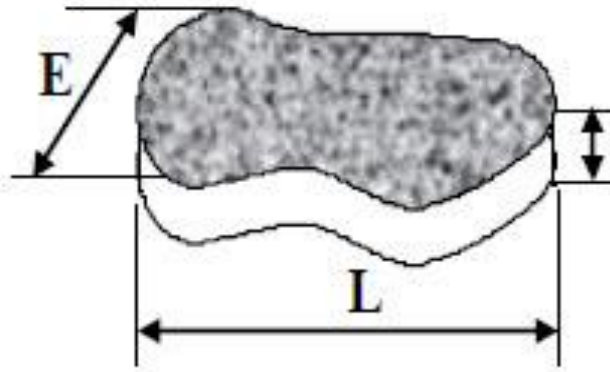


Figure II.5 : forme d'un granulats [19].

#### A.5. Le coefficient d'aplatissement (A)

Le coefficient d'aplatissement caractérise donc la forme des granulats à partir de leur plus grande dimension et de leur épaisseur est par définition le pourcentage d'éléments tels que  $G/E > 1.58$ , [23]. (G représentant en fait la dimension de la maille carrée minimale au travers de laquelle passe l'élément). Le coefficient A est déterminé selon la norme [31] par un double tamisage. Puis par un second tamisage des refus retenus sur les différents tamis sur une série de grilles à fentes parallèles, le rapport entre les dimensions des tamis et des grilles étant de 1.58 L'ancienne norme [P 18 541] spécifiait que la valeur du coefficient d'aplatissement doit être  $A \leq 30 \%$  [23].

- ❖ La forme des granulats influence: La facilité de mise en œuvre et le compactage du béton et La compacité du mélange, donc le volume des vides à remplir par la pâte de ciment.
- ❖ L'état de surface des grains influence: La compacité du mélange et l'adhérence du granulats à la pâte de ciment et La forme est d'autant meilleure qu'elle est proche d'une sphère ou d'un cube.

### B. Caractéristiques physiques

#### B.1. La Masse Volumique Apparente (en vrac)

La masse volumique en vrac doit être déclarée et déterminée conformément à la norme européenne [32]. La masse sèche des granulats remplissant un conteneur spécifié est déterminée par pesage et la masse volumique en vrac correspondante est calculée. Le pourcentage de porosité inter granulaire se calcule à partir de la masse volumique en vrac et de la masse volumique réelle.

La Masse Volumique Apparente donne par la formule suivant :

$$Mv_{app} = (M_2 - M_1) / V$$

L'essai de La Masse Volumique Apparente doit être réalisé selon la norme [32].



Figure II.6 : détermination de la masse volumique apparente.

## B.2. La Masse Volumique Absolue :

La masse volumique Absolue doit être déclarée et déterminée conformément à la norme européenne [33]. La Masse Volumique Absolue donne par la formule suivant :

$$Mv_{abs} = M / (V_2 - V_1)$$

L'essai de La Masse Volumique Absolue doit être réalisé selon la norme [33].

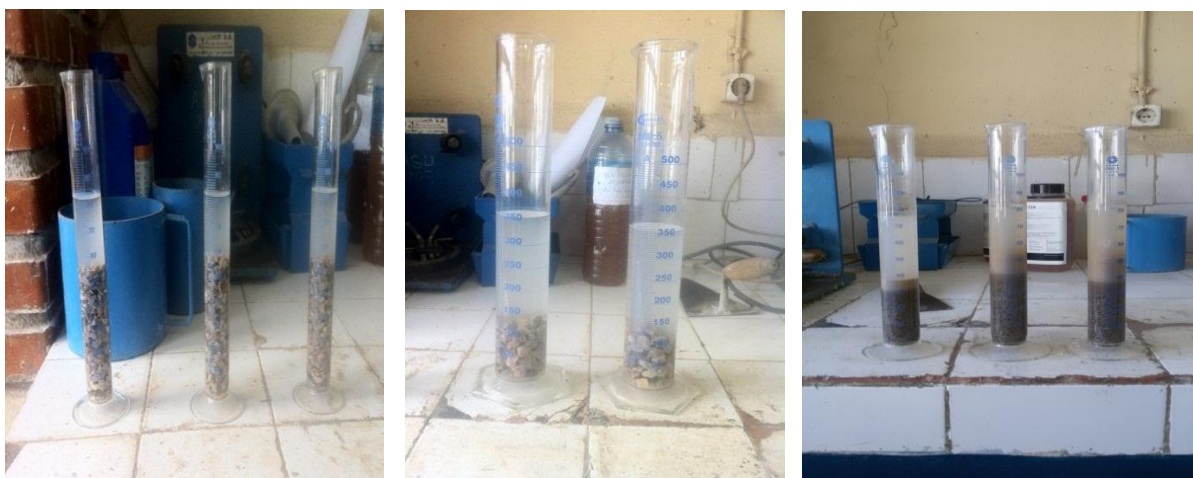


Figure II.7 : détermination de la masse volumique absolue.

### B.3. Propreté des granulats :

La qualité des granulats utilisés dans les bétons est un facteur très important. Trois grandes catégories d'impuretés peuvent être rencontrées dans les granulats: matières organiques, les argiles et les matériaux fins (issues du concassage ou du broyage des roches). Leur présence à la surface des granulats interférant avec le processus d'hydratation du ciment et empêche la bonne adhérence granulats-liants, entraînant ainsi une chute des résistances mécaniques et des variations de propriétés rhéologiques des mélanges. De telles impuretés semblent être plus courantes dans les sables que dans les gros granulats, plus facilement lavés [18].

**B.3.1. Pour les cailloux et gravillons :** c'est le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm ; le seuil est fixé à 2 % et 5 % pour des granulats concassés [16].

**B.3.2. Pour un sable :** la propreté est définie par l'essai d'équivalent de sable et l'essai au bleu de méthylène [16].

- **Equivalent de sable (ES)**

L'équivalent de sable est un rapport conventionnel volumétrique multiplié par 100 entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins. Il existe deux types de mesures en fonction du degré d'argilosité du matériau : l'essai visuel et l'essai au piston [27, 28]

Actuellement, trois textes réglementaires décrivent cet essai :

- ✓ équivalent de sable [34] ;
- ✓ équivalent de sable à 10% de fines [35] ;
- ✓ évaluation des fines - équivalent de sable [36].

L'équivalent de sable est un rapport conventionnel volumique entre les grains fins et les autres. Il permet donc de caractériser l'importance des fines par une valeur numérique [27].

Cet essai rend compte globalement de la quantité des éléments les plus fins contenus dans les granulats, en exprimant un rapport conventionnel volumique entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins (ex argile). Les éléments sableux, éléments grenus et non flocculables qui sédimentent dans le fond de l'éprouvette. Les éléments fins, éléments formant le flocculat, qui restent en suspension dans la solution [27].

Plus l'équivalent de sable est élevé, moins le matériau contient d'éléments fins nuisibles. Il s'applique assez bien aux sols faiblement plastiques et peut s'appliquer à tous les matériaux grenus. Il s'effectue sur les fractions inférieures à 5 mm [23].

L'équivalent de sable donne par la formule suivant :

$$ES = H2/H1*100$$

L'essai de L'équivalent de sable doit être réalisé selon la norme [34].



Figure II.8 : L'essai au piston de l'équivalent de sable.

Tableau I.3 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par G. DREUX [23].

PS	Nature et qualité du sable
< 60	Sable argileux risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.
$60 \leq PS < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
$70 \leq PS < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$PS > 80$	Sable très propre l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

- **Essai au bleu de méthylène**

Cet essai permet contrairement à l'ES de faire la distinction entre les différents types d'argile contenus dans un sable. Le bleu de méthylène étant absorbé préférentiellement par les argiles du type Montmorillonites (argiles gonflantes et les matières organiques. Les autres argiles (kaolinites) sont peu sensibles au bleu [27].

L'essai au bleu de méthylène est pratiqué selon la norme [37] sur la fraction granulaire (0/2 mm) des sables courants (**VB**) ou sur les fillers (0/0,125 mm) contenus dans une sable filerie, un gravillon ou un tout venant (**VB<sub>F</sub>**) [27]. La valeur limite selon les spécifications pour les bétons hydraulique est égale à 01 [23].

L'essai de bleu de méthylène doit être réalisé selon la norme [37].



*Figure II.9 : Appareil pour détermine la valeur de bleu méthylène.*

### **C. Caractéristiques mécaniques (résistance à l'usure et aux chocs)**

Ce sont des essais importants pour les granulats routiers. En effet, le passage répété de véhicules conduit à émousser, à polir progressivement les granulats et ainsi à diminuer l'adhérence des pneumatiques sur la chaussée. Ces caractéristiques permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans la confection de bétons.

#### **C.1. Essai Micro Deval**

Cet essai permet de mesure 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 [27]. Selon les normes [38,39], doit être 35% pour les granulats naturels. Le coefficient micro-Deval ( $M_{DE}$ ) donne par la formule :

$$M_{DE} = m/M \times 100$$

L'essai Micro Deval doit être réalisé selon la norme [39].



Figure II.10 : Machine D'essai Micro Deval.

## C.2. Essai Los Angeles

Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant le matériau à une série de chocs et de frottement dans la machine Los Angeles (LA). À un coefficient Los Angeles faible correspond un excellent matériau [27]. Selon les normes [40,41] Le coefficient Los Angeles doit être  $\leq 40$  pour les granulats naturels type B.

Le coefficient Los Angeles (**LA**) donne par la formule :

$$LA = m/M \times 100$$

L'essai Essai Los Angeles doit être réalisé selon la norme [41].



Figure II.11 : Machine D'essai Los Angeles.

### 1.3.5. ADJUVANTS

#### 1.3.5.1. 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 2.5% du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci [42].

#### 1.3.5.2. Classification des adjuvants

La norme [43] 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 [44].

- **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 [45].
- **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 [46].

**A. 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 adjuvanté 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].

## B. 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].

### 1.3.5.3. Utilisations des différents types des adjuvants :

Tableau II.3 : Différentes utilisations de différents types d'adjuvants [23].

Adjuvants	Utilisation
plastifiants	Béton pour dallages (béton pompé). Béton maigre (blocs manufacturés) Béton très ferrailé.
super plastifiants	Bétons à compacité, et donc durabilité. Bétons à haute performance. Bétons autoplaçants.
accélérateurs	Décoffrage rapide (réduction du temps de prise). Bétonnage par temps froid. Mise du béton hors- gel. En préfabrication : augmentation de la rotation des coffrages. Travaux d'étanchement, travaux à la mer (entre deux marées). Réparations rapides, remises en circulation rapide des routes
Retardateurs	Les bétons mis en place sur de fortes épaisseurs (ouvrages d'art, barrages..). Tout bétonnage par temps chaud. Transports de béton sur de longues distances. Bétons injectés en continu. Mortiers stabilisés utilisables plusieurs jours sur chantier.
entraîneurs d'air	Les barrages, Les routes, Les ponts., Les travaux maritimes. Les travaux en montagne. Les ouvrages exposés au gel et à l'action des eaux agressives.

On distingue essentiellement l'adjuvant haut réducteur d'eau (super plastifiant). Le dosage en adjuvant n'excède pas 2.5 % 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 permettent 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 sulfonâtes de mélamine (MS), les polymères carboxyliques d'éther (PCE).

## **1.4. DIFFERENTS TYPES DE BETONS**

### **1.4.1. 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  $20 \text{ MPA} \leq f_{c28} \leq 50 \text{ MPA}$  [51].

### **1.4.2. Béton léger**

Les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage  $2100 \text{ kg/m}^3$ . Parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique [52].

### **1.4.3. Béton lourd**

C'est un béton dont la masse volumique est supérieure à  $2600 \text{ kg/m}^3$ , les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau [23].

#### 1.4.4. 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 [54].

#### 1.4.5. 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 [55].

#### 1.4.6. Béton de fibre

Béton dans lequel sont incorporées des fibres, ce qui permet suivant l'ouvrage de supprimer le treillis soudé traditionnel [56].

#### 1.4.7. 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 [57].

### 1.5. PROPRIETES ESSENTIELLES D'UN BETON

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

### 1.5.1. PROPRIETES DU BETON 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 [58]. 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 dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques-uns, les plus couramment utilisés dans la pratique. [59], [60].

#### 1.5.1.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams

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 ( $D = 20 \text{ cm}$ ,  $d = 10 \text{ cm}$ ,  $h = 30 \text{ cm}$ ), 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 I.14). On soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l'affaissement.



Figure II.12 : Mesure d'affaissement au cône d'Abrams.

Tableau II.4 : 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	

### 1.5.1.2. La masse volumique du béton frais

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

$$D = (M_2 - M_1) / V$$

Où

**D** : la masse volumique du béton frais, en (kg/m<sup>3</sup>) ;

**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 litres (l) ;

Calcul de la masse volumique doit être réalisé selon la norme [62].



Figure II.13 : Mesure de la masse volumique à l'état frais.

### **1.5.2. PROPRIETES DU BETON 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.

#### **1.5.2.1. 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 07 et 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 cubique de 10x10x10 cm. Après la mise en place du béton, les éprouvettes sont maintenues pendant 24 heures, dans leurs moules .

Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau la nappe phréatique en trois zones, la 1ere série a été immergée dans la région de Sidi Mastour, la 2eme série a été immergée dans la région de Telaïba et 3eme série a été immergée dans la région de Chout jusqu'à la date des écrasements une autre série a été immergée dans l'eau de robinet.

L'essai d'écrasement doit être réalisé selon les normes [64,65].

#### **1.5.2.2. 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 [66]. La résistance à la traction peut être déterminée par différents essais [23] :

- **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 :

$$F_{ct} = 2 F / \pi D L$$

Où :

$F_{ct}$  : est la résistance en traction par fendage, en (MPa) ou en ( $N/m^2$ ) ;

$F$  : 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.14 : Machine d'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 :

$$F_t = 3 F L / 2 b h^2$$

Où :

$F_t$  : est la résistance en traction par fendage, en (MPa) ou en ( $N/mm^2$ ) ;

$F$  : 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 [67]



Figure II.15 : Machine d'essai de Traction par flexion.

### 1.5.2.3. 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 :

$$D = M/V$$

Où :

$D$  : est la masse volumique, en ( $kg/m^3$ ), pour un état de l'échantillon et une méthode de détermination du volume donnees ;

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

$V$  : est le volume de l'échantillon, en ( $m^3$ ), déterminé selon la méthode choisie.

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



Figure I.21: Mesure de la masse volumique du béton durci.

#### 1.5.2.4. 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.

#### 1.5.2.5. 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.5). Mesure du temps de propagation de la première impulsion d'un train d'ondes appelées ondes longitudinales, généré par un transducteur, 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 [69]. Consiste à presser les deux têtes sur les faces des éprouvettes, donc la surface du béton est bien nettoyée. En utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission du son. La vitesse de propagation est donnée par l'équation suivante :

$$V = L / t$$

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).

L'essai de la vitesse de propagation doit être réalisé selon la norme [70].

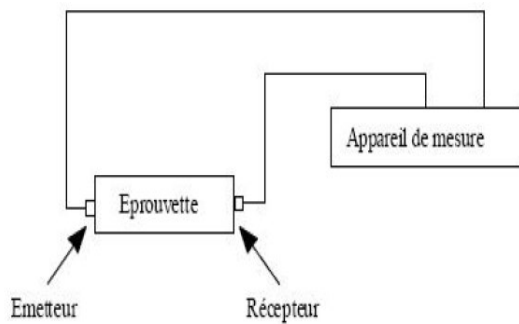


Figure II.17 : principe d'utilisation [69].

Figure II.18 : l'appareille Ultra Son.

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM (voir figure II.19) 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.5 : Classements qualitatifs du béton selon la vitesse de propagation [69].

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.

Estimation de la résistance du béton selon RILEM

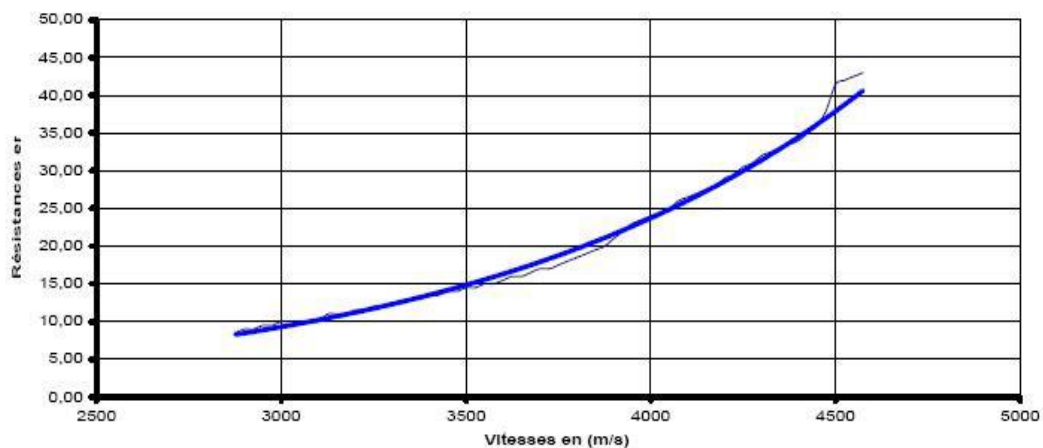


Figure II.19 : Courbe RILEM. [69].

## 1.6. PARAMETRES QUI INFLUENT SUR LES CARACTERISTIQUES DU BETON

### 1.6.1. Influence du rapport eau/ciment (E/C)

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides. Au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent [71]. Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais. Le dosage du ciment est très souvent relié aux propriétés mécaniques du béton et à sa durabilité. On considère aussi que l'écoulement et l'ouvrabilité du béton sont reliés au rapport E/C. La formulation des bétons ordinaires doit impérativement passer par l'optimisation de ces paramètres.

Neville [72], a montré que la courbe qui représente la résistance en fonction du rapport E/C avait l'allure d'une hyperbole. Le même auteur a montré que cette relation ne dépendait ni du type des granulats utilisés ni de l'âge du béton. Ce résultat a aussi été trouvé par Boukli Hacene [3] qui a montré aussi que cette relation dépend très peu du dosage en ciment (figure II.20).

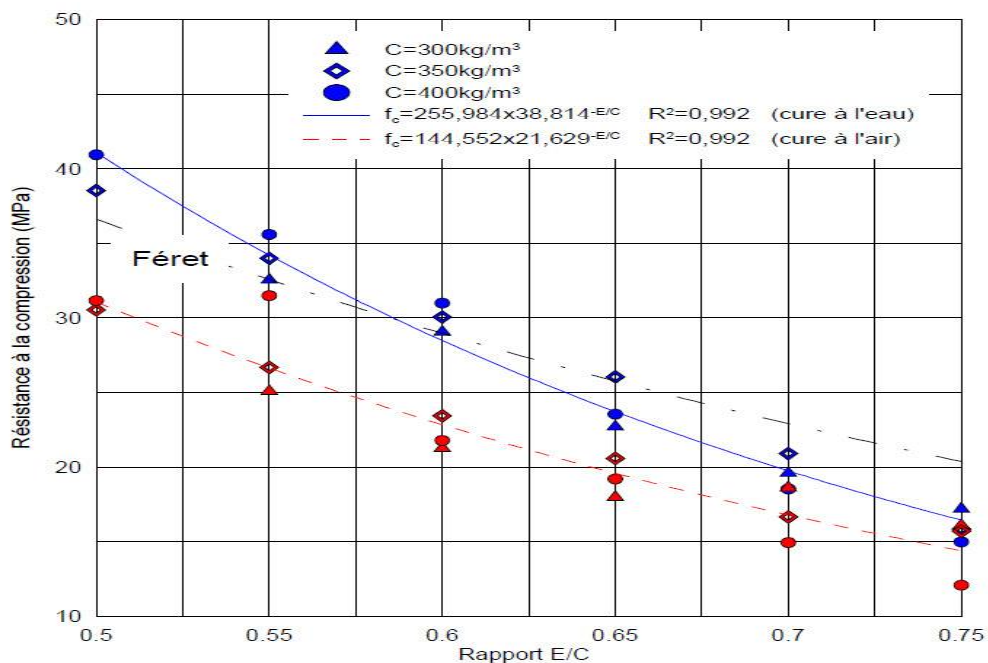


Figure II.20 : Relation entre la résistance à la compression à 28 jours et le rapport eau/ciment [3]

Cependant d'autres auteurs ont montré que la relation était plutôt linéaire pour des valeurs du rapport C/E compris entre 0.4 et 0.85 (figure II.21) [73].

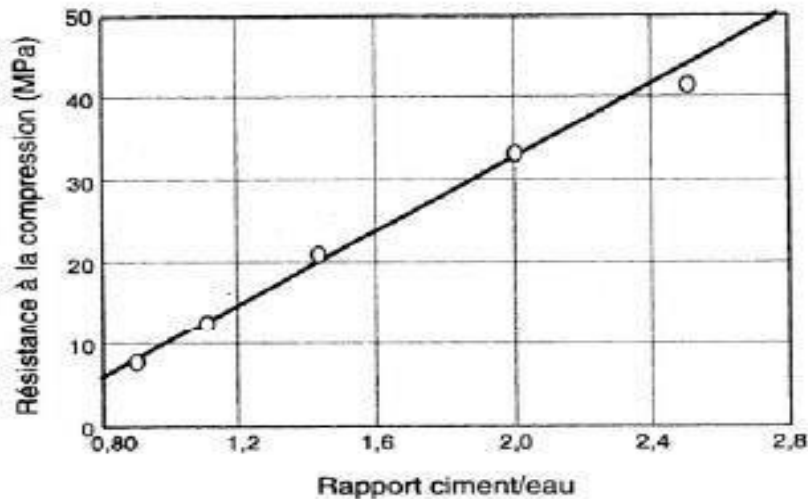


Figure II.21 : Relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E [72].

Nielsen [74] a montré que la linéarité de la relation entre la résistance et le rapport (C/E) n'est plus valable pour des rapports C/E supérieurs à 2,6, ce qui correspond à un rapport E/C égale à 0,38. Comme on le voit sur la (figure II.22), pour des rapports C/E supérieurs à 2,6, la relation avec la résistance est quelque peu différente même si elle demeure linéaire.

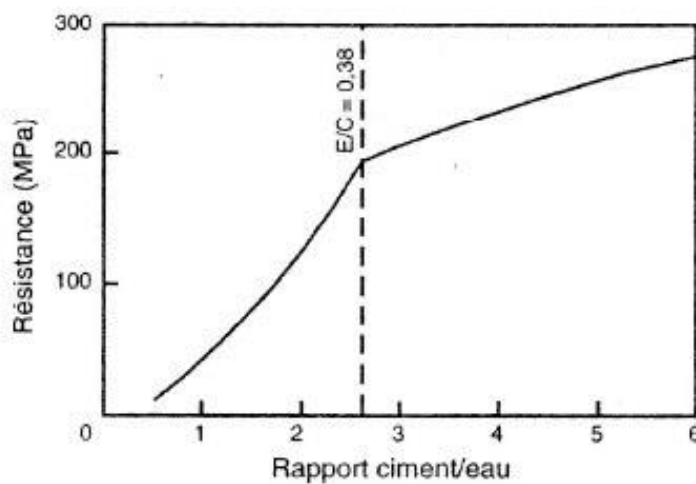


Figure II.22: Relation entre la résistance calculée d'une pate pure de ciment et le rapport C/E [74].

La (figure II.23) montre que la relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E d'après la formule de Bolomey est linéaire et croissante surtout dans l'intervalle de C/E entre 1,5 et 2,5 c'est-à-dire entre 0,4 et 0,66 pour E/C.

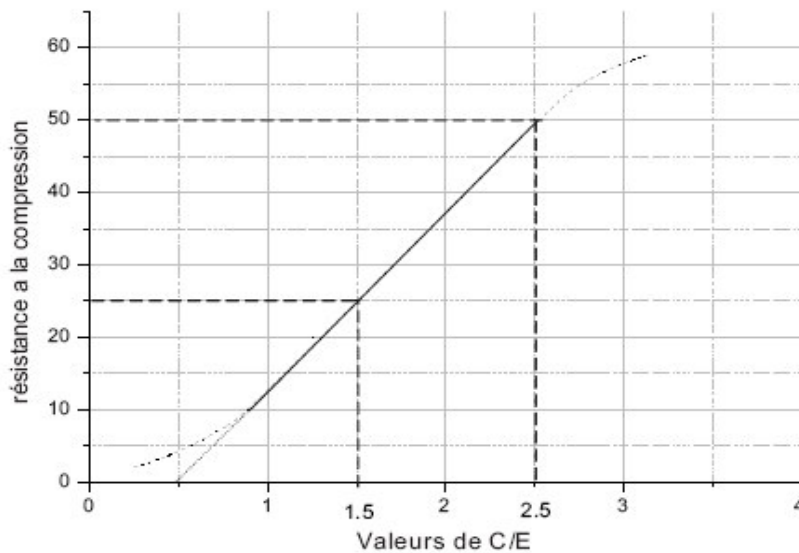


Figure II.23: La relation entre C/E et la résistance à la compression ( $f_c$ ) d'après la formule de Bolomey [23].

$$F_c = G \times CE (C / E - 0.5)$$

G : coefficient de granularité égale à 0.5.

CE : classe vraie du ciment, égale à 50 MPA.

Le rapport E/C conditionne aussi la porosité de la matrice cimentaire du béton durci, qui est un paramètre qui influe beaucoup sur la durabilité du béton [75].

### 1.6.2. Influence du dosage en ciment

Pour un dosage en eau constant, l'augmentation du dosage en ciment du béton aura pour conséquence de diminuer le rapport E/C du béton, ce qui se traduira nécessairement par une augmentation de la résistance à court terme [76].

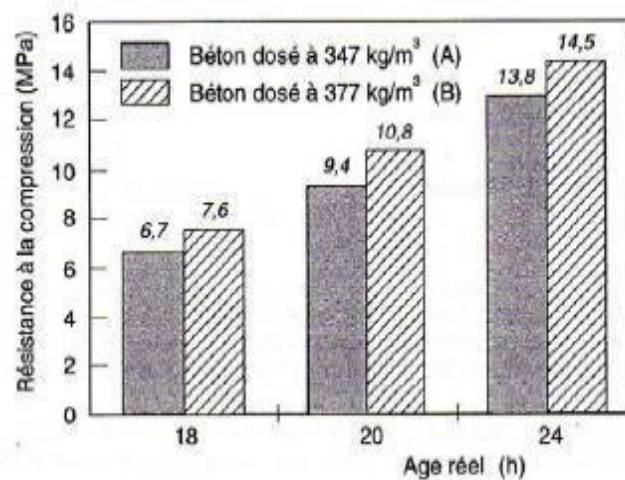


Figure II.24 : Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression au jeune âge du béton [76].

La (figure II.25) montre l'influence du dosage en ciment sur les résistances à court terme et sur le rapport E/C du béton [76].

Nombreux sont les textes réglementaires qui spécifient des dosages minimaux en ciment tel que :

- la norme P 18 011 sur la classification des environnements agressifs qui spécifie les dosages suivants :

$C \geq 500/\sqrt[5]{D}$  pour des environnements à moyenne agressivité

$C \geq 700/\sqrt[5]{D}$  pour des environnements à forte et très forte agressivité.

D : Dimension maximale des granulats.

Baron et Ollivier [76] ont montré que l'augmentation du dosage en ciment amène à réduire le rapport E/C pour obtenir le même affaissement. En effet, un béton dosé à 377 kg/m<sup>3</sup> de ciment a nécessité une teneur en eau de 192 l (soit E/C = 0,5) pour obtenir un affaissement de 7 cm. Le même affaissement a été obtenu pour un béton dosé à 347 kg/m<sup>3</sup> et un volume d'eau de 186 l (E/C = 0,53). Cela s'explique par une plus grande quantité de liant qui disperse les granulats et améliore la fluidité.

### 1.6.3. Influence du type de ciment

La démarche de formulation d'un béton passe par le choix du type de ciment. Plus la classe de résistance est élevée et plus la résistance à la compression est élevée, à toutes les échéances. L'influence de ce paramètre sur la résistance à court terme est présentée sur la (figure II .25).

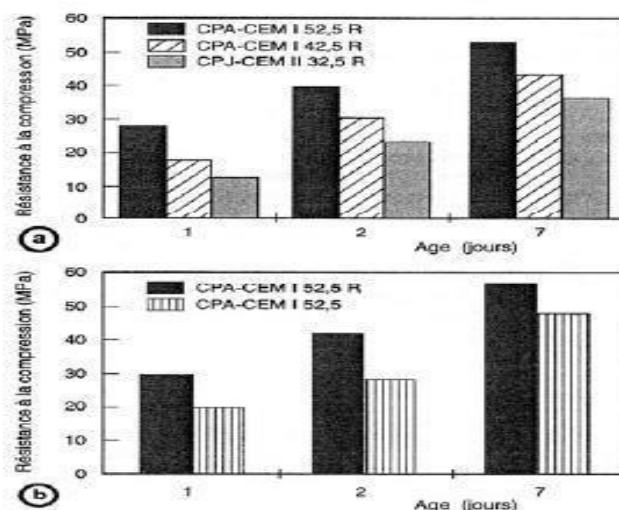


Figure II.25 : Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme [76].

Cette figure montre que le choix d'un ciment CPA-CEM I 52,5 R développera à dosage identique dans le béton des résistances à court terme considérablement supérieures à celles d'un ciment CPJ-CEM II 32,5 R. De même, un CPA-CEM I 52,5 R développe des résistances à court terme beaucoup plus rapidement qu'un CPA-CEM I 52,5N tout en présentant à 28 jours des résistances équivalentes [76].

#### 1.6.4. Influence du squelette granulaire

Moins influente que le dosage en ciment ou le dosage en eau, la composition granulométrique du mélange n'intervient que d'une manière relativement faible sur la plupart des propriétés du béton. Sauf pour la résistance à la compression où nous pouvons voir (fig. II.26) que pour des valeurs de (G/S) supérieures à « 2.2 » la résistance à la compression augmente considérablement, une augmentation certainement positive mais prise sur le compte de l'ouvrabilité, parce qu'en pratique on ne dépasse pas les valeurs de 1.5 à 1.6 pour avoir un béton ouvrable [23].

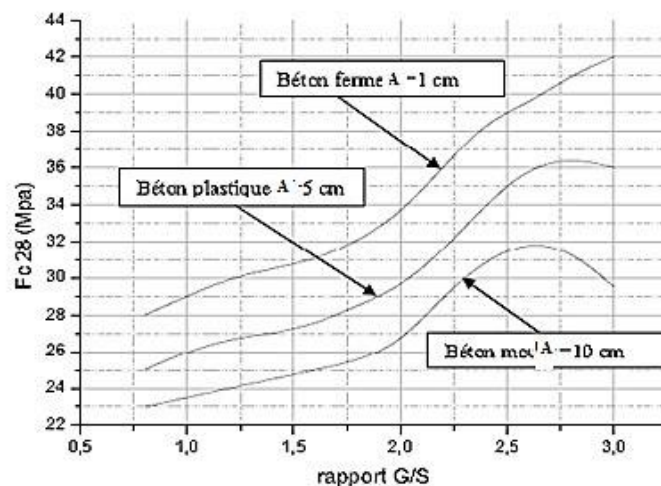


Figure II.26 : Variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction du rapport G/S [23].

#### 1.6.5. Dimension maximale des granulats Dmax

L'utilisation des granulats de dimension maximale contribue de façon très significative à l'augmentation de la résistance du béton. Mais cela reste dans les limites de la faisabilité, parce que le choix de D max reste conditionné par le [BAEL 91] :

- L'ouvrabilité demandée
- Les dimensions de l'ouvrage et l'épaisseur des pièces
- L'espacement des armatures
- L'enrobage des armatures

L'effet négatif de l'augmentation de la dimension maximale du granulat dans le béton s'applique à l'échelle de toutes les grosseurs, mais l'effet de la dimension des grains sur la diminution de la demande en eau est particulièrement important en dessous de 38,1 mm (figure II.27). Pour des dimensions supérieures, le bilan des deux effets dépend du dosage du béton [76].

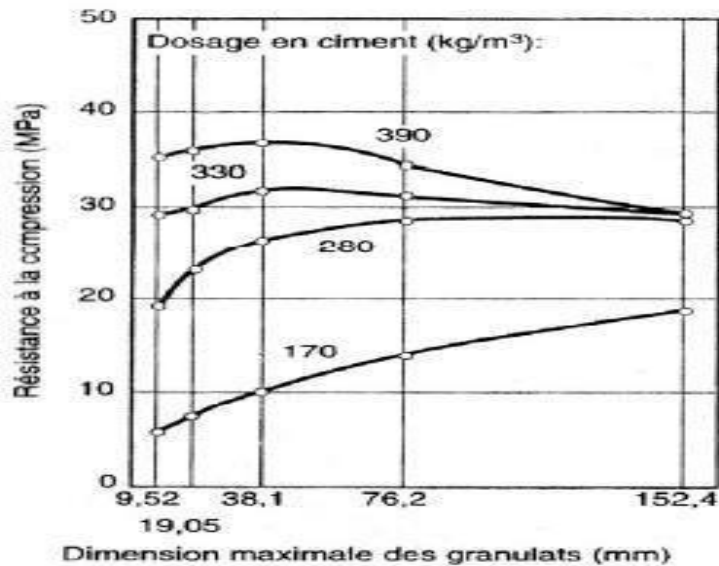


Figure II.27: Influence de la dimension maximale du granulat sur la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosage en ciment [72].

### 1.6.6. Influence du squelette granulaire sur l'affaissement

Une étude réalisée sur des bétons autoplaçants a fait ressortir que l'augmentation de la fraction volumique granulaire avait une influence négative sur les propriétés rhéologiques des bétons [77]. Cependant l'optimisation du squelette granulaire et par conséquent le paramètre G/S est essentielle pour améliorer la fluidité du mélange [3].

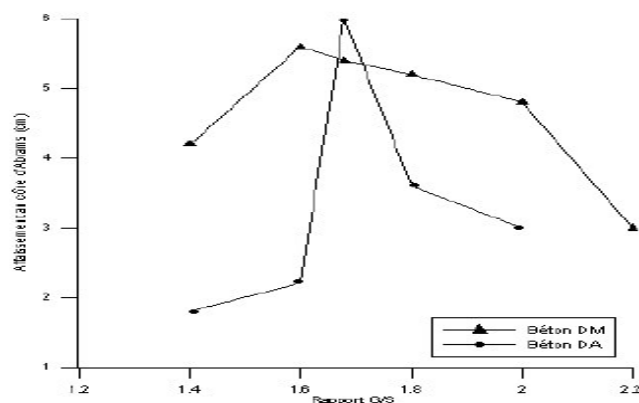


Figure II.28: Optimisation du rapport G/S en fonction de l'affaissement [3].

## 1.7. METHODES DE FORMULATION DES BETONS

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

### 1.7.1. Méthode de Bolomey

Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et d'où s'efforce de réaliser avec des granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris), dont la courbe soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique [23]. La formule de base est la suivante :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{d/D}$$

Où :

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

**d** : Le diamètre du plus petit granulat.

**D** : Le diamètre du plus gros granulat.

**A** : varie de 8 à 16. Sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Cette méthode aboutit théoriquement tout au moins à une granularité continue.

### 1.7.2. Méthode de Faury

En 1942 Faury [23], proposa une nouvelle loi de granulation du type continu.

Il s'inspirait pour cela de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen.

La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de  $5\sqrt{d}$ . La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ( $<D/2$ ), des gros grains ( $>D/2$ ) et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace pour l'ensemble du mélange, ciment compris une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse  $5\sqrt{d}$ .

L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à  $D/2$  et son ordonnée  $Y$  est donnée par la formule suivante :

$$Y = A + 17.5 \sqrt{D} + \frac{B}{\frac{R-0.75}{D}}$$

**A** : constante, traduisant la maniabilité du béton ;

**B** : Varie de 1 à 2 selon que le béton ferme au no ;

**D** : Exprimé en dimension de passoire ;

**R** : Le rayon moyen du moule.

### 1.7.3. Méthode de Valette

Valette [23] a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite certains nombres de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum des sables » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

On calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment. On ajoute ensuite, le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment.

### 1.7.4. Méthode de Dreux-Gorisse

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].

Elle est d'autre part très simple d'utilisation puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés.

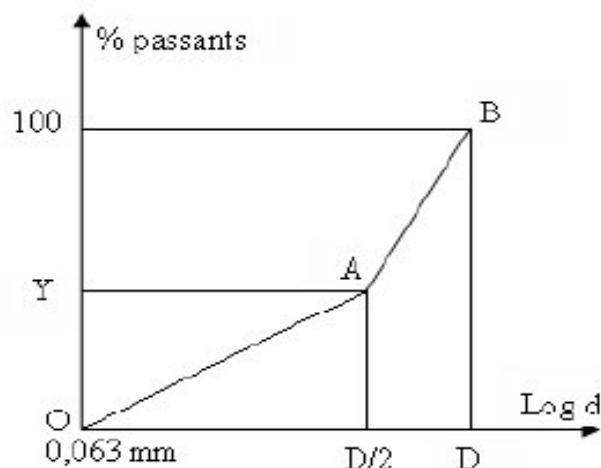


Figure II.29: Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse [23].

Sur un graphe d'analyse granulométrique type AFNOR (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), on trace une composition granulaire de référence OAB. Le point B (à l'ordonnée 100%) correspond à la dimension D des plus gros granulats, c'est-à-dire :

Point B ( $X = D_{\max}$  et  $Y = 100 \%$ )

Point O ( $X = 0.063$  et  $Y = 0$ )

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

- En abscisses (à partir de la dimension D du tamis)

Si :  $D \leq 20$  mm ; l'abscisse est  $D/2$ .

Si :  $D \geq 20$  mm l'abscisse est située au milieu du « segment gravier » limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D.

- En ordonnées :  $y = 50 - \sqrt{K}$

Où K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage de la forme des granulats roulés ou concassés et également du module de finesse du sable.

Une correction supplémentaire sur K peut être effectuée (cas de sable grossier) en la valeur

$K_s = 6, M_f - 15$  ou  $M_f$  étant le module de finesse du sable qui varie de 2 à 3 [23].

# *Chapitre III*

*Etude*

*Expérimentale*

## II.1 CARACTERISATION ET FORMULATION

Nous allons présenter dans cette partie, les caractéristiques essentielles des différents constituants du béton. Ainsi que les compositions des différents bétons étudiés dans le cadre de cette étude.

### 1.1. CARACTERISTIQUES DES MATIERES PREMIERES UTILISENT

#### 1.1.1. Ciment

Le ciment utilise dans notre étude est un ciment portland artificiel, dont les caractéristiques physico mécaniques et chimiques satisfont aux exigences des ciments CEM I 42.5 N-LH/SR5 selon la norme Algérienne [NA 442].

#### 1.1.2. Adjuvant

L'adjuvant que nous avons utilisé pour la confection du béton est un superplastifiant (**MEDAPLAST SP 40**) de nouvelle génération avec un grand pouvoir réducteur d'eau.

- **Caractéristiques de l'adjuvant MEDAPLAST SP 40**

Tableau III.1 : Caractéristiques de l'adjuvant (**MEDAPLAST SP 40**).

Apparence	Liquide marron
Densité	1.20 ± 0.01 (kg /l)
PH	8.2
Teneur en chlorure soluble en Eau (Cl)	≤ 1g/L
Fonction principale	Augmenter la maniabilité
Fonction secondaire	Augmenter résistances initiales et finales

#### 1.1.3. Granulats

Les granulats est un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 150 mm destinés à la confection des mortiers, et bétons.

- **Analyses sur les graviers**
  - ✓ Analyse granulométrique,
  - ✓ Masse volumique absolue,
  - ✓ Masse volumique apparente,
  - ✓ Essai Los Angeles,
  - ✓ Essai Micro-Deval.
  
- **Analyses sur les sables**
  - ✓ Analyse granulométrique,
  - ✓ Equivalent de sable,
  - ✓ Masse volumique absolue,
  - ✓ Module de finesse.

### 1.1.3.1. Gravier

Dans notre travail, ont utilisé deux types des graviers, proviennent de la carrière de HMD.

- Gravier (3 / 8)
- Gravier (8 / 15)

#### a) Caractéristiques granulométriques des graviers

L'analyse granulométrique des granulats déterminé selon la norme français [NF EN 933-1]. Il est atteint par le tamisage d'un échantillon dans une série de tamis et de déterminer le Pourcentage de passants et du refus sur chaque tamis.

- **Graviers (3/8)**

Selon l'analyse, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravie (3/8), représentés dans le tableau (III.2).

Tableau III.2 : Résultat d'analyse granulométrique de gravie (3/8).

Tamis (mm)	Gravier(3/8)
	Passant (%)
10	100
8	99.7
6.3	91.1
5	85.8
4	35.6
2.5	3.2
1	0.49

- **Graviers (8/15)**

Selon l'analyse, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravie (8/15), représentés dans le tableau (III.3).

Tableau III.3 : Résultat d'analyse granulométrique de gravie (8/15).

Tamis (mm)	Gravier(8/15)
	Passant (%)
20	100
16	94
12.5	58
10	25
8	11
6.3	02
5	0.43
2.5	0.24

Les deux classes granulaires telles que 3/8 et 8/15, montre que les graviers sont à granulométrie continue.

### b) Caractéristiques physiques des graviers

Les caractéristiques physiques des graviers, sont déterminées selon la norme européenne [EN 1097-6]. Les différents résultats obtenus lors des essais de principales caractéristiques physiques des graviers sont présentées dans le tableau (III.4).

Tableau III.4 : résultats des principales caractéristiques physiques des graviers.

Caractéristiques physiques	Graviers	
	Gravier (3/8)	Graviers (8/15)
Masse volumique Absolue ( $\text{g/cm}^3$ )	2.72	2.45
Masse volumique Apparente ( $\text{g/cm}^3$ )	1.25	1.22
Coefficient d'aplatissement	17	14

Les résultats obtenus sur le tableau (III.4) montrent que :

Les graviers de la carrière présentent des masses volumiques (apparente et absolue) qui répondent aux spécifications de la norme européenne [EN 1097-6]. La masse volumique apparente est comprise entre  $1300 \text{ kg/m}^3$  et  $1600 \text{ kg/m}^3$  et la masse volumique absolue est nettement plus élevée et est comprise entre  $2000 \text{ kg/m}^3$  et  $3000 \text{ kg/m}^3$ . Le coefficient d'aplatissement des graviers répond aux spécifications de L'ancienne norme [P 18 541] spécifiait que la valeur du coefficient d'aplatissement doit être  $A \leq 30 \%$ .

### c) Caractéristiques Mécaniques des graviers

Les caractéristiques mécaniques des graviers, sont déterminées selon la norme européenne [EN 1097-6]. Les différents résultats obtenus lors des essais de caractérisation mécanique des graviers .sont présentées dans le tableau (III.5).

Tableau III.5 : résultats des principales caractéristiques mécanique des graviers.

Caractéristiques Mécaniques	Graviers	
	Gravier (3/8)	Graviers (8/15)
Los Angeles (%)	24	25
Macro Deval (%)	-	-

### 1.1.3.2. Sables

Dans notre travaille, on a utilisé 2 types de sable :

- **Sable de carrière** : c'est un sable concassé prévenant, de la carrière de HMD, résultant du concassage de la même roche utilisée pour produire les graviers,
- **Sable Assila**, c'est un sable alluvionnaire de Assila commune Sidi Khalil.

#### a) Sable de carrière HMD.

- **Caractéristiques Granulométrique**

L'analyse granulométrique des granulats déterminé selon la norme français [NF EN 933-1]. Il est atteint par le tamisage d'un échantillon dans une série de tamis et de déterminer le Pourcentage de passants et du refus sur chaque tamis.

Tableau III.6 : Résultat de l'analyse granulométrique de sable carrière HMD.

Tamis (mm)	Sable carrière HMD
	Passant (%)
5	100
2.5	75
1.25	58
0.63	43
0.315	36
0.16	26
0.08	17

- **Caractéristiques physiques**

Les différents résultats obtenus lors des essais de principales caractéristiques physiques de sable sont présentées dans le tableau (III.7).

Tableau III.7 : Résultats des principales caractéristiques physiques des sables.

Caractéristiques physiques	Equivalent de sable (%)	Masse volumique absolue ( $\text{g/cm}^3$ )	module de finesse
Sable de Carrière HMD	82.6	2.55	2.62

Les résultats obtenus sur le tableau (III.7) montrent que :

Les essais nous ont donné, un équivalent de sable de 82.6 %. La carrière de HMD produit un sable très propre, l'absence presque totale de fines argileuses. Qui répond aux exigences.

## b) Sable Assila

### • Caractéristiques Granulométrique

D'après l'analyse, on a obtenu les résultats des passants cumulés sable Assila, représentés dans le tableau (III.8).

Tableau III.8 : Résultat de l'analyse granulométrique de sable Assila.

Tamis (mm)	Sable carrière Assila
	Passant (%)
6.3	100
5	99
2.5	93
1.25	74
0.63	62
0.315	49
0.16	15
0.08	3.5

### • Caractéristiques physiques

Les différents résultats obtenus lors des essais de principales caractéristiques physiques de sable Assila, sont présentées dans le tableau (III.9).

Tableau III.9 : résultats des principales caractéristiques physiques de sable Assila.

Caractéristiques physiques	Equivalent de sable (%)	Masse volumique absolue ( $\text{g/cm}^3$ )	module de finesse
Sable de Carrière Assila	72.65	2.55	2.29

Les résultats obtenus sur le tableau (III.9) montrent que :

Les essais nous ont donné, un équivalent de sable de 72.65 %. Le sable d'Assila est un sable très propre, l'absence presque totale de fines argileuses. Qui répond aux exigences

## 1.2. FORMULATIONS DES BETONS

### 1.2.1. Formulation de béton

Le béton témoin C0 formules est un mélange ordinaire préparé à partir de sable Assila et deux classe séparées de graviers ; 3/8 et 8/15 résultant du concassage de roche, de ciment portland composé et l'eau et un dosage de 2.5% de superplastifiant, la méthode de composition utilisée est la méthode DREUX GORISSE [23].

L'objectif de cette méthode, c'est de déterminer en fonction de la maniabilité, la nature et la quantité de matériaux nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton.

Les étapes de formulation basées sur la résistance visée et l'affaissement au cône d'ABRAMS.

- Les dosages en matériaux secs seront donc en  $\text{kg/m}^3$ 
  - Béton,(C0) : c'est un béton élaboré avec le sable d'Assila, de module de finesse MF = 2.29
    - Ciment =  $400 \text{ kg/m}^3$
    - Sable Assila =  $651.9 \text{ kg/m}^3$
    - Gravier (3/8) =  $93.9 \text{ kg/m}^3$
    - Gravier (8/15) =  $881.8 \text{ kg/m}^3$
    - Eau total =  $160 \text{ l/m}^3$
    - Adjuvant =  $10 \text{ kg/m}^3$
  - Béton,(C1) : c'est un béton élaboré avec 50 % sable d'Assila et 50 % sable de carrière HMD , de module de finesse MF = 2.45
    - Ciment =  $400 \text{ kg/m}^3$
    - Sable Assila =  $329.9 \text{ kg/m}^3$
    - Sable de carrière =  $329.9 \text{ kg/m}^3$
    - Gravier (3/8) =  $111.1 \text{ kg/m}^3$
    - Gravier (8/15) =  $934.3 \text{ kg/m}^3$
    - Eau total =  $180 \text{ l/m}^3$
    - Adjuvant =  $10 \text{ kg/m}^3$
  - Béton, (C2) : c'est un béton élaboré avec le sable de carrière HMD de module de finesse MF = 2.62.

- Ciment =  $400 \text{ kg/m}^3$
- Sable de carrière =  $674.2 \text{ kg/m}^3$
- Gravier (3/8) =  $107.9 \text{ kg/m}^3$
- Gravier (8/15) =  $874.5 \text{ kg/m}^3$
- Eau total =  $212 \text{ l/m}^3$
- Adjuvant =  $10 \text{ kg/m}^3$

## II.2. PRESENTATIONS DES RESULTATS ET DISCUSSION

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 t par flexion, masse volumique de béton durci, porosité et vitesse de propagation des ondes ultrasonique.

### 2.1. ESSAIS REALISE A L'ETAT FRAIS

#### 2.1.1. 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]. pour chaque variation du pourcentage d'adjuvant superplastifiant on garde le même affaissement avec des valeur obtenus varie de 5 à 6 cm par le changement du rapport E/C.

#### 2.2.2. Mesure de la masse volumique

La masse volumique a l'état frais des différents bétons déterminé selon la norme européenne [EN 12350-6]. Notre travail est basé de déterminer le dosage d'adjuvant idéal qui donne une valeur de la masse volumique maximale pour cela on a fait varie le dosage d'adjuvant avec une affaissement constante entour de 5 à 6 cm donc la quantité de l'eau de gâchage change chaque fois les tableaux ci-après présentent les résultats obtenus.

Tableau III.10 : Résultats de la Masse volumique du béton C<sub>0</sub> à l'état frais.

Béton C <sub>0</sub>					
Dosage superplastifiant(%)	0,6	1	1,5	2	2,5
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2349	2357	2365	2374	2382
RAPPORT E/C	E/C=0,46	E/C=0,44	E/C=0,42	E/C=0,41	E/C=0,4

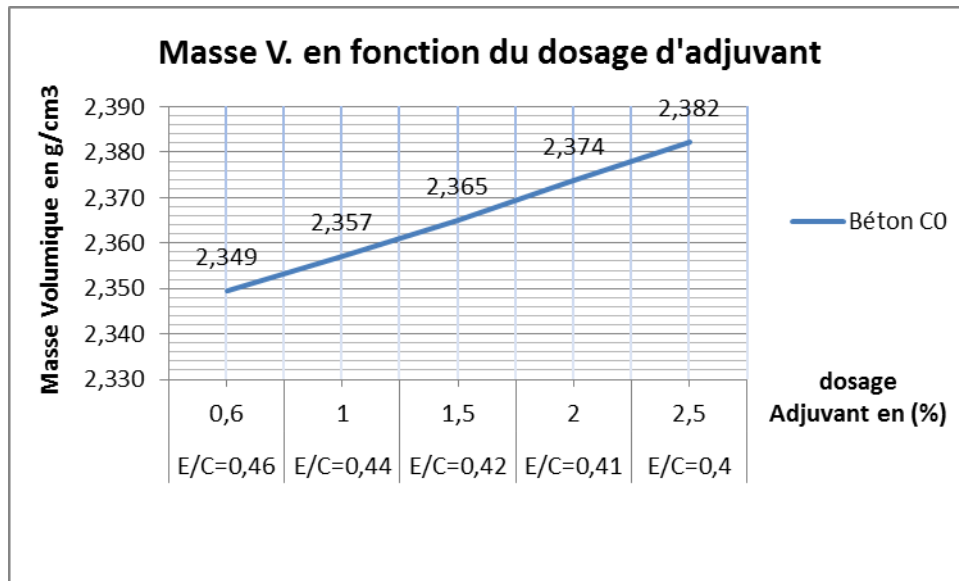


Figure III.1 : Evolution de la Masse volumique du béton Co à l'état frais en fonction du dosage d'adjuvant.

Tableau III.11 : Résultats de la Masse volumique du béton C<sub>1</sub> à l'état frais.

Béton C <sub>1</sub>					
Dosage superplastifiant(%)	0,6	1	1,5	2	2,5
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2341	2346	2356	2368	2380
RAPPORT E/C	E/C=0,51	E/C=0,495	E/C=0,48	E/C=0,465	E/C=0,45

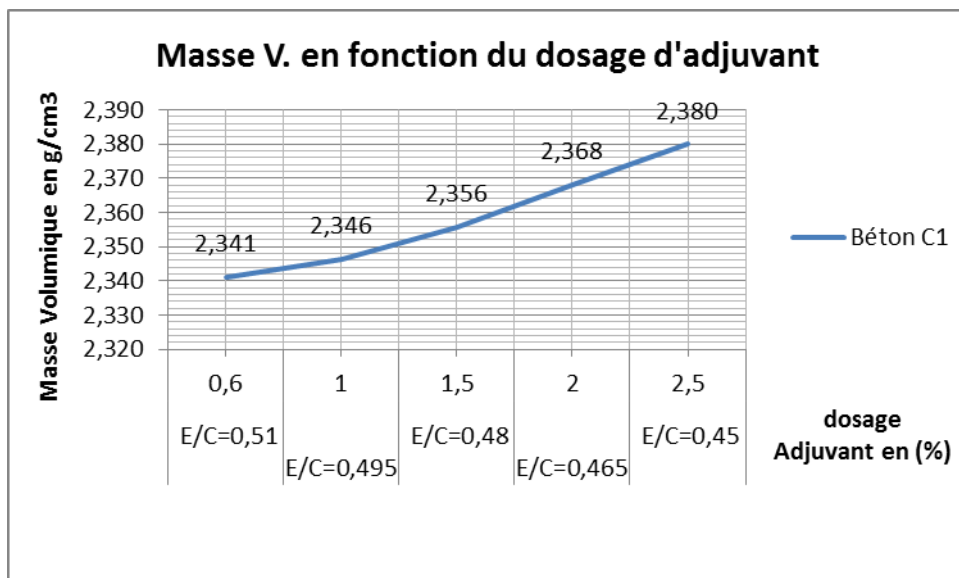
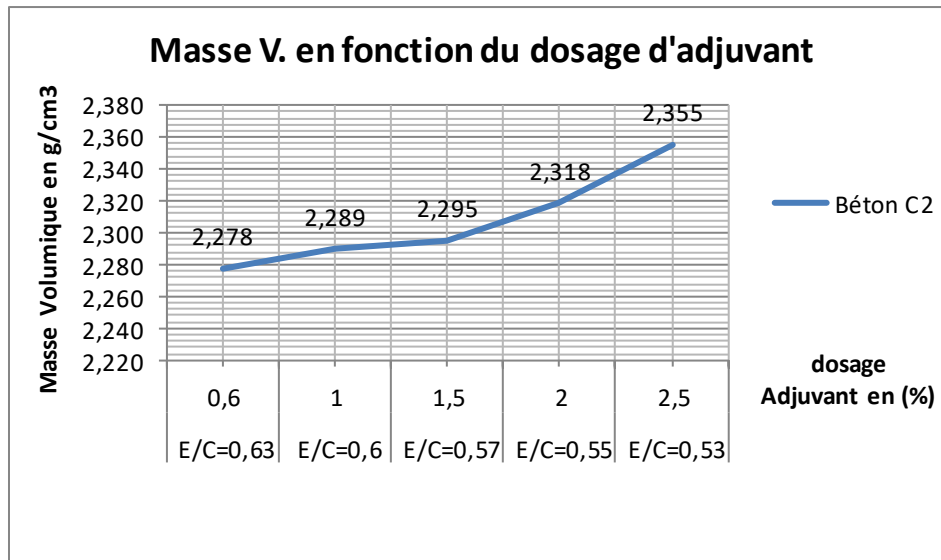


Figure III.2 : Evolution de la Masse volumique du béton C1 à l'état frais en fonction du dosage d'adjuvant.

Tableau III.12 : Résultats de la Masse volumique du béton C<sub>2</sub> à l'état frais.

Béton C <sub>2</sub>					
Dosage superplastifiant(%)	0,6	1	1,5	2	2,5
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2278	2289	2295	2318	2355
RAPPORT E/C	E/C=0,63	E/C=0,6	E/C=0,57	E/C=0,55	E/C=0,53

Figure III.3 : Evolution de la Masse volumique du béton C<sub>2</sub> à l'état frais en fonction du dosage d'adjuvant.

Le travail précédent montre l'augmentation la masse volumique des bétons étudiés à l'état frais en fonction de l'augmentation du pourcentage d'adjuvant ; pour cela on optimise le dosage de 2.5 % d'adjuvant pour les trois type de béton, on note que ce dosage d'adjuvant c'est le dosage maximale autoriser par le fabriquant.

### 2.1.3. Essai d'étalement sur table

L'essai d'étalement sur table est réalisé selon la norme [NF EN 12350-5]. pour chaque type de béton avec un dosage d'adjuvant de 2.5% Les différents résultats obtenus sont présentées dans le tableau (III.13).

Tableau III.13 : Résultats de l'essai d'étalement sur table.

Type de béton	C0	C1	C2
Rapport E/C	0.40	0.45	0.53
Diamètre (cm)	35	34	33
Plasticité	plastique	ferme	ferme

## 2.2. ESSAIS REALISE A L'ETAT DURCI

### 2.2.1. Essai de résistance à la compression

La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cubique de 10x10x10 cm. Après la mise en place du béton, les éprouvettes sont maintenues pendant 24 heures, dans leurs moules .

Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau la nappe phréatique en trois zones, la 1ere série a été immergée dans la région de Sidi Mastour, la 2eme série a été immergée dans la région de Telaïba et 3eme série a été immergée dans la région de Chout jusqu'à la date des écrasements une autre série a été immergée dans l'eau de robinet. les résultats obtenus sont consignés dans le tableau (III.14).

Tableau III.14 : Résultats de l'essai de compression sur les bétons étudiés.

	Résistance à la compression (MPA)							
	Zone A		Zone B		Zone C		eau de robinet	
Béton	07 J	28 J	07 J	28 J	07 J	28 J	07 J	28 J
C <sub>0</sub>	26,3	37,3	28,3	40,4	25,7	37,3	28,0	37,5
C <sub>1</sub>	27,0	35,0	27,0	36,3	26,7	36,0	27,0	36,7
C <sub>2</sub>	22,7	30,7	23,7	33,0	23,0	31,7	22,3	32,7

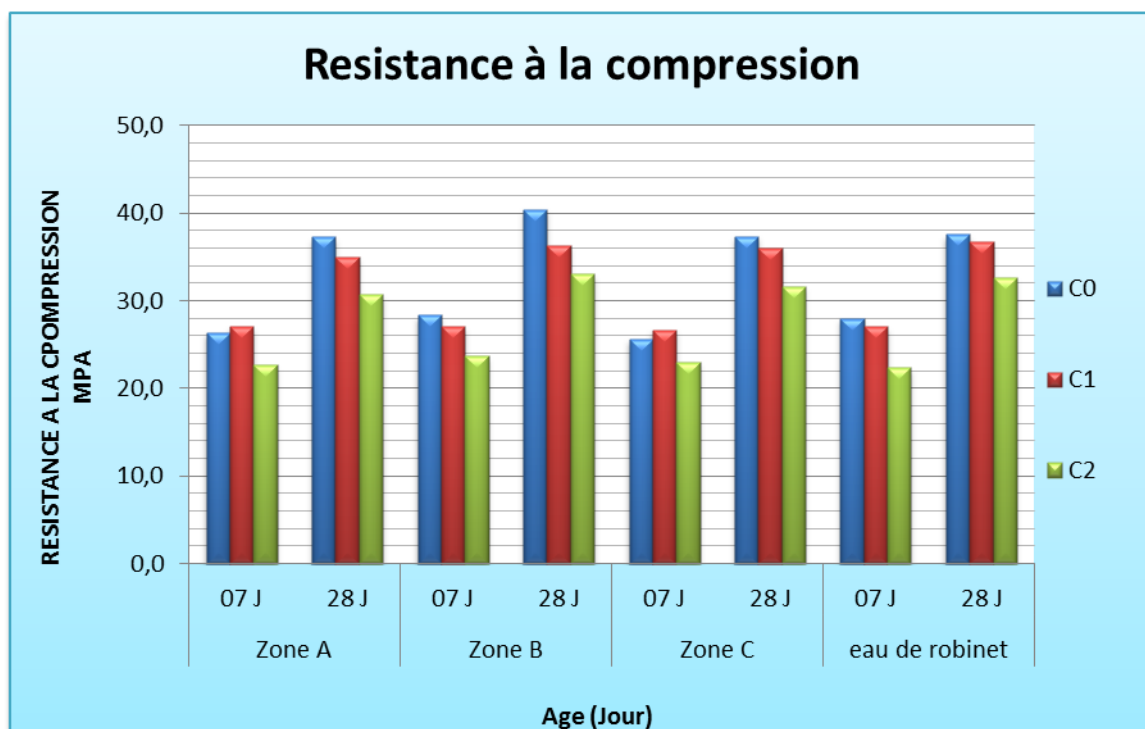


Figure III.4 : Evolution de la résistance mécanique à la compression en fonction de l'âge.

Les résultats obtenus montre que:

- Le béton (C<sub>0</sub>) à base de sable de Assila, présente une meilleure résistance mécanique à la compression, le béton (C1) à base 50% sable Assila et 50% sable de carrière HMD est classé en deuxième position en terme de résistance puis en troisième position le béton (C2) à base sable de carrière HMD.
- Aucune influence de l'eau de la nappe d'immersion sur la résistance à court terme.

**2.2.2. Essai de résistance à la traction**

• **Par flexion**

L'essai mécanique à la traction par flexion déterminé selon la norme français [NF 12390-5] sur des éprouvettes 7\*7\*28 cm [NF 12390-1]. Après la mise en place du béton, les éprouvettes sont maintenues pendant 24 heures, dans leurs moules .Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau la nappe phréatique en trois zones, la 1<sup>ère</sup> série a été immergée dans la région de Sidi Mastour, la 2<sup>ème</sup> série a été immergée dans la région de Telaïba et 3<sup>ème</sup> série a été immergée dans la région de Chout jusqu'à la date des écrasements une autre série a été immergée dans l'eau de robinet. les résultats obtenus sont consignés dans le tableau (III.15).

Tableau III.15 : Résultats de l'essai de traction par flexion des bétons étudiés.

	Résistance à traction par flexion (MPa)							
	Zone A		Zone B		Zone C		eau de robinet	
Béton	07 J	28 J	07 J	28 J	07 J	28 J	07 J	28 J
C <sub>0</sub>	4,6	6,2	4,4	6,3	4,5	6,2	4,4	6,1
C <sub>1</sub>	4,5	5,9	4,5	6,4	4,7	5,7	4,7	6,2
C <sub>2</sub>	5,1	6,1	5,0	6,3	5,6	6,0	5,9	5,7

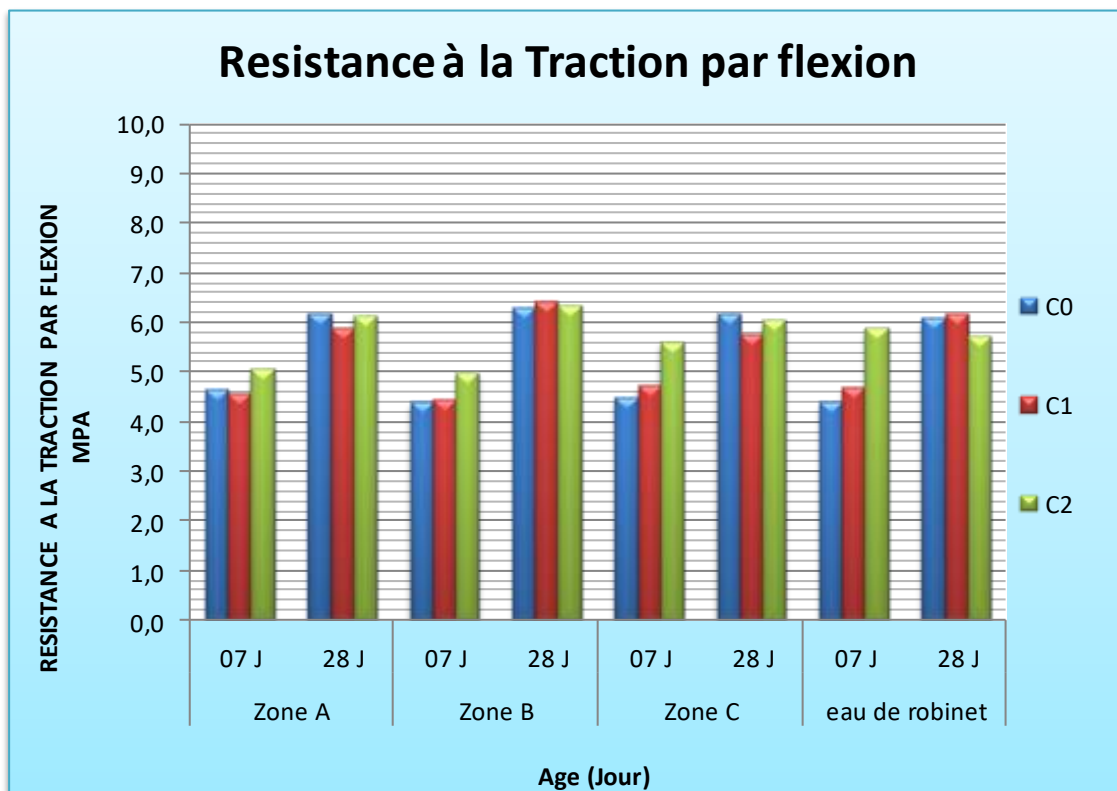


Figure III.5 : Evolution de la résistance à la traction par flexion des bétons étudiés.

Les résultats obtenus montre que:

- Le béton (C<sub>0</sub>) et le béton (C1), présentent une meilleure résistance à la traction, le béton (C2) à base sable de carrière HMD présente une résistance inférieure à obtenus avec béton (C<sub>0</sub>) et le béton (C1).
- Aucune influence de l'eau de la nappe d'immersion sur la résistance à court terme.

### 2.2.3. 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 (III.16), présente les résultats obtenus.

Tableau III.16 : Résultats de la masse volumique des bétons durci à 28jours.

Bétons	C0	C1	C2
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2328	2256	2265

D'après les résultats obtenus on remarque que :

Tous les bétons étudiés présentent presque la même valeur de masse volumique à l'état durci. Ceci s'explique par l'utilisation des sables de même densité par rapport à celle de sable utilisé dans le béton de référence.

La valorisation des sables locaux étudiés dans notre travail confirme les valeurs de la masse volumique à l'état durci exigée par la norme française [NF 12390-7]. Pour les bétons normales, (la masse volumique à l'état durci à supérieur à 2000 kg/m<sup>3</sup> et inférieure à 2600 avec une tolérance de 100 kg/m<sup>3</sup>).

### 2.2.4. Mesure de la Porosité

Résultats de la Porosité des bétons étudiés à 28 jours, sont présents dans le tableau (III.17).

Tableau III.17 : Résultats de la Porosité des bétons étudiés à 28 jours.

Bétons	C0	C1	C2
Porosité (%)	2.43	1.90	3.44

D'après les résultats obtenus de la variation de la porosité dans les bétons étudiés à 28 jours on remarque que :

Le sable de carrière, augmente légèrement la porosité du béton, cette légère augmentation est due à l'influence de fine de sable de carrière dans le béton C1 mais dans le béton C2 la porosité est élevée vu la quantité d'eau de gâchage  $E/C = 0.53$ .

### 2.2.5. Mesure de la vitesse de propagation des ondes ultrasons

La vitesse de propagation des ondes ultrasons déterminé selon la norme européenne [EN 1250-4]. Nous avons procédé à trois mesures (essais), pour chaque formulation. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau (III.18).



Figure III.6: Détermination de La vitesse de propagation des ondes ultrasons.

Tableau III.18 : Résultats de la vitesse de propagation dans les bétons étudiés à 28 jours.

Bétons		C0		C1		C2	
		07 J	28 J	07 J	28 J	07 J	28 J
Vitesse de propagation (m/s)	ZONE A	3836	4136	3879	4130	3912	3944
	ZONE B	3769	4179	3820	4130	3972	3889
	ZONE C	3815	4106	3855	4100	3898	3989
	Eau de robinet	3730	4160	3890	4106	3907	3978

Les valeurs obtenus, montre l'homogénéité de la vitesse de propagation des ondes ultrasons dans les bétons étudiés à 28 jours et 07 jours. D'après les résultats obtenus on remarque que: Tous les bétons étudiés présent des valeurs de vitesse de propagation sonore supérieures à 3700 m/s, ce qui correspond à un béton de qualité acceptable, sachant que le classement qualitatif exigée par la norme français [EN 1250-4] .

*Conclusion*

*Générale*

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail nous a permis de mettre en valeur l'utilisation du sable de carrière ainsi que l'adjuvant superplastifiant dans les formulations du béton dans le domaine de bâtiment et travaux publics.

Les résultats obtenus après l'élaboration de différentes formulations réalisées dans cette étude le béton C0 à base de 100% sable Assila, le béton C1 à base de 50% sable Assila et de 50% sable artificiel de la carrière de HMD et le béton C2 à base de 100% sable artificiel de la carrière de HMD ; nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ L'utilisation de l'adjuvant superplastifiant diminué l'eau de gâchage jusqu'à un rapport E/C=0.4 pour le béton C0, un rapport E/C=0.45 pour le béton C1 et un rapport E/C=0.53 pour le béton C2 avec une maniabilité toujours plastique soit une affaissement de 5 à 6 cm de l'essai au cône d'Abrams.
- ✓ les masses volumiques des bétons étudiés sont presque identique à l'état frais et à l'état durci.
- ✓ Le béton à base sable de carrière, présente la résistance à la compression la plus faible.
- ✓ les résultats de la résistance à la traction par flexion sont acceptables.
- ✓ L'utilisation de 50% de sable de carrière dans la composition du béton, diminué la porosité.
- ✓ L'utilisation de 100% de sable de carrière dans la composition du béton, augmente la porosité.
- ✓ Tous les bétons étudiés, présentent des valeurs de vitesse de propagation sonore supérieure à 3700 m/s, ce qui correspondant à un béton de bon qualité.

# *Liste Des Figures*

## *Chapitre II : Etude Bibliographique*

Figure II.1: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un Béton.

Figure II.2 : Exemple des granulats alluvionnaires naturels.

Figure II.3 : Exemple des granulats de carrière.

Figure II.4 : Exemple de courbe granulaires des granulats pour béton.

Figure II.5 : Forme d'un granulats.

Figure II.6 : Détermination de la masse volumique apparente.

Figure II.7 : Détermination de la masse volumique absolue.

Figure II.8 : L'essai au piston de l'équivalent de sable.

Figure II.9: Appareil pour détermine la valeur de bleu méthylène.

Figure II.10 : Machine D'essai Micro Deval.

Figure II.11 : Machine D'essai Los Angeles.

Figure II.12 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

Figure II.13 : Mesure de la masse volumique à l'état frais.

Figure II.14 : Machine d'essai de Traction par fendage.

Figure II.15 : Machine d'essai de Traction par flexion.

Figure II.16: Mesure de la masse volumique du béton durci.

Figure II.17 : principe d'utilisation.

Figure II.18 : L'appareille Ultra Son.

Figure II.19 : Courbe RILEM.

Figure II.20 : Relation entre la résistance à la compression à 28 jours et le rapport E/C.

Figure II.21 : Relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E.

Figure II.22 : Relation entre la résistance calculée d'une pate pure de ciment et le rapport C/E

Figure II.23 : La relation entre C/E et la résistance à la compression ( $f_c$ ) d'après la formule de Bolomey.

Figure II.24 : Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression au jeune âge du béton.

Figure II.25 : Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme.

Figure II.26 : Variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction du rapport G/S

Figure II.27 : Influence de la dimension maximale du granulats sur la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosage en ciment.

Figure II.28 : Optimisation du rapport G/S en fonction de l'affaissement.

Figure II.29 : Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse.

## *Chapitre III : Etude Expérimentale*

Figure III.1 : Evolution de la Masse volumique du béton Co à l'état frais en fonction du dosage d'adjuvant.

Figure III.2 : Evolution de la Masse volumique du béton C1 à l'état frais en fonction du dosage d'adjuvant.

Figure III.3 : Evolution de la Masse volumique du béton C2 à l'état frais en fonction du dosage d'adjuvant.

Figure III.4 : Evolution de la résistance mécanique à la compression en fonction de l'âge.

Figure III.5 : Evolution de la résistance à la traction par flexion des bétons étudiés.

Figure III.6: Détermination de La vitesse de propagation des ondes ultrasons.

# *Liste Des Tableaux*

## *Chapitre II : Etude Bibliographique*

- Tableau II.1 : Résistance à la compression des ciments.
- Tableau II.2 : Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable.
- Tableau II.3 : Différents utilisations de différents types d'adjuvants.
- Tableau II.4 : Classe de consistance (Slump test).
- Tableau II.5 : Classements qualitatifs du béton selon la vitesse de propagation.

## *Chapitre III : Etude Expérimentale*

- Tableau III.1 : Caractéristiques de l'adjuvant (structuro 311).
- Tableau III.2 : Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (3/8).
- Tableau III.3 : Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (8/15).
- Tableau III.4 : Résultats des principales caractéristiques physiques des graviers.
- Tableau III.5 : Résultats des principales caractéristiques mécaniques des graviers.
- Tableau III.6 : Résultat de l'analyse granulométrique de sable carrière HMD.
- Tableau III.7 : Résultats des principales caractéristiques physiques des sables.
- Tableau III.8 : Résultat de l'analyse granulométrique de sable Assila.
- Tableau III.9 : résultats des principales caractéristiques physiques de sable Assila.
- Tableau III.10 : Résultats de la Masse volumique du béton C0 à l'état frais.
- Tableau III.11 : Résultats de la Masse volumique du béton C1 à l'état frais.
- Tableau III.12 : Résultats de la Masse volumique du béton C2 à l'état frais.
- Tableau III.13 : Résultats de l'essai d'étalement sur table.
- Tableau III.14 : Résultats de l'essai de compression sur les bétons étudiés.
- Tableau III.15 : Résultats de l'essai de traction par flexion des bétons étudiés.
- Tableau III.16 : Résultats de la masse volumique des bétons durcis à 28 jours.
- Tableau III.17 : Résultats de la Porosité des bétons étudiés à 28 jours.
- Tableau III.18 : Résultats de la vitesse de propagation dans les bétons étudiés à 28 jours.

*Références*

*Bibliographiques*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : CIMBÉTON : « Les bétons: formulation, fabrication et mise en œuvre », Paris, 2006.
- [2] : Chanvillard et d'Aloia : « Prévion de la résistance en compression au jeune âge du béton, Application de la méthode du temps équivalent, Bull. Liaison Lab. Ponts et Ch. »,1994.
- [3] : BOUKLI HACENE Sidi Mohammed El Amine: « CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RESISTANCE CARACTERISTIQUE DES BETONS DE LA REGION DE TLEMCEM », Thèse de Doctorat à L'université aboubekr belkaid, tlemcen, 2009.
- [4] : ANDRIAMANANSTILAVO.N: «Comportement des matériaux cimentaires dans un coffrage expérimentation, modélisation et simulation de la poussée et du processus de maturation ». Thèse de doctorat à l'Université de boumerdes, 2003.
- [5] : Walther .R et Miehlsbradt.M : « Dimensionnement des structures en béton », traité de Génie Civil de l'école polytechnique fédérale de Lausanne, 1990.
- [6] : NF EN 197-1 : Ciment - Composition, spécification et critères de conformité des ciment courants indice de classement P 15-101-1.
- [7] : NF EN 450 : Cendres volantes pour béton - Définitions, exigences et contrôle de qualité: indice de classement P 18-050.
- [8] : NF P 18 -508 : Additions pour béton hydraulique – Additions calcaires-Spécification et critères de qualité : indice de classement P 18-508.
- [9] : NF P 18-502 : Additions pour béton hydraulique – Fumée de silice : indice de classement P 18-509.
- [10] : NF EN 196 -1 : Méthodes d'essais des ciments – Détermination des résistances Mécaniques : indice de classement P 15 – 471.
- [11] : NF EN 1008 : Eau de gâchage pour béton s –Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton indice de classement P 18-211.
- [12] : NGUYEN T.L.H : « Outils pour la modélisation de la mise en œuvre des bétons », Thèse de doctorat de l'école nationale des ponts et chaussées, 139 p, 2007.
- [13] : El BARRAK. M : « Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçants à l'état frais », Thèse de doctorat à l'université Toulouse III – Paul Sabatier, Juillet. 229 p, 2005.

- [14] : LAPOINTE R : « Contribution à l'étude des méthodes d'injections des fissures dans le béton », Mémoire des études graduées, Université McGill, Montréal, Canada, 1997.
- [15] : Norme Française XP P 18-540 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540, 1997.
- [16] : COURS DE MDC : « LES GRANULAT », Université De Setif, ([www.univ-setif.dz](http://www.univ-setif.dz)).
- [17] : BERREDJEM Layachi : « le recyclage des bétons de démolition, solution pour le développement durable. Formulation et comportements physiques et mécaniques des bétons à base de ces recyclé ». Mémoire de magister, Annaba, p 7,2009.
- [18] : A. M. NEVILLE : « Propriétés des bétons », traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, 2000.
- [19] : Rappel sur les granulats : « Cours Géomatériaux », ([alonet.yolasite.com](http://alonet.yolasite.com)).
- [20] : EN 13055-1 : Granulats légers — Partie 1 : Granulats légers pour bétons et mortiers, 2002.
- [21] : Norme Française XP P 18-553 : Granulats -Préparation d'un échantillon pour essai, AFNOR 1990.
- [22] : Norme Française EN 932-1: Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 1: Méthodes d'échantillonnage, AFNOR 1990.
- [23] : G. DREUX & J. FESTA : « Nouveau guide du béton et ses constituants », Edition Eyrolles, 8<sup>ème</sup> édition, 1998.
- [24] : Norme Française XP P 18-540 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540, 1997.
- [25] : NF EN 933-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : Détermination de la granularité — Analyse granulométrique par tamisage Indice de classement : P 18-622-1, 1997.
- [26] : NF EN 933-2 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 2 : Détermination de la granularité — Tamis, dimensions nominales des ouvertures, 1996 Indice de classement : P 18-622-2, 1996.
- [27] : F. GABRYSIK : « Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2 », Académie de Nancy-Metz, [http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment\\_Pro/](http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/). P 7.

[28] : R. DUPAIN, R. LANCHAN & J.-C. SAINT-ARROMAN : « Granulats, Sols, Ciments et Bétons », Editions Casteilla, 2<sup>ème</sup> édition conforme aux normes européennes, 2000.

[29] : Norme Française XP P 18-540 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement : P 15-540, 1997.

[30] : Norme Européen EN 12620 : Granulats pour béton hydraulique, 2004.

[31] : Norme Française EN 933-3 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 3 : Détermination de la forme des granulats – Coefficient d'aplatissement", indice de classement P18-622, AFNOR 1996.

[32] : EN 1097-3 : granulat, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire, indice de classement : P 18-650-3, version française, p 6, 1998.

[33] : EN 1097-6 : granulat Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6 , indice de classement : P 18-650-6, 1998.

[34] : Norme Française XP P 18-598 : Granulats- Equivalent de sable, AFNOR, 1991.

[35] : Norme Française XP P 18-597 : Granulats- Détermination de la propreté des sables : équivalent de sable à 10 % de fines, AFNOR, 1990.

[36] : Norme Française EN 933-9 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 9 Evaluation des fines. Equivalent de sable, AFNOR, 1996.

[37] : Norme Française EN 933-9 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 9 Evaluation des fines. Essai au bleu de méthylène, AFNOR, 1996.

[38] : Norme Française P 18-577 : Granulats - Essai Micro-Deval, AFNOR, 1990.

[39] : Norme Française EN 1097-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 1: Détermination de la résistance à l'usure (Micro-Deval), indice de classement P 18-650.1, AFNOR, 1996.

[40] : Norme Française XP P 18-573 : Granulats - Essai Los-Angeles, AFNOR, 1990.

[41] : NF EN 1097-2 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 2 : Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation, indice de classement : P 18-650-2, AFNOR, 1998.

- [42] : ELBACHIR Yasmina : « Effet des différents adjuvants sur la performance du béton », mémoire de Master Professionnel, Université de Mohamed Boudiaf, 2014.
- [43] : NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-342.
- [44] : CIMBÉTON : « Les constituants des bétons et des mortiers, chapitre 2, Les adjuvants », Paris, 2006.
- [45] : NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-335.
- [46] : NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-336.
- [47] : NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-337.
- [48] : NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-338.
- [49] : NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage, indice de classement : P 18-334.
- [50] : Journée d'information : « ciments – bétons – adjuvants », Les adjuvants Définitions Et opportunités d'utilisation, Organisée par : ERCE- CTC- est – GRANITEX, 2004.
- [51] : Dupain .R et Lanchon .R : « Granulats, sols, ciment et bétons » paris : Ed livre, 276 p.
- [52] : Cormon .P : « Bétons légers d'aujourd'hui », Ed .Eyrolles au radiateur .Editions du BRGM, 1973.
- [53] : Baron .J et Sauterey .R : « Le béton hydraulique Connaissances et Pratique », Presses, 1982.
- [54] : Chanvillard. G et Laplante .P : « Viser une résistance à court terme pour tenir les délais de fabrication ». Les béton bases et données pour leur formulation, 1997.
- [55] : Aitcin .P.C et Baron .J : « Bétons haute performance », Ed. Eyrolles, 1996.
- [56] : CIMBETON : « Le ciment est ses applications », fiches technique, 2000.
- [57] : Bresson .J : « Prévision des résistances », paris, tech batim. Trav. public, 387 p, 1980.

[58] : DREUX. G : « Nouveau guide du béton. », Edition Eyrolles, 2<sup>ème</sup> édition, 1979.

[59] : Mr BOUFEDAH BADISSI Ahmed : « influence de la granularité classe granulaire 4/22. Sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaires », Mémoire de Magister, université Mentouri Constantine, 2011.

[60] : VENANT.M : « Ciment et bétons. » 2<sup>ème</sup> édition, 1973.

[61] : Groupe Eyrolles : « Cône d'Abrams. » Edition Eyrolles.2010

[62] : EN 12350-6 : Essai pour béton – Partie 6 : Masse Volumique : indice de classement P 18-431, 1999.

[63] : Norme Française 12390-1 : Essai pour béton durci – Partie 1 : Dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules : indice de classement P 18-438).

[64] : Norme Française 12390-3 : Essai pour béton durci – Partie 3: Résistance à la compression des éprouvettes : indice de classement P 18-433<sup>2)</sup>.

[65] : Norme Française 12390-4. Essai pour béton durci – Partie 4: Résistance en compression d'essai caractéristiques des machines : indice de classement P 18-441.

[66] : Norme Française 12390-6. Essai pour béton durci – Partie 6: Résistance en traction par fendage des éprouvettes : indice de classement P 18-434.

[67] : Norme Française 12390-5. Essai pour béton durci – Partie 6 : Résistance en traction par flexion des éprouvettes.

[68] : Norme Française 12390-7. Essai pour béton durci – Partie 7: Masse volumique du béton : indice de classement P 18-435.

[69] : Norme expérimentale : béton, Auscultation Sonique, AFNOR, Décembre 1989.

[70] : EN 1250-4 : Détermination de la vitesse de propagation du Ultra Son –Partie 4 : indice de classement P18-418.

[71] : UTSL. S, EMBORG .M, CARSWARD. J : -Relation between workability and rheological parameters, Therd International RILEM symposium on self-compacting concrete, RILEM Publication s.a.r.l, 2003.

[72] : Neville .A.M : « Propriétés des Bétons », Traduit par le CRIB, Ed. Eyrolles, Paris, 2000.

- [73] : ALEXANDER K.M, IVANUSEC I : « Long term effects of cement SO<sub>3</sub> content on the properties of normal and high-strength concrete, Part I. The effect on strength, Cement and Concrete Research », 12, N° 1, p 51-60, 1982.
- [74]: NIELSEN L.F : « Strength development in hardened cement paste: examination of some empirical equations », Materials and Structures, 26, N° 159, p 255-60, 1993.
- [75] : OLLIVIER J.P., BUIL M : « Conception des bétons : la structure poreuse, La durabilité des bétons », Presses de l'école Nationale des Ponts et Chaussées, Eds, Paris, 1992.
- [76] : BARON J., OLLIVIER J.P : « Les bétons bases et données pour leur formulation », Edition Eyrolles, 522 p, Paris, 1996.
- [77] : TALEB O., GHOMARI F., BOUKLI HACENE S.M.A. : « Modélisation des bétons autoplaçants par les plans d'expériences », 1st International Conférence on Civil Engineering, Laghouat Université, Alegria, 2012.
- [78] : Ayad Mohamed et barka yassine : « modélisation des bétons ordinaires par des plans d'expériences », mémoire de master, Tlemcen, 2013.
- [79] : LAZAR KHALED : « CARACTERISATION ET VALORISATION DU SABLE DU GRAND ERG ORIENTAL ». Résumer mémoire de magister, U.S.T.H.B.
- [80] : Pierre Bédard : « Clef d'identification visuelle des grains de sable », version 1,0, 2014.
- [81] : Azzouz Hocine : « étude des bétons à base des sables de dune », Mémoire de Magister Université Mohamed kheider, Biskra, 2009.
- [82] : REZIG Salima : « Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux », Université Mohamed Khider, Biskra.
- [83] : Philippe Chevalier Jean-Christophe Van den Schrieck : « Le sable naturel en Région Wallonne », Août 2011.
- [84] : TAFRAOUI Ahmed : « Contribution à la valorisation du sable de dune de l'erg occidental, (Algérie). Application aux nouveaux bétons », THESE DE DOCTORAT, Université de Toulouse, 2009.
- [85] : Benchaa Benabed<sup>1</sup>, Lakhdar Azzouz<sup>1</sup>, El-hadj Kadri<sup>2</sup>, Akram Salah Eddine Belaidi<sup>1</sup>, Hamza Soualhi<sup>2</sup> : « Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes », Université Amar Telidji de Laghouat, Algérie, Chambéry, Savoie, 6 a 8 juin 2012.