

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR  
FACULTE DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE



Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :  
Master En Génie Civil  
Option : Matériaux en Génie Civil  
Présenté Par :

HADJ SOUDI KHADRA  
ADDA MOHAMED NASSIRA

### **THEME**

*L'influence des agrégats naturels et artificiels  
sur la propagation des fissures pour un béton  
coulé dans une région chaude (cas Adrar)*

Soutenu Le 14/06/2021 Devant le membre de jury composé de :

|                        |             |             |
|------------------------|-------------|-------------|
| Dr. DRISS DJAFARI      | Univ.Adrar  | Examineur   |
| Mr. ABDELJALIL M'HAMED | Univ.Adrar  | Examination |
| Mr. A. AZIZ HAMOUDA    | Univ. Adrar | Encadreur   |

Année Universitaire 2020-2021





## **REMERCIEMENT**

*Avant tout nous tenons à remercier **ALLAH** le tout puissant qui nous a donné la santé, le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudee à notre encadreur **Mr. HAMOUDA Abdelaziz** pour nous avoir guidés tout au long de ce travail. Nous le remercions vivement pour sa disponibilité de tous les instants et pour ses conseils avisés qui ont rendu ce travail possible.*

*Nous remerciment vont au directeur de Laboratoire des Travaux Publics du Sud - Adrar (**LTPS Adrar**). Qui nous a ouvert les portes de son laboratoire pour la réalisation de nos essais et tous les personnels de laboratoire surtout “ **SOUILEM Hadjer, SENKOUKI Hadj Ahmed, MEKKI Salem et SAHEL Said**”*

*Nous remerciment vont à tous les enseignants de Génie civil de l’université*

*D’ADRAR sur la qualité des formations,*

*Nous tenons à remercier les membres du jury qui ont accepté d’examiner ce travail.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Qu’ils trouvent ici l’expression de notre amitié et de notre gratitude*

***Khadra et Nassira***

# ***DIDICACE***

*je dédie ce travail à mes chers parents qui m'ont éclairé mon chemin et qui m'ont encouragé et soutenu toute au long de mes études, mais je dois dédier ce travail à d'autres personnes qui ont une place dans ma vie.*

*A À toute ma famille en particulier ma chère sœur Rekayah et son gentil mari,*

*A mon directeur du mémoire Mr. HAMOUDA Abdelaziz*

*A tous mes chers amis : surtout mon binôme Khadra*

*A tous que m'on aide de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire*

*A ma promotion 2020-2021 et aux promotions antérieures où je compte beaucoup d'amis*

*« Et ma réussite ne ds dépend que d'Allah. En Lui je place ma confiance,*

*et c'est vers Lui que je me tourne »*

*sourate Hud - verset 88 (traduction de Imam ALI MIHR)*

***Nassira***

# ***DIDICACE***

*je dédie ce travail à mes chers parents mes parents qui m'ont éclairé mon chemin et qui m'ont encouragé et soutenue toute au long de mes études, mais je dois dédier ce travail à d'autres personnes qui ont une place dans ma vie.*

*A Toute mes frères Et mes sœurs*

*A mon directeur du mémoire Mr. HAMOUDA Abdelaziz*

*A tous mes chers amis : surtout mon binôme Nassira*

*A tous que m'on aide de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire*

*A ma promotion 2020-2021 et aux promotions antérieures où je compte beaucoup d'amis*

***Khadra***



# ***RESUME***

Le béton est un matériau de construction le plus importants dans le domaine de génie Civil. Cependant, il est affecté par les conditions climatiques et plusieurs phénomènes influes sa durabilité tel que le phénomène de fissuration.

le bétonnage pour plusieurs travaux de construction est exécuté par des bétons comportent les différents types des agrégats artificiels ou naturels, pour le cas des agrégats artificiels sont utilisés suivant des normes bien respectées pour une fabrication du béton notamment pour les projets étatiques, par contre les agrégats naturels sont utilisés sans aucune normes cela affecte négativement la résistance du béton ce qui conduite à l'émergence de plusieurs facteurs dont le phénomène de retrait et de fissuration

Ce travail a pour but d'étudier l'influence de types d'agrégats sur la propagation des fissures dans le béton ordinaire coulé dans les régions chaudes, afin d'atteindre notre objectif des essais ont été effectués au sein de laboratoire LTPS Adrar.

**Les mots clés** : béton, fissuration, retrait, régions chaudes, comportement du béton essai à la compression, formulation du béton.

# ***ABSTRACT***

Concrete is the most important building material in the field of Civil Engineering. However, it is affected by climatic conditions and several phenomena influence its durability such as the phenomenon of cracking.

the concreting for several construction works is carried out by concretes include the different types of artificial or natural aggregates, for the case of artificial aggregates are used according to well respected standards for the manufacture of concrete especially for state projects, on the other hand aggregates natural are used without any standards this negatively affects the strength of the concrete which leads to the emergence of several factors including the phenomenon of shrinkage and cracking.

The aim of this work is to study the influence of types of aggregates on the propagation of cracks in ordinary poured concrete in hot regions, in order to achieve our objective tests were carried out in the LTPS Adrar laboratory.

**The key words:** concrete, cracking, shrinkage, hot regions, behavior of concrete compression testing, formulation of concrete.

## الملخص

الخرسانة هي أهم مواد البناء يف جمال الهندسة المدنية . ومع ذلك، فإنه يتأثر بالظروف المناخية والعديد من الظواهر التي تؤثر على متانته مثل ظاهرة التشقق . يتم تنفيذ صب الخرسانة للعديد من أعمال البناء بواسطة خرسانة تتألف من أنواع مختلفة من الحصى الاصطناعي والطبيعي نفي حالة الحصى الصناعي يتم استخدامه وفقا لقواني ومعايري محددة على عكس الحصى الطبيعي الذي يستخدم دون التقييد بمعاييري حرمتة ما يؤثر سلبا على مقاومة الخرسانة مما يؤدي إلى ظهور عدة عوامل منها ظاهرة الالانكماش والتشققات

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير الحصى الاصطناعي والطبيعي على انتشار الشقوق في خرسانة الاعادية المصوبة يف المناطق الحارة ، كوالية أدرار .

وبغرض الوصول إلى الهداف المرجو منهذا العمل مت إجراء جتارب على مستوى خمر ب LTPS بأدرار .

**الكلمات المفتاحية:** الخرسانة، التشققات، الالانكماش، المناخ الحارة، سلوك اختبار ضغط الخرسانة، صياغة الخرسانة .



# Table des matières

## INTRODUCTION GENERALE

|                            |   |
|----------------------------|---|
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
|----------------------------|---|

## CHAPITRE I :

### COMPOSITIONS DU BETON EST SON COMPORTEMENT

|  |    |
|--|----|
| I-1 INTRODUCTION.....  | 4  |
| I-2 LE BETON.....  | 4  |
| I-2-1 DEFINITION.....  | 4  |
| I-2-2 COMPOSITION DU BETON.....                                    | 4  |
| I-2-3 PROPRIETES DU BETON :[13].....                               | 7  |
| I-2-4 CARACTERISTIQUE MECANIQUE : [14].....                        | 9  |
| I-2-5 AUTRE CARACTERISTIQUE :[15].....                             | 10 |
| I-2-6-TYPES DE BETON.....  | 11 |
| I.3. LES DIFFERENTS TYPES DES GRANULATS :[16].....                 | 12 |
| I.3.1-LE GRANULAT NATUREL.....                                     | 12 |
| I.3.2 LES GRANULATS ARTIFICIEL : [17].....                         | 13 |
| I.3.3 GRANULATS RECYCLES.....                                      | 14 |
| I-4-COMPORTEMENT DU BETON : [18].....                              | 14 |
| I-4-1- INTRODUCTION.....   | 14 |
| I 4-2 COMPORTEMENTS MECANQUES DU BETON A TEMPERATURE AMBIANTE..... | 14 |
| I-5 CONCLUSION.....  | 20 |

## CHAPITRE II :

### BETONNAGE DANS LES REGIONS CHAUDES ET PONDANT UNE TEMPERATURE ELVEE

|  |    |
|--|----|
| II- 1INTRODUCTION.....   | 22 |
| II-2CONSEQUENCES D'UNE AUGMENTATION DE LA TEMPERATURE SURLES BETONS..... | 22 |
| II-3.PRECONISATIONS POUR LE BETONNAGE PAR TEMPS CHAUD.....               | 26 |
| II-4 RETRAITS.....   | 27 |
| II-4-1 DEFINITION.....   | 27 |
| II-4-2. TYPES DE RETRAITS.....   | 27 |
| II-4-3-LES CAUSE DE RETRAIT [22].....                                    | 30 |
| II-4-4-LES CONSEQUENCES DU RETRAIT.....                                  | 31 |
| II-5. LES FISSURATIONS.....  | 31 |
| II-5-1-INTRODUCTION.....   | 31 |
| II-5-2-DIFFERENTS TYPES DE FISSURES.....                                 | 32 |

---

|  |    |
|--|----|
| <i>II-5-3-LES DIFFERENTES CAUSES DE FISSURATIONS</i> ..... | 32 |
| <i>II-5-4 MECANISME DE LA FISSURATION</i> .....            | 33 |
| <i>II-6-LES FACTURES INFLUENÇANT LE BETONNAGE</i> .....    | 35 |
| <i>II-6-1-INFLUENCE DU DOSAGE EN CIMENT</i> .....          | 35 |
| <i>II-6-2-INFLUENCE DU TYPE DE CIMENT</i> .....            | 35 |
| <i>II-6-3-INFLUENCE DE RAPPORT E/C</i> .....               | 36 |
| <i>II-6-4-INFLUENCE DU RAPPORT GRANULAT/CIMENT</i> .....   | 37 |
| <i>II-6-5-INFLUENCE DES GRANULATS</i> .....                | 38 |
| <i>II-6-6-INFLUENCE DE LA TEMPERATURE</i> .....            | 41 |
| <i>II-6-7-INFLUENCE DE L'AGE</i> .....                     | 42 |
| <i>II-7. CONCLUSION</i> .....                              | 42 |

**CHAPITRE III :**

**CARACTERISATION DES MATERIAUX ET INTERPRETATION DES RESULTATS**

|   |    |
|---|----|
| <i>III-2. CARACTERISATION ET PRESENTATION DES MATERIAUX</i> ..... | 44 |
| <i>III-2-1.GRAVIER</i> .....                                      | 44 |
| <i>III-2-2 SABLES</i> .....                                       | 50 |
| <i>III.2.3 CIMENT</i> .....                                       | 55 |
| <i>III-2-4. L'EAU DE GACHAGE</i> .....                            | 56 |
| <i>III-3. FORMULATION DU BETON</i> .....                          | 56 |
| <i>III-3.1. METHODE DE J. FAURY</i> .....                         | 57 |
| <i>III-4. MATERIELS UTILISES</i> .....                            | 58 |
| <i>III-4. PREPARATION DES BETONS</i> .....                        | 59 |
| <i>III-6. CONCLUSION</i> .....                                    | 60 |

**CHAPITRE IV :**

**PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS**

|   |    |
|---|----|
| <i>IV-1. INTRODUCTION</i> .....   | 63 |
| <i>IV-2. COMPARAISON DE L'INFLUENCE DES AGREGATS (NATUREL ET ARTIFICIEL) SUR LE BETON</i><br>:..... | 63 |
| <i>IV-2-1. PRESENTATION DES RESULTATS DES FORMULATIONS</i> .....                                    | 63 |

**CONCLUSION GENERALE**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <i>CONCLUSION GENERALE</i> ..... | 74 |
|----------------------------------|----|

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

|  |    |
|--|----|
| <i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i> ..... | 77 |
| <i>ANNEXES</i> .....                     | 80 |

# Listes des Figures

## CHAPITRE I

|  |    |
|--|----|
| Figure I-1: Composition du béton ordinaire [5] .....                                       | 4  |
| Figure I-2 : test du cône d'Abrams[4] .....  | 8  |
| Figure I-3 : Comportement du béton en compression simple (Extrait de Chen 1982) [18].....  | 15 |
| Figure I-4: Résultats de l'observation aux rayons X d'une éprouvette en compression.....   | 16 |
| Figure I-5 : Comportement cyclique du béton en compression simple (Karsan 1969) [18] ..... | 16 |
| Figure I-2 : Essais de compression triaxiale (Jamet & al. 1984) [18].....                  | 17 |
| Figure I-7 : Essai de compression hydrostatique du béton (Extrait de Chen 1982) [18].....  | 18 |
| Figure I-8 : Comportement du béton en traction directe (Terrien 1980) [18].....            | 19 |
| Figure I- 9: Comportement cyclique du béton en traction.....                               | 19 |
| Figure I-10 : Essai P.I.E.D Comportement uni axial du béton sous chargement Cyclique.....  | 20 |

## CHAPITRE II

|   |    |
|---|----|
| Figure II -1: Accroissement de la température du béton en fonction de celle des constituants[18].....   | 22 |
| Figure II -2: évolution de l'affaissement au cône en fonction de la température [18].....   | 23 |
| Figure II -3: évolution des résistances d'un béton en fonction de l'augmentation de la teneur en eau[18].....   | 23 |
| Figure II -4: évolution du temps de prise du béton en fonction de la température[18].....   | 24 |
| Figure II -5: évolution des résistances en compression en fonction de la température.[18].....  | 24 |
| Figure II -6: abaque permettant de calculer la vitesse d'évaporation.....   | 25 |
| Figure II -7: Définition de retrait plastique [15].....   | 27 |
| Figure II -8: Évolution du retrait chimique et retrait endogène durant les premières heures après le malaxage (Hammer, 1999) [2].....                             | 28 |
| Figure II -9: Volume absolu et volume apparent [15].....  | 29 |
| Figure II -10: Organigramme de classification des fissures selon leurs morphologies.....  | 31 |
| Figure II -11 : les différents types de fissures. ....  | 32 |
| Figure II -12 : Désignations des fissures .....   | 34 |
| Figure II -13: Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression à court term béton [13].....  | 35 |
| Figure II -14: Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme [13].....   | 36 |
| Figure II -15: Rapport E/C d'un béton confectionné avec un ciment portland à durcissement rapide.....   | 37 |
| Figure II -16: Influence du rapport G/C sur la résistance du béton. ....  | 38 |
| Figure II -17: Variation de la résistance à la compression selon le rapport G/S avec Différentes plasticités [10].  | 40 |
| Figure II -18: Effets de la granularité sur la résistance du béton [15].....  | 40 |
| Figure II -19: Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances [9].....                 | 41 |
| Figure II -20: Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire. .... | 42 |

**CHAPITRE III**

|  |    |
|--|----|
| <i>Figure III-1: Opération de quartage.</i> .....                                | 45 |
| <i>Figure III-2: Appareil de tamisage et série des tamis utilisée.</i> .....     | 45 |
| <i>Figure III-3: Courbe granulométrique des trois classes de graviers.</i> ..... | 46 |
| <i>Figure III-4: Courbe granulométrique de gravier Naturel.</i> .....            | 47 |
| <i>Figure III-5:série des tamis utilisée</i> .....                               | 51 |
| <i>Figure III-6: Courbe granulométrique pour les sables étudiés.</i> .....       | 52 |
| <i>Figure III-7:Essai Equivalent de sable</i> .....                              | 53 |
| <i>Figure III-8: Essai de Bleu méthylène</i> .....                               | 54 |
| <i>Figure III-9: Bétonnière.</i> .....   | 58 |
| <i>Figure III-10: Cône d'Abrams</i> .....  | 59 |
| <i>Figure III-11: pèse de l'éprouvette par la balance numérique</i> .....        | 59 |
| <i>Figure III-12: confection et conservation d'éprouvette.</i> .....             | 60 |

**CHAPITRE IV**

|  |    |
|--|----|
| <i>Figure IV. 1- Mise en place et mesure de l'affaissement du béton</i> .....            | 64 |
| <i>Figure IV- 2: Affaissement des quatre composants</i> .....                            | 64 |
| <i>Figure IV- 3: La machine de compression</i> .....                                     | 65 |
| <i>Figure IV- 4: Variation de la résistance à l'intérieur en fonction d'âge.</i> .....   | 66 |
| <i>Figure IV- 5: Variation de la résistance à l'extérieur en fonction d'âge.</i> .....   | 67 |
| <i>Figure IV- 6: Résistance à la compression en fonction d'âge pour C1</i> .....         | 67 |
| <i>Figure IV- 7: Eprouvettes de composition C1 après écrasement</i> .....                | 68 |
| <i>Figure IV- 8: Résistance à la compression en fonction d'âge pour C2</i> .....         | 68 |
| <i>Figure IV- 9: Résistance à la compression en fonction d'âge pour C3</i> .....         | 69 |
| <i>Figure IV- 3: Eprouvettes de composition C3 après écrasement</i> .....                | 69 |
| <i>Figure IV- 11: Résistance à la compression en fonction d'âge pour C4.</i> .....       | 70 |
| <i>Figure IV- 12: Résistance à la compression en fonction d'âge pour C1 et C3.</i> ..... | 70 |
| <i>Figure IV- 13- Résistance à la compression en fonction d'âge pour C2 et C4.</i> ..... | 71 |

# LISTE DES tableaux

## CHAPITRE I

|  |    |
|--|----|
| Tableau I. 1: Différents types de ciment [6].....                                    | 5  |
| Tableau I- 2 : Types de béton en fonction de leur destination.[15].....              | 11 |
| Tableau I-4 : Types de béton en fonction de leur masse volumique [15].....           | 11 |
| Tableau I-5 : Types de béton en fonction de $\square\square\square\square$ [15]..... | 12 |
| Tableau I-6 : Types de béton en fonction de leur consistance[15].....                | 12 |

## CHAPITRE II

|  |    |
|--|----|
| Tableau II 1: Les différentes causes de fissuration.....   | 32 |
| Tableau II 2 :Mécanisme des fissures.....  | 34 |
| Tableau II 3: Principales qualités des bétons en fonction de leur (G/S) et leur granularité..... | 39 |

## CHAPITRE III

|   |    |
|---|----|
| Tableau III 1 : Résultats de l'analyse granulométrique des graviers.....          | 46 |
| Tableaux III-2 : Résultats d'aplatissement des graviers.....                      | 47 |
| Tableaux III-3 : Résulta de masse volumique absolue des graviers.....             | 48 |
| Tableaux III-4 : Résultats d'absorption d'eau des graviers utilisés.....          | 48 |
| Tableaux III-5: Résultats Propreté superficielle des graviers.....                | 48 |
| Tableaux III-6: Résultats de LOS ANGELES pour les trois graviers.....             | 49 |
| Tableaux III-7: Résultats de l'essai Micro Deval pour les graviers utilisés.....  | 49 |
| Tableaux III-8: Résultats des analyses chimiques du gravier.....                  | 49 |
| Tableaux III-9: Résultats de l'analyse granulométrique des sables.....            | 51 |
| Tableaux III-10: Résulta du Module de finesse.....                                | 52 |
| Tableaux III-11: résulta d'équivalent de sable.....                               | 53 |
| Tableaux III-12: résultats de la masse volumique.....                             | 54 |
| Tableaux III-13: résultats de Bleu méthylène.....                                 | 54 |
| Tableaux III-14: résultats d'analyse chimiques.....                               | 55 |
| Tableaux III-15: résultats d'essai mécanique.....                                 | 55 |
| Tableaux III-16: résultats d'essais physiques.....                                | 55 |
| Tableaux III-17: Composition des différents constituants des bétons préparés..... | 57 |

## CHAPITRE IV

|  |    |
|--|----|
| Tableau IV. 1: résulta d'Affaissement.....                                     | 64 |
| Tableau IV 2: Résultats de résistance à la compression à 7,14 et 21 jours..... | 66 |

## **NOTATIONS**

$\square$ : *Module de finesse*

*MD* : *Coefficient Micro-Deval*

*E<sub>s</sub>* : *Equivalente de sable*

*AP* : *Coefficient d'aplatissement*

*R<sub>c</sub>* : *Résistance à la compression*

*E/C* : *L'eau sur ciment*

*G/S* : *Gravier / sable.*

*V<sub>t</sub>* : *Volume total absolu*

*V<sub>s</sub>* : *volume absolue de gravie.*

*Aff* : *Affaissement.*

$\gamma_{Abs}$  : *la masse volumique absolue.*

*M<sub>a</sub>* : *la masse de gravie a l'air.*

*P(%)* : *la porosité*

*LA* : *los Angeles*

*SDS* : *sable de dune sali*

*SCB* : *sable concassé BOUHAOU KOUSSANE.*

*Gr A* : *gravier artificiel.*

*Gr N* : *gravier naturel.*



# INTRODUCTION GENERALE

## **INTRODUCTION GENERALE**

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 [1].

Le Sahara Algérien est l'une des régions les plus tempérées de la terre, la température peut dépasser 65°C au sol avec une très faible humidité relative. Avec le lancement des grands projets d'investissement et d'infrastructure dans ces régions, la maîtrise du bétonnage par climat chaud devient une nécessité de grande importance.

Le bétonnage par temps chaud, c'est quand le béton est malaxé, transporté, et mis en place dans une température ambiante élevée avec une faible humidité relative et sous une radiation solaire ou exposée au vent.

Les principaux problèmes liés au bétonnage par temps chaud sont :

Pour le béton frais : une augmentation de la demande en eau, une augmentation de la perte d'affaissement, une augmentation de la vitesse de prise, et une grande tendance de fissuration due au retrait plastique [2].

La température dans les régions du sud atteint des valeurs très importantes qui affectent la résistance et la durabilité du béton, ce dernier se détériore régulièrement de l'extérieur vers l'intérieur pendant l'échauffement. Ce processus conduit à une dégradation des propriétés physiques, les propriétés de transport et les performances mécaniques du béton. Il change sa microstructure. Les dommages peuvent affecter : Stabilité de la structure et réduction de la résistance [3].

L'objectif de notre projet de fin d'études est d'étudier l'influence de types agrégats (artificiels et naturels) sur la propagation des fissures dans le béton ordinaire fabriqué de composants locaux, c'est-à-dire de la région d'Adrar (KOUSSAN), sous les conditions climatiques des régions chaudes.

Dans ce mémoire et pour chaque étude une synthèse bibliographique est associée aux problématiques étudiées, elle permet de faire l'état de connaissance de chaque problématique les deux premiers chapitres sont consacrés aux présentations du matériau objet de cette étude et ses compositions et le bétonnage dans une région chaude et température levée, le troisième chapitre et le quatrième consiste à l'étude expérimentale ainsi la caractérisation des matériaux composantes du béton puis la discussion et l'analyse des résultats en montrant la corrélation entre la propagation des fissures et le type des agrégats en plus l'influence des conditions climatiques et le choix du mélange sur la résistance de béton.

**CHAPITRE I :**  
**COMPOSITIONS DU BETON EST SON**  
**COMPORTEMENT**

## I-1 Introduction :

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

Le béton est un matériau artificiel obtenu en mélangeant en proportions convenables et de manière homogène, du ciment (liant), un granulat (sable + gravier), de l'eau et éventuellement des adjuvants [1].

## I-2 Le béton :

### I-2-1 Définition :

Le béton est un matériau indispensable dans la construction des ouvrages en génie civil, comme les bâtiments, les ponts, les barrages, les châteaux d'eau, etc. Le matériau de construction « Béton » a vécu plus d'un siècle dans lequel il a connu un large domaine d'applications.

Le béton usuel est composé de quatre constituants principaux : le ciment, l'eau, le sable et le gravier (Figure I.1). Le sable et le gravier forment le squelette granulaire du béton, le ciment et l'eau forment la pâte qui a pour rôle de coller les granulats et d'assurer le durcissement du béton [5].

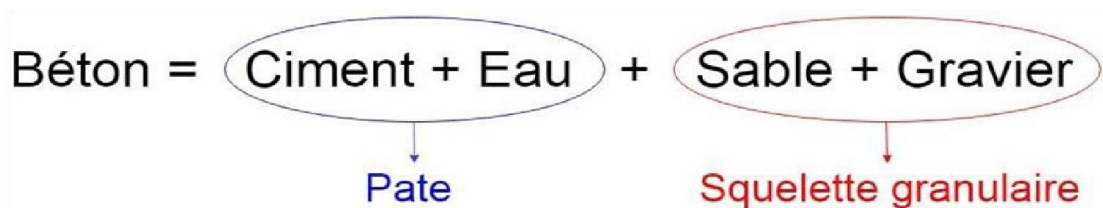


Figure I-1: Composition du béton ordinaire [2].

### I-2-2 Composition du béton :

#### I-2-2-1 Ciment :

Les ciments les plus courants dans le monde du génie civil, sont les ciments à base de clinker Portland, produit obtenu par la cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile à 1450°C. Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre minérale fine, s'hydratant en présence d'eau, et forme une pâte qui fait prise et durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. Le durcissement du ciment est principalement dû à l'hydratation du silicate tricalcique

Un composant majeur du clinker. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide [3].

❖ **Rôle de ciment** : C'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients [4].

❖ **Les différents types de ciment** :

*Tableau I. 1: Différents types de ciment [3].*

| Désignations                                   | Type de ciments                  | Teneur en clinker               |
|--|----------------------------------|---------------------------------|
| CPA_CEM I                                      | Ciment Portland                  | 95 à 100‰                       |
| CPJ_CEM II /A<br>CPJ_CEM II /B                 | Ciment portland compose          | 80 à 94‰<br>65 à 79‰            |
| CHF_CEM III/A<br>CHF_CEM III/B<br>CHF_CEM III/ | Ciment de haut fourneau          | 35 à 64‰<br>20 à 34‰<br>5 à 19‰ |
| CPZ_CEM IV/A<br>CPJ_CEM IV/B                   | Ciment pouzzolanique             | 65 à 90‰<br>45 à 64‰            |
| CLC_CEM V/A<br>CLC_CEM V/B                     | Ciment au laitier et aux cendres | 40 à 64‰<br>20 à 39‰            |

❖ **Les composants du ciment** : [8]

- Le silicate tricalcique (C3S)  $3\text{CaOSiO}_2$
- Le silicate bicalcique (C2S)  $2\text{CaOSiO}_2$
- L'aluminate tricalcique (C3A)  $3\text{CaOSiO}_2$
- Le Ferro aluminate tetracalcique (C4AF)  $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_2$

#### I-2-2-2-Les granulats :

La norme expérimentale XP18-545 et la norme EN 12620 définissent les caractéristiques des granulats pouvant être utilisés pour la confection des bétons hydrauliques (béton dont le liant est un liant hydraulique). [5]

❖ **Classification des granulats** : [6]

On peut classer les granulats en fonction de leur granularité déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à maille carrées dans une série normalisée, qui nous peut aider à distinguer plusieurs familles de granulats.

- Fillers 0/D où  $D \leq 2\text{mm}$  et contenant au moins 70% de passant à 0.063mm.
- Sablons 0/D où  $D \leq 1\text{mm}$  et contenant au moins 10% de passant à 0.063mm.
- Sable 0/D où  $D \leq 6.3\text{mm}$  sauf les sables pour béton où  $D \leq 4\text{mm}$ .



- Graves 0/D où  $D > 6.3$  mm
- Gravillons d/D où  $d \geq 1$  mm et  $D \leq 31.5$  mm.
- Cailloux d/D où  $d \geq 20$  mm et  $D \leq 125$  mm

❖ **Les types des granulats :**

On peut citer plusieurs types en fonction de plusieurs critères concernant le granulat lui-même.

➤ En fonction de leur masse volumique réelle :

- ✓ Granulats légers.
- ✓ Granulats courant.
- ✓ Granulats lourds.

➤ En fonction de leur origine :

- ✓ Les granulats naturels.
- ✓ Les granulats artificiels.

➤ En fonction de la forme de leurs grains :

- ✓ Les granulats concassés .
- ✓ Les granulats roulés. [7]

❖ **Le rôle de granulats:**

Ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance.

C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats. [7]

**I-2-2-3L'eau :**

Le dosage en eau est un facteur très important de la composition du béton, on bien l'influence qu'il a sur la propriété du béton par les vides créés, lorsque l'eau s'élimine pour différentes raisons (évaporation, combinaison chimique, absorption par les granulats). [8]

❖ **Le rôle de l'eau :**

C'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable. Dont l'eau a essentiellement deux fonctions une fonction physique, qui conféré au béton frais les propriétés rhéologiques d'un liquide (permettant donc son écoulement et le moulage), et une fonction chimique en tant que liant de la poudre de ciment. Elle sert aussi à mouiller les agrégats, et donc à assurer un bon lien avec la pâte de ciment. [4]

#### I-2-2-4 Adjuvants : [9]

Les adjuvants sont des matériaux actifs ajoutés en très petite quantité (souvent liquide) dans le but d'influencer certaines propriétés par une action chimique ou physique. Ils ne doivent pas modifier défavorablement la durabilité du béton ou toute autre propriété du béton armé. Il faut également veiller à la compatibilité des adjuvants et additifs entre eux. Cela se fait à l'aide de tables.

##### ❖ Les différents types des adjuvants :

- Les plastifiants.
- Les plastifiants réducteurs d'eau et les supers plastifiants.
- Les accélérateurs de prise et de durcissement et les retardateurs de prise.
- Les entraîneurs d'air et les hydrofuges de masse.
- Les rétenteurs d'eau.

Les adjuvants qui influent au bétonnage au temps chaud sont :

##### ✚ Retardateurs de prise :

ils agissent chimiquement comme les accélérateurs. Ils donneraient naissance à des produits colloïdaux enveloppant les grains de ciment et retarderaient ainsi la progression de l'hydratation pendant un certain temps. Les doses des produits purs à utiliser sont extrêmement faibles. Il faut se méfier des excès de dosage qui risquent de retarder considérablement les temps de prise. Les retardateurs sont généralement efficaces à 20°C comme à des températures plus élevées.

- Utilisation : ils sont à recommander pour les travaux suivant :
  - Bétonnage par temps chaud.
  - Pour supprimer les reprises de bétonnage.
  - Pour le transport sur une longue distance.
  - Préparé en centrale.
  - Béton pompé, mortier d'enduit projeté, travaux d'injection.

#### I-2-3 Propriétés du béton : [13]

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 entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines

### I-2-3-1 Propriétés du béton frais :

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

Parmi les essais qui nous permettent de calculer l'ouvrabilité d'un béton on situe :

- Affaissement au cône d'abrams

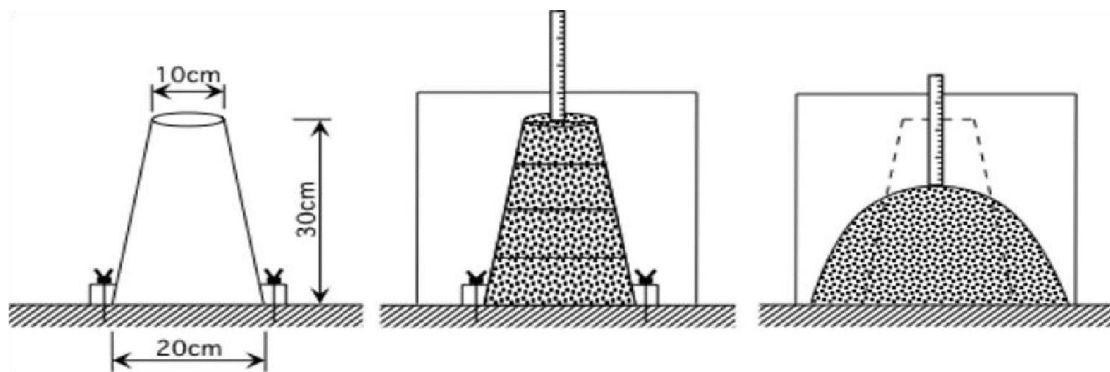


Figure I-2 : test du cône d'Abrams[1].

- Table à choc

### I-2-3-2 propriétés du béton durci :

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

La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.

- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.
- Propriété physique (étanchéité, porosité, perméabilité, absorption capillaire) [10].

### I-2-3-3 Propriétés Rhéologiques : [11]

Tous les matériaux, et entre autres le béton, sont à des degrés divers, viscoélastique. Le facteur temps intervient donc dans leur comportement et dans la formulation de leurs déformations. Il faut donc distinguer les déformations instantanées, des déformations différées qui se produisant au cours du temps cela est d'autant plus vrai pour le béton dont la résistance s'accroît asymptotiquement avec le temps à mesure que se complète l'hydratation du ciment.

- **Retrait** : C'est la diminution de longueur d'un élément de béton. On l'assimile à l'effet d'un abaissement de la température qui entraîne un raccourcissement.
- **Fluage** : la déformation d'un élément en béton soumis à un chargement de longue durée est la somme de la déformation dite instantanée et la déformation différée due au fluage.
- **Déformation instantanée** : c'est la déformation qui se produit sous l'effet d'un chargement de courte durée (jusqu'à quelques jours). Elle peut être évaluée à partir de la valeur du module instantané :

$$E_{ij}=11000(f_{cj})^{1/3} \text{ (I.1) } \dots\dots\dots \text{ (I.1)}$$

- **Déformation différée** : le chargement étant maintenu constant, la déformation croît lentement, à vitesse décroissant, jusqu'à atteindre, après plusieurs années, sa valeur maximale qui est, en ordre de grandeur, le double de celle de la déformation instantanée. Dans ce cas, le module vrai de béton  $E_v$  est égal à

$$E_{vj}=1/3E_{ij} \text{ (I.2) } \dots\dots\dots \text{ (I.2)}$$

### I-2-4. Caractéristique mécanique : [12]

#### ❖ Résistance mécanique :

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

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

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

❖ **Résistance à la compression :**

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

❖ **Résistance à la traction :**

Elle est moins étudiée que la résistance en compression car le béton est conçu essentiellement pour résister à la compression, et son comportement en traction est quasi fragile. Le comportement en traction du béton peut être identifié par l'essai de flexion sur trois points, désigné par  $f_{t28}$ . [12].

**I-2-5 Autre caractéristique : [13]**

❖ **Ouvrabilité :**

Est l'aptitude d'un béton à une bonne adéquation à méthode de sa mise en œuvre dans un ouvrage donné compte tenu de ces caractéristiques. Elle est influencée par la granulométrie et la forme des granulats, par le dosage en ciment et en eau, par l'emploi éventuel d'adjuvant. Les essais de mesure de consistance du béton les plus courants sont l'essai d'affaissement au cône d'Abrams (norme NF P 18-451) et l'essai d'étalement à la table à secousse. Mais les essais et indice de serrage ne s'appliquent qu'à des bétons très fermes.

❖ **La compacité et la porosité :**

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

➤ Les pores capillaires ( $0.01 \mu\text{m} \leq \Phi \leq 0.5 \mu\text{m}$ ) occupent les espaces entre les grains de ciment en suspension dans l'eau, leur taille et leur volume dépendent du rapport E/C. La perméabilité du matériau est essentiellement dépendante de ces pores.

➤ Les pores relatifs aux hydrates ou pores des gels ( $\Phi > \text{angströms}$ ) sont présents dans le gel. le volume de ces pores n'est pas affecté par le rapport E/C. ces

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

➤ Les bulles d'air occlus ( $\Phi > 1\text{mm}$ ) piégées non intentionnellement à l'intérieur du béton lors du malaxage du béton frais.

❖ **Effet de coefficient de poisson v:**

Le Coefficient de poisson relatif au béton non fissuré varie entre 0.15 et 0.20 pour une contrainte en compression  $\sigma_c$  inférieur à  $0.7\sigma_c'$ .

## I-2-6-Types de béton

### I-2-6-1.Leur destination :

*Tableau I- 2 : Types de béton en fonction de leur destination.[13]*

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

### I-2-6-2- Leur masse volumique :

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

*Tableau I -3 : Types de béton en fonction de leur masse volumique [13].*

| Types de béton                       | Béton léger   | Béton normal   | Béton lourd       |
|--------------------------------------|---------------|----------------|-------------------|
| Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> ) | De 800 à 2000 | De 2000 à 2600 | Supérieure à 2600 |



**I-2-6-3-Leur granularité :**

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

**Tableau I-4 : Types de béton en fonction de  $\phi_{max}$  [13].**

| Classes du béton                              | Béton fin                            | Béton moyen                   | Béton gros                           |
|---|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Dimension maximale des granulats $\phi_{max}$ | $8 \leq \phi_{max} \leq 16\text{mm}$ | $16 \leq D < 31.5 \text{ mm}$ | $31.5 \leq \phi_{max} < 63\text{mm}$ |

**I-2-6-4 - Leur consistance (cône d'Abrams):**

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

**Tableau I-5 : Types de béton en fonction de leur consistance[13].**

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

**I.3. Les différents types des granulats : [14]****I. 3.1-Le granulat naturel :****a. origine minéralogique :**

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

**b. granules roulé et granules de carrières :**

Indépendamment de leur origine minéralogique, on class 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 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.

- Les granulats de carrière sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassés 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 la sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur un échantillon.

### 1.3.2 Les granulats artificiel : [15]

#### a. 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 1 250 kg/m pour le laitier cristallisé concassé, 800 kg/m' pour le granule.

Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers. Les différentes caractéristiques des granulâtes de laitier et leurs spécifications font l'objet des normes NF P 18-302 et 18-306

#### b. 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 (granulats ferreux, carborundum. ) ou granulats réfractaires.

#### c. Granulats allégés par expansion ou frittage :

Ces granulats, 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 (norme NF P 18-309) et le laitier expansé (NF P 18-307). D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m' selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que bétons présentant une bonne isolation thermique. Les grains de poids intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m.

**d. 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 coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants.

**I.3.3 Granulats recyclés : [16]**

Obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments. Ce sont essentiellement des granulats obtenus par recyclage de béton de démolition.

**I-4-Comportement du béton : [16]****I-4-1- Introduction :**

La complexité de la microstructure du matériau béton est une des causes des particularités de son comportement mécanique. Le comportement très complexe et les mécanismes qui conduisent à sa modification peuvent être bien définis, seulement en étudiant le béton au niveau microscopique, et en prenant en considération ses modifications physico-chimiques et les réactions qui ont lieu lors de chargement. Et leurs conséquences sur le comportement macroscopique.

**I 4-2 comportements mécaniques du béton à température ambiante :**

Dans ce qui suit, on présente un aperçu du comportement mécanique du béton à température ambiante sous divers types de sollicitations, en passant en revue son comportement sous sollicitation de compression simple et cyclique, traction simple et cyclique.

**I-4-2-1 Comportement en compression :**

L'essai de compression uni axiale est un essai qui a largement été étudié afin de connaître la résistance en compression. L'allure générale de la courbe contrainte-déformation est donnée par la Figure I.3. On observe principalement que la réponse est presque linéaire jusqu'à 30% de la limite en compression simple  $f_c$ . En dépassant ce point, on observe que la courbe devient de plus en plus non linéaire jusqu'à 75% de la limite en compression simple. Au-delà, la courbe présente un pic suivi d'une branche post-pic correspondant à un comportement adoucissant **Figure I.3-a**. Cette branche post-pic est associée à une forte dilatance (expansion latérale) **Figure I.3-b**, qui donne la variation de la contrainte appliquée en fonction de la variation de volume de l'éprouvette.

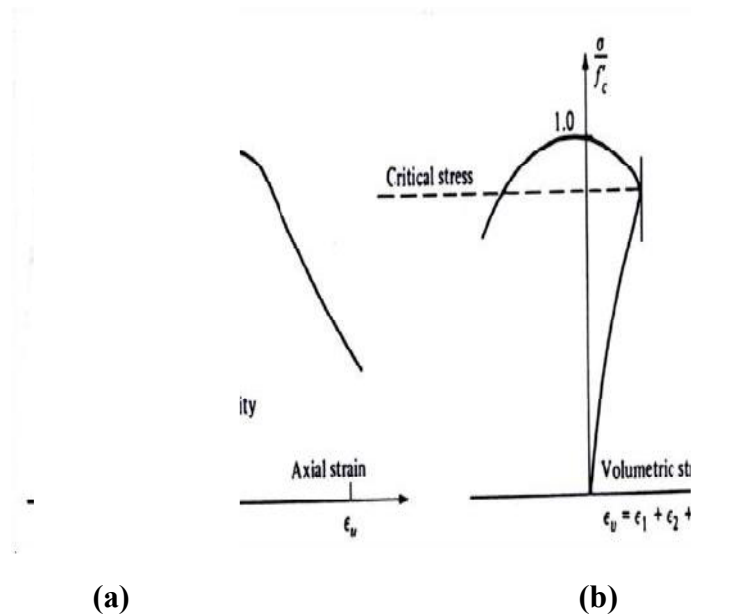
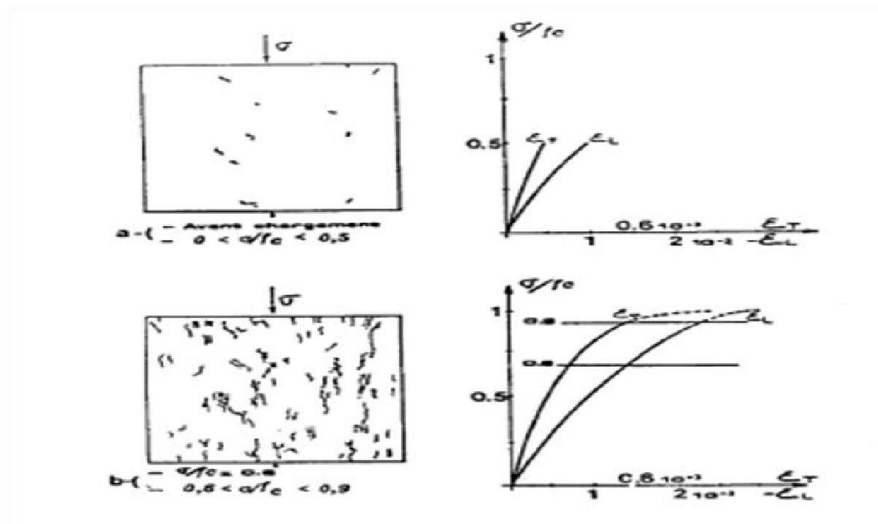


Figure I-3 : Comportement du béton en compression simple (Extrait de Chen 1982) [16].

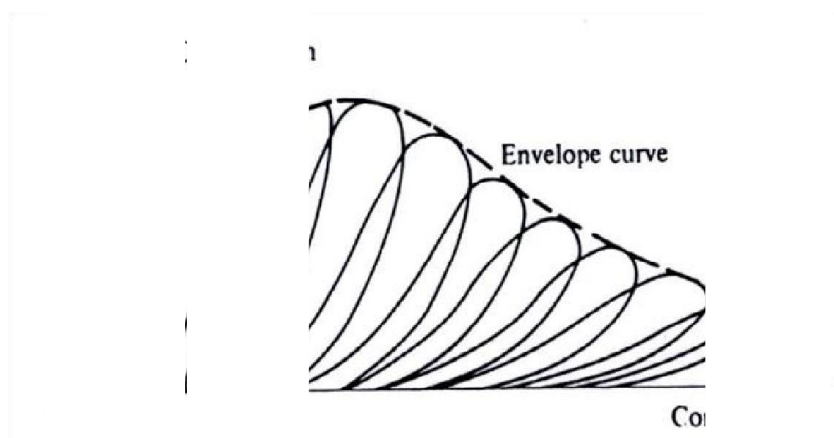
L'interprétation micro-mécanique de ce comportement a fait l'objet de nombreux travaux (Lorrain 1974, Mazars 1984, Berthaud 1988) et il est maintenant bien admis que la dégradation est essentiellement liée au développement de micro-fissures. Le développement des micro-fissures est lié selon plusieurs auteurs, (Lorrain 1974, Mazars 1984) à l'effet des extensions ( $\epsilon > 0$ , déformation positive). Des observations au microscope optique sur des tranches de matériaux présollicités ont montré que l'orientation privilégiée des micro-fissures est perpendiculaire aux directions d'extensions, créant dans un premier stade une anisotropie du comportement du béton, et dans un stade ultime des surfaces de rupture de même sens Figure I.4. De plus, il a été montré (Torrenti 1994) que les déformations se localisent dans l'éprouvette au pic d'effort, ce qui montre que le comportement post-pic observé est celui d'une structure dans laquelle le matériau ne répond pas d'une manière homogène.



**Figure I-4: Résultats de l'observation aux rayons X d'une éprouvette en compression (Robinson 1965)[16].**

L'essai cyclique en compression simple présenté à la Figure I.5, permet d'obtenir d'autres renseignements sur le comportement du béton. D'une part, il permet de confirmer le rôle prépondérant du développement de la micro-fissuration qui provoque une dégradation des caractéristiques élastiques du matériau, et d'autre part, de mettre en évidence le développement de déformations permanentes. Celles-ci sont le plus souvent expliquées par l'effet de frottement entre surfaces des micro-fissures et la non refermeture complète des micro-fissures après déchargement.

Un autre renseignement peut être tiré de cette figure, il concerne le développement de boucles d'hystérésis. Ce phénomène peut être lié à deux aspects : d'une part, au frottement entre lèvres de micro-fissures en cours de refermeture ou réouverture de celles-ci, et d'autres part, au mouvement de l'eau dans la structure micro-poreuse de la pâte de ciment hydratée (Rossi 1986, Acker 1987).



**Figure I-5 : Comportement cyclique du béton en compression simple (Karsan 1969) [16].**

De ce qu'on a vu précédemment, on peut s'attendre à une sensibilité du matériau béton à l'application de contrainte de confinement. C'est effectivement ce qui a été démontré par plusieurs auteurs (Richart & al. 1928, Balmer 1949, Jamet & al. 1984). On peut constater sur la Figure I.6 que la réponse du béton est d'autant moins fragile que le confinement est important et que l'on obtient un comportement ductile pour les très grands confinements. Ce gain de rigidité est lié à l'augmentation des contacts au sein de la micro-structure du matériau béton qui est une conséquence de la destruction des pores (Chen 1982, Ramtani 1990).

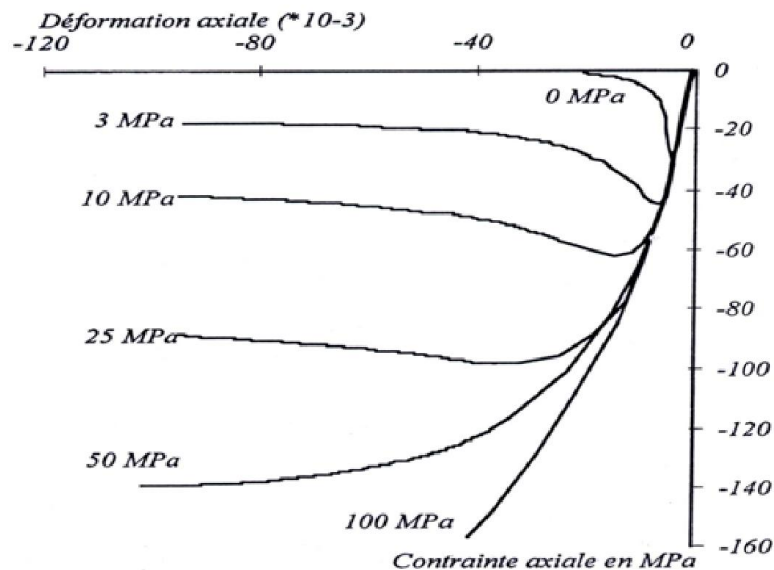


Figure I-6 : Essais de compression triaxiale (Jamet & al. 1984 [16]).

En ce qui concerne le comportement du béton sous chargements hydrostatiques, le béton présente un comportement non linéaire. La Figure I-7, présente le comportement expérimental dans le cas d'une compression hydrostatique (Chen 1982). On remarque sur cette figure trois phases de comportement : une phase élastique linéaire, une deuxième phase d'assouplissement correspondant à l'effondrement progressif de la structure micro-poreuse de la pâte de ciment hydraté et une dernière phase de raidissement liée à l'augmentation des contacts au sein de la matière qui est une conséquence de la destruction des pores.



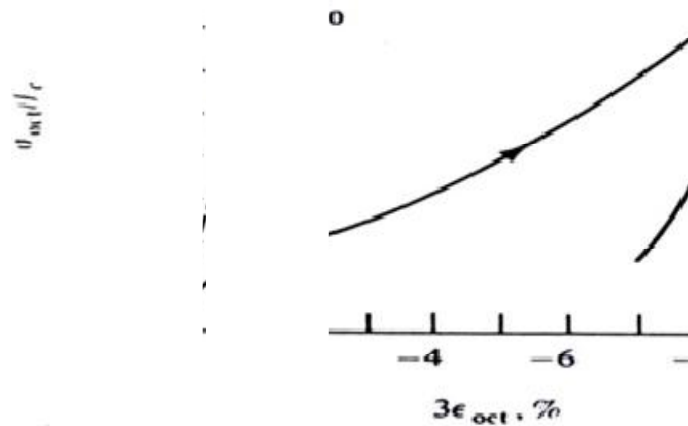


Figure I-7 : Essai de compression hydrostatique du béton (Extrait de Chen 1982) [16].

#### I-4-2-2 Comportement en traction :

Bien que le béton soit principalement conçu pour résister à la compression, la connaissance de ses propriétés en traction est importante pour une description complète de son comportement matériel. On peut faire la remarque ici sur la difficulté de la réalisation de ce type d'essais, c'est pourquoi on fait souvent appel à des essais indirects pour déterminer ce comportement.

La Figure I-8, présente la courbe contrainte-déformation pour le béton en traction simple (essai de traction directe). Dans cette figure, on peut distinguer deux phases importantes du comportement du béton : dans une première phase, le comportement est quasiment élastique linéaire avec une légère perte de raideur juste avant d'atteindre le pic. Une deuxième phase (phase adoucissante), après le pic, est caractérisée par une chute presque brutale de la contrainte. Durant cette phase, les micro-fissures bifurquent dans la pâte de ciment et se propagent en mode I, essentiellement pour constituer une fissure continue perpendiculaire à l'extension principale.

Les cycles charge-décharge permettent de constater une chute importante de la raideur en fin d'essai ( $E=E_0/2$ ) et l'apparition de déformation résiduelle. Dans son état ultime, l'essai de traction directe conduit à une fissure unique, localisée et perpendiculaire à la direction d'extension.

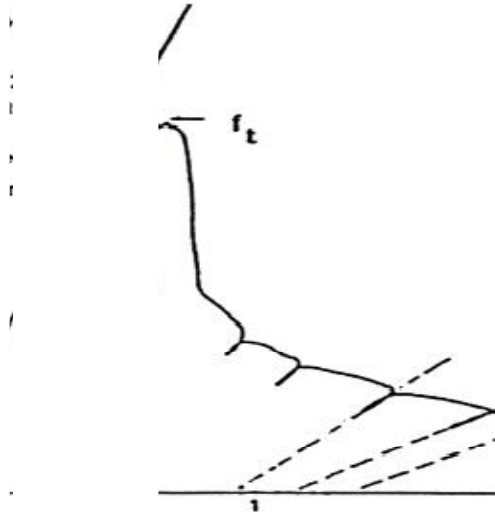


Figure I-8 : Comportement du béton en traction directe (Terrien 1980) [16].

L'essai de traction cyclique présenté à la Figure I.9, permet de confirmer le rôle prépondérant du développement de la micro-fissuration qui provoque une dégradation des caractéristiques élastiques du matériau. On note sur la Figure I.9 que les boucles d'hystérésis sont très faibles.

Ceci paraît logique si l'on admet qu'elles sont principalement dues à des phénomènes de frottement entre lèvres de micro-fissures ; phénomènes peu importants dans ce type de sollicitation.

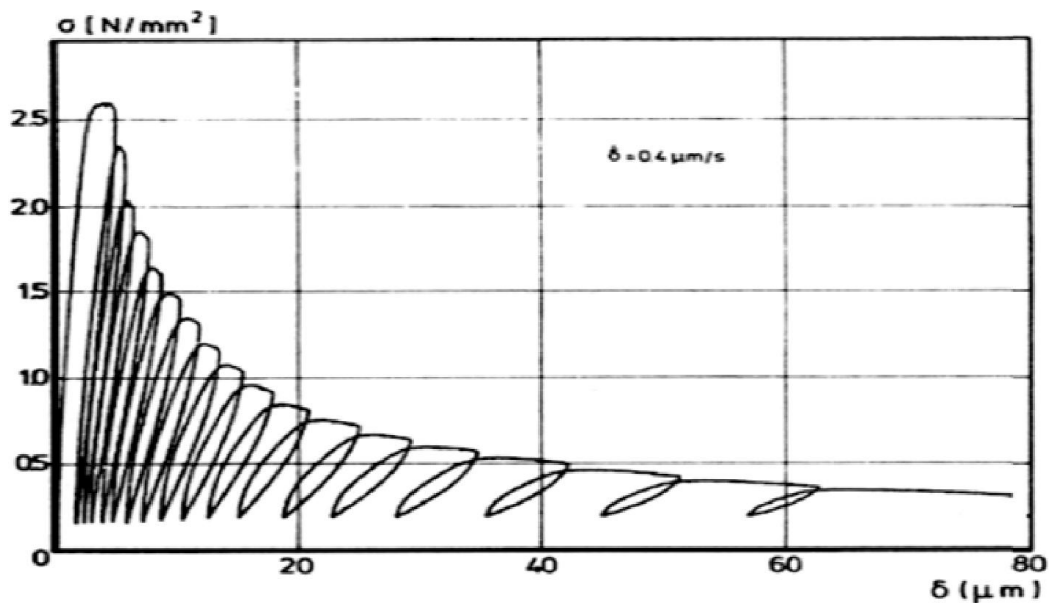
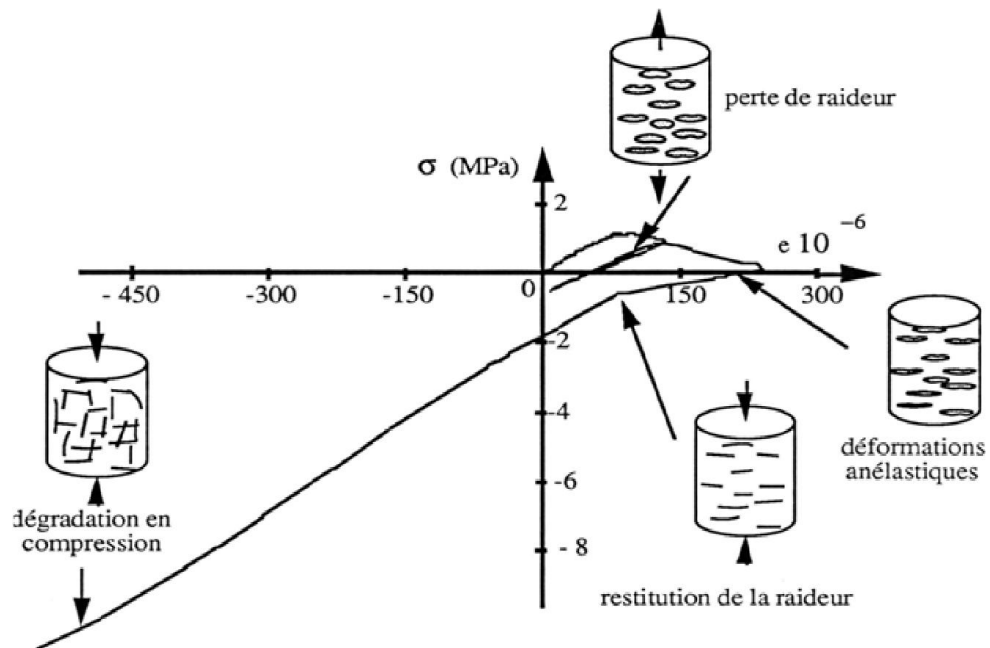


Figure I- 9: Comportement cyclique du béton en traction (Reinhardt & Corneillessen 1984) [16].

### I-4-2-3 Comportement cyclique traction-compression :

Les essais cycliques de traction-compression permettent de mettre en évidence une propriété importante du comportement du béton, c'est le caractère unilatéral. Ce phénomène consiste en une restauration de la raideur lors du passage d'un chargement en traction, où cette raideur est initialement endommagée du fait de la fissuration, à un chargement en compression **Figure I-10.**



**Figure I-10 : Essai P.I.E.D Comportement uni axial du béton sous chargement Cyclique (Ramtani 1990) [16].**

Ce comportement est lié au fait que sous contrainte de compression les fissures de traction se referment faisant en sorte qu'il n'y ait aucune interaction avec celles qui vont se créer en compression dans une direction perpendiculaire. Le béton retrouve alors un comportement de matériau sain.

### I-5 Conclusion :

Au vu des constatations expérimentales, il est important que le modèle de comportement élaboré puisse reproduire les éléments les plus importants qui s'en dégagent. Pour notre part, on retient les éléments suivants :

- Apparition d'une déformation irréversible en traction et en compression.
- Apparition d'un comportement adoucissant après le pic de contrainte.
- Dégradation de la raideur du matériau mise en évidence lors de la décharge.
- Restauration de la raideur lors de l'inversion du signe de la contrainte.

**CHAPITRE II :**  
**BETONNAGE DANS LES REGIONS CHAUDES ET**  
**PONDANT UNE TEMPERATURE ELVEE**

## II-Introduction :

Les conditions climatiques lors de la mise en œuvre ont une grande influence sur la qualité finale du béton. Il convient de se préoccuper de cette sensibilité aux températures élevées dès la préparation du béton, puis, pendant son transport, sa mise en œuvre, son durcissement et sa cure jusqu'à maturité. En règle générale, dès que la température mesurée sur chantier est durablement supérieure à 25 °C, des dispositions sont à prendre dans le programme de bétonnage, elles sont plus contraignantes encore, au-dessus de 35 °C. Ce premier sous-chapitre traite essentiellement des conséquences et préconisations du bétonnage par temps chaud [17].

### II-2 Conséquences d'une augmentation de la température sur les bétons :

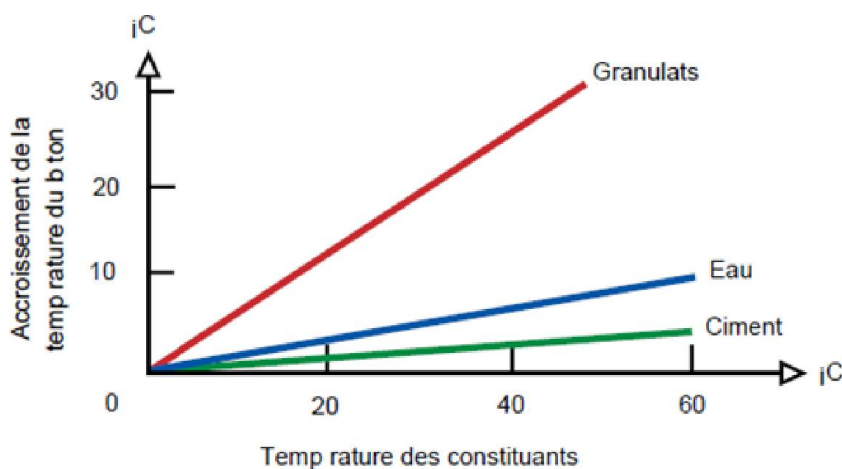
Le béton est sensible aux paramètres que sont la température, l'hygrométrie, la vitesse du vent, qui agissent sur :

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

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

- Une augmentation de 10 °C du ciment élève de 1 °C la température du béton.
- Une augmentation de 10 °C de l'eau élève de 2 °C la température du béton.
- Une augmentation de 10 °C des granulats élève de 7 °C de la température du béton

**Figure 1**

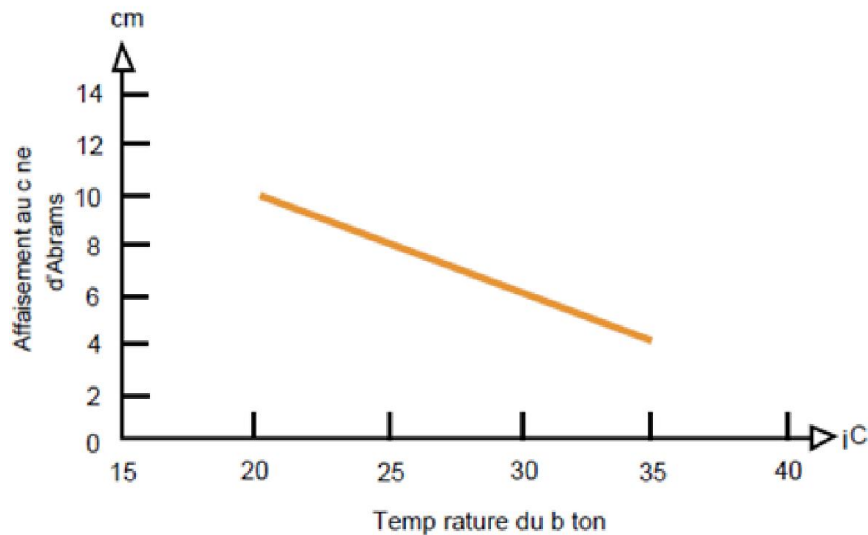


**Figure II -1: Accroissement de la température du béton en fonction de celle des constituants][17]**

Avec l'accroissement de la température du béton, les propriétés physico-chimiques du matériau sont sensiblement modifiées.

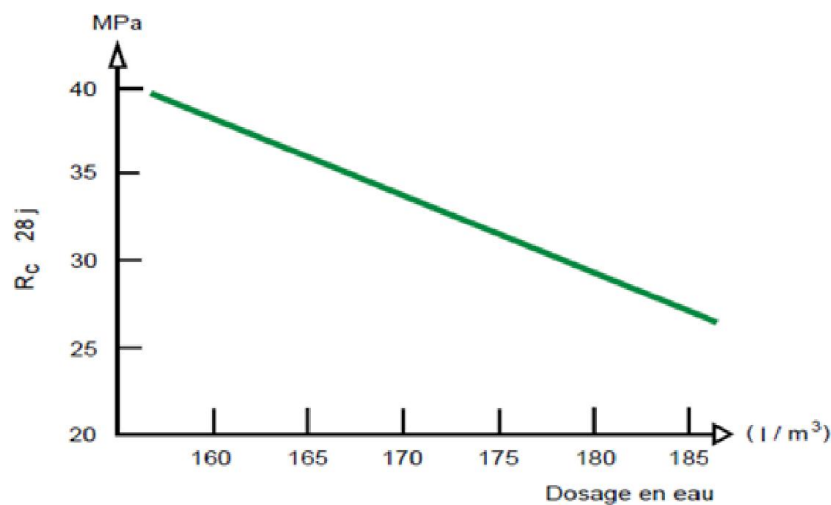
#### ❖ La Rhéologie :

Pour une composition donnée d'un béton, la maniabilité caractérisée par la mesure de l'affaissement au cône d'Abrams évolue **Figure 2**.



*Figure II -2: évolution de l'affaissement au cône en fonction de la température [17].*

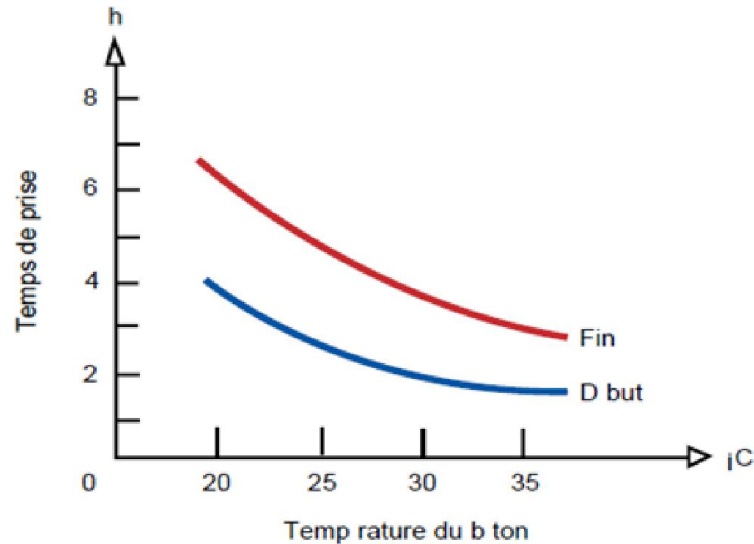
Pour une élévation de la température du béton, il y a une importante perte de l'ouvrabilité qui, en outre, peut se manifester très rapidement après la préparation du béton. La solution de rajouter de l'eau pour pallier cette perte d'ouvrabilité est interdite car elle entraîne une baisse de la résistance mécanique obtenue sur le béton à toutes les échéances **Figure 3**.



*Figure II -3: évolution des résistances d'un béton en fonction de l'augmentation de la teneur en eau [17].*

### ❖ Les temps de prise :

L'augmentation de la température accélère les réactions chimiques la prise du béton est plus rapide **Figure 4**.

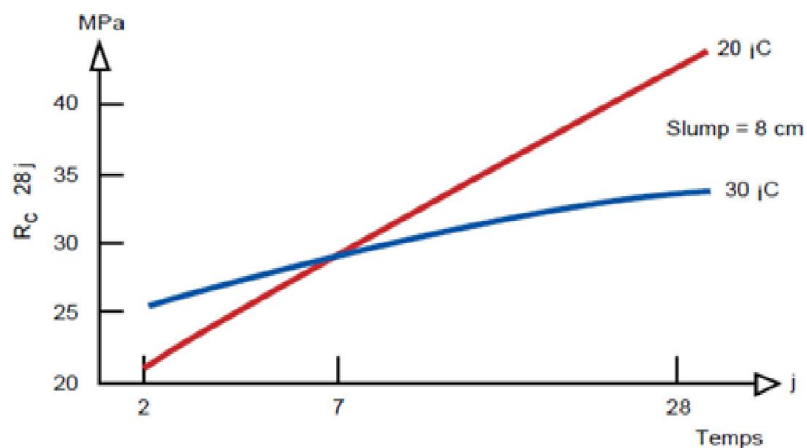


**Figure II -4:** évolution du temps de prise du béton en fonction de la température [17].

### ❖ Les Résistances mécaniques :

Une forte élévation de la température provoque aux échéances précoces (1 ou 2 jours) une augmentation de la résistance du béton. Cela se traduit généralement par une résistance du béton à 28 jours moins élevée que celle du même béton qui aurait été conservé à une température plus basse.

Il est important de tenir compte de ce phénomène (figure 5) et il faut se souvenir que les réactions d'hydratation sont plus ou moins exothermiques selon les types de ciment et que cet effet se cumule avec celui de la température extérieure.



**Figure II -5:** évolution des résistances en compression en fonction de la température [17].

## ❖ La Fissuration :

Une évaporation trop rapide de l'eau du béton peut entraîner quelques heures après le décoffrage des fissures de retrait plastique. Dans la pratique, il est conseillé de ne pas dépasser une vitesse d'évaporation supérieure à 1 kg/m<sup>2</sup>/h. Elle est d'autant plus importante que :

- la température ambiante est élevée,
- la température du béton augmente,
- l'air est sec.

L'abaque de l'American Concrete Institute (ACI) permet d'estimer la quantité d'eau évaporée du béton en fonction de ces trois paramètres Figure 6.

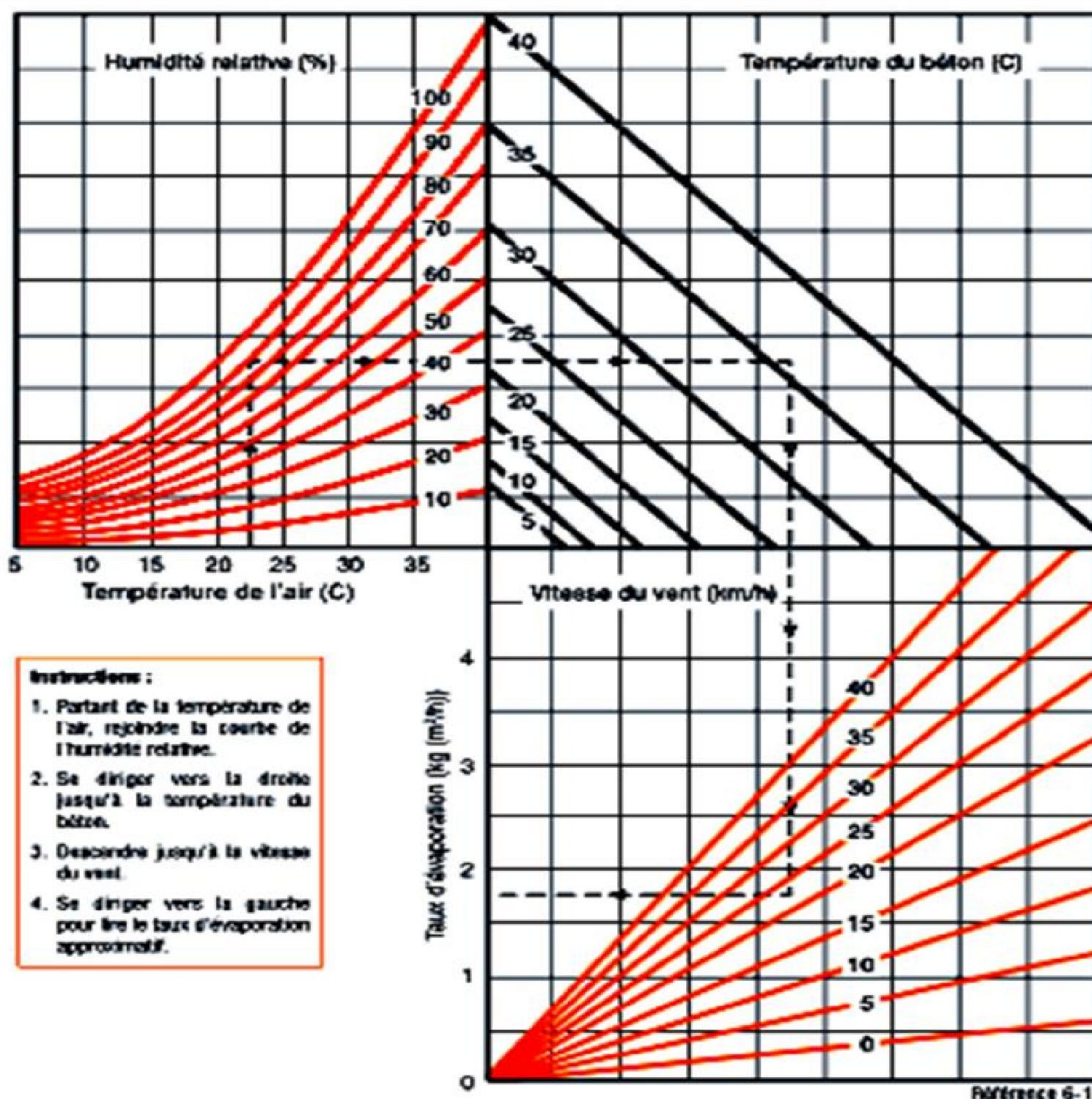


Figure II -6: abaque permettant de calculer la vitesse d'évaporation de l'eau à la surface du béton en fonction des conditions atmosphériques (Température, humidité relative, vitesse du vent et température du béton) [18].



**II-3. Préconisations pour le bétonnage par temps chaud :**

Les services météorologiques donnent des informations sur les conditions climatiques d'un site donné. Pour des chantiers importants, il peut être nécessaire de compléter l'information des services spécialisés par un suivi précis de l'évolution locale.

Par temps chaud, il conviendra de respecter quelques règles simples afin d'obtenir en œuvre un béton dont les caractéristiques correspondent aux attentes des maîtres d'ouvrage. Des modifications de la formulation du béton peuvent dans les cas extrêmes s'avérer nécessaires. À l'égard des granulats (sable, gravillon) qui constituent l'essentiel de la masse du béton, c'est au niveau des conditions de stockage que des protections sont à mettre en place, elles peuvent être complétées par un arrosage plus ou moins intensif, apport d'eau dont il convient de tenir compte dans la composition du béton. Bien que le choix du type de ciment soit dicté par des considérations liées à l'ouvrage réalisé et aux conditions d'environnement, il peut être utile de rechercher un ciment faiblement exothermique. L'eau utilisée pourra être refroidie.

Au niveau de la formulation du béton, il est possible d'associer un ou plusieurs adjuvants, un retardateur de prise qui prolongera le temps d'utilisation, un plastifiant réducteur d'eau qui permet de maintenir le rapport E/C. Il est important dans cette hypothèse de réaliser des études préalables de compatibilité ciment-adjuvant en les menant dans les conditions climatiques proches de celles du chantier afin de vérifier que la maniabilité reste satisfaisante pendant une durée compatible avec les conditions de transport et de mise en œuvre.

Lorsque le chantier est approvisionné par des centrales de béton prêt à l'emploi, il faut s'efforcer de réduire les temps de transport et d'attente et limiter le stationnement en plein soleil des camions malaxeurs.

Au niveau de la mise en œuvre du béton, il peut être utile de refroidir les coffrages et il convient toujours de bétonner en dehors des heures les plus chaudes de la journée. En aucun cas, il ne faudra rajouter d'eau à un béton dont l'ouvrabilité s'avère médiocre.

Après coulage, le béton doit être protégé de la dessiccation, notamment les surfaces exposées au soleil et au vent, par un produit de cure ou par une bâche (paillasons humides, films plastiques, etc.). Cette protection doit être maintenue en place durant les premières heures voire quelques jours selon l'évolution des conditions climatiques.

La qualité et la durée de vie du béton se jouent aux tous premiers âges, période où il est particulièrement particulièrement sensible. Les précautions prises pour bétonner par temps chaud peuvent générer des coûts supplémentaires qui, de toute façon, seront moindres que ceux liés aux réparations ultérieures.

**II-4 Retraits :****II-4-1 Définition :**

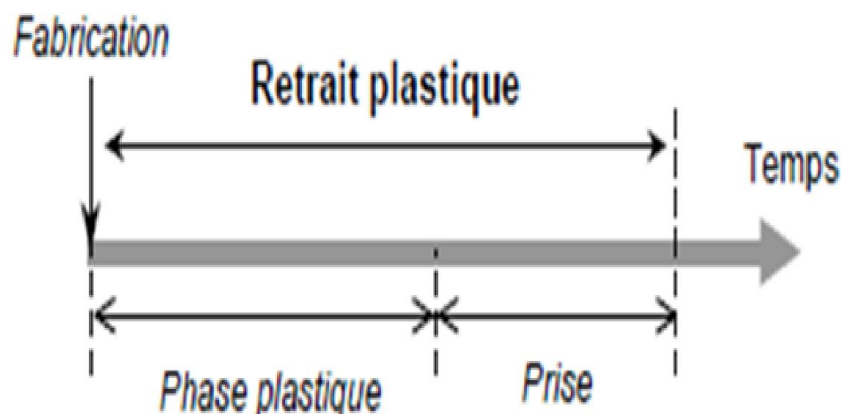
Le phénomène de retrait consiste en la contraction du matériau sans chargement externe. Le retrait ne cause pas de problème lorsque l'élément de béton est sans restriction, donc libre de se déformer. Cependant, lorsque le changement de volume du béton est restreint, des efforts de traction sont générés à l'intérieur du béton. Le béton possédant une résistance relativement faible en traction (environ 10% de sa résistance en compression (McGrath, 2011)), les efforts de traction causés par le retrait peuvent engendrer de la fissuration avant même la mise en service. Les causes du retrait sont multiples. Il devient donc utile de distinguer les différents types de retrait en fonction des différents mécanismes impliqués [17].

**II-4-2. Types de Retraits :****II-4-2-1 Retrait plastique :**

Le retrait plastique est défini, de manière classique, comme la contraction du béton en phase plastique consécutive au séchage. Il se développe lorsque la quantité d'eau évaporée à la surface est supérieure à la quantité d'eau de ressuage. L'association du retrait plastique et du séchage est toutefois une limitation de la définition [19].

La « phase plastique » est définie par la période s'écoulant entre la fabrication et le début de prise, période pendant laquelle le béton ne présente pas de cohésion, mais, comme le début de prise est difficile à mesurer pour un béton, les mesures de retrait plastique disponibles dans la littérature englobent très souvent la contraction totale pendant la prise.

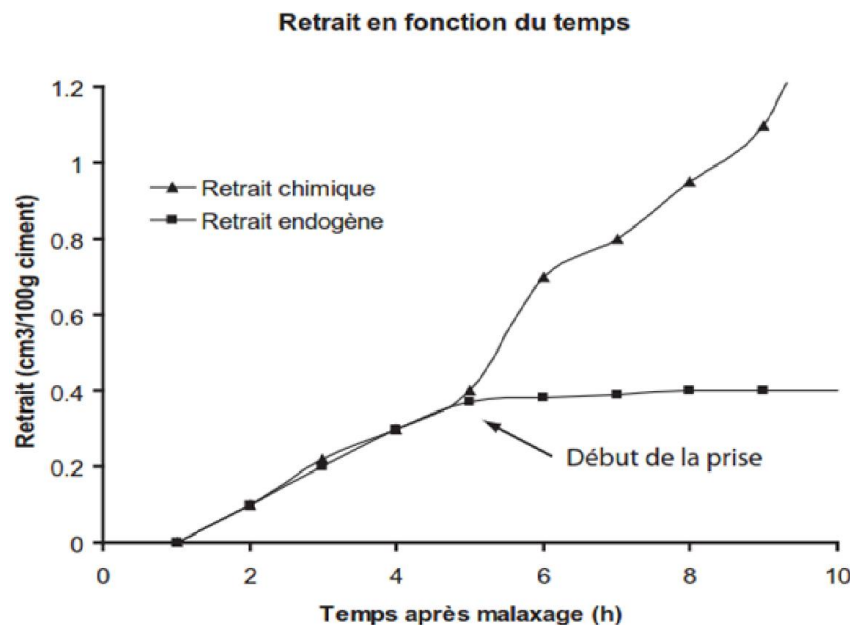
Au final, il est préférable de définir le retrait plastique comme la contraction totale du béton entre la fabrication du béton et la fin de prise Figure II -7 [13].



*Figure II -7: Définition de retrait plastique [13].*

### II-4-2-2-Retraît d'autodessiccation (endogène) :

Le retrait d'autodessiccation découle du phénomène de la contraction Le Chatelier. Celui-ci résulte de la présence de vides occasionnés dans le matériau durci par le déficit volumétrique de l'hydratation du ciment. À la suite de l'hydratation, il y a un phénomène de désaturation des pores qui sont, au départ, remplis d'eau. Le dessèchement interne du béton engendre une augmentation des tensions capillaires et donc la contraction de l'élément (Blais, 2010). Lorsque le béton est encore à l'état plastique, il accommode la contraction Le Chatelier en s'affaissant sur lui-même. Lorsque le béton durcit, la rigidité de sa microstructure s'oppose à la contraction macroscopique de l'élément. C'est pour cette raison que la contraction absolue (Le Chatelier) n'est plus égale à la contraction apparente lorsque le béton commence son durcissement (Boivin et al., 1999). La Figure 7 montre bien comment la contraction Le Chatelier se poursuit avec un comportement quasi linéaire alors que le retrait d'autodessiccation subit un ralentissement important après environ cinq heures. Il est à noter que le point de séparation des deux courbes (cinq heures suivant le contact eau-ciment) correspond à la prise initiale du béton [19].



*Figure II -8: Évolution du retrait chimique et retrait endogène durant les premières heures après le malaxage (Hammer, 1999) [18].*

### II-4-2-3 Retrait de séchage [20] :

[Aïtcin et coll. 1997] explique que le retrait de séchage est un phénomène de dessiccation localisé qui commence à se développer à la surface du béton par où s'évapore l'eau interne du béton. La cause essentielle du retrait de séchage est, évidemment, l'évaporation de l'eau contenue

dans les capillaires de la pâte de ciment hydraté à partir des surfaces de béton exposées à l'air ambiant. L'évaporation se produit aussitôt que le degré hygrométrique de l'air ambiant, est inférieur à celui qui règne dans le réseau capillaire. Les forces de tension développées dans les ménisques à l'intérieur du béton entraînent une contraction du béton. La valeur du retrait de séchage dépend de plusieurs facteurs. Il est possible de contrôler l'évaporation de l'eau contenue dans le béton frais en utilisant une méthode de cure adéquate (application d'un produit de cure, mise en place de jute humide).

#### II -4-2-4-Retrait chimique (contraction Le Châtelier) :

Durant l'hydratation, le retrait chimique se manifeste par un déficit volumétrique des hydrates produits. Dès que la prise commence, le squelette solide commence à se former, celui-ci devient de plus en plus rigide et s'oppose à la contraction Le Chatelier. Il est important de distinguer les notions de volume apparent et de volume absolu dans l'analyse des déformations endogènes. Le volume apparent peut être défini comme la somme des volumes des différentes phases du matériau qu'elles soient solide, liquide ou gazeuse. Le volume absolu correspond à la somme des volumes des phases solides et liquides uniquement [13].

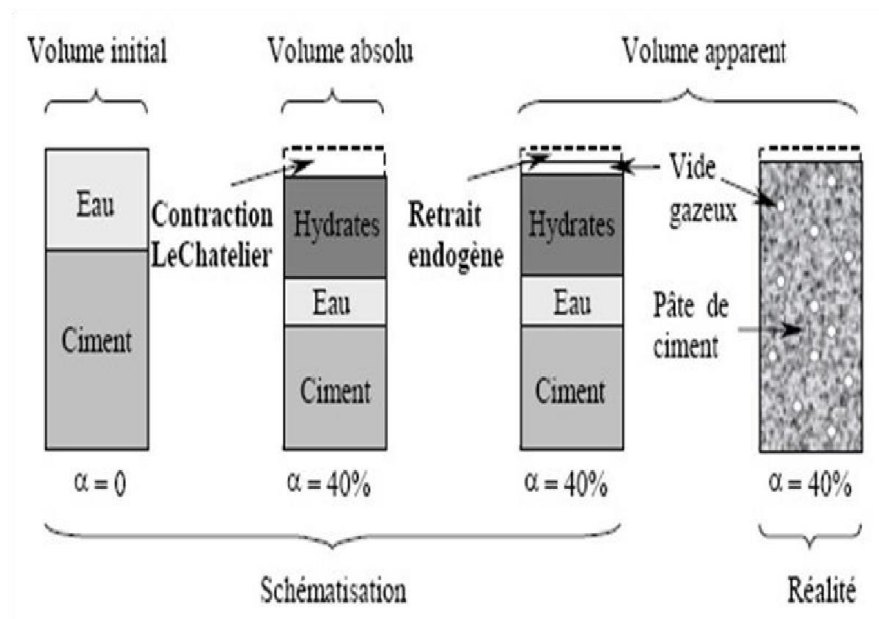


Figure II -9: Volume absolu et volume apparent [13].

#### II-4-2-5 Retrait thermique :

Est lié au retour à température ambiante des pièces en béton ayant au préalable subi une élévation de température due aux réactions exothermiques d'hydratation du ciment. Ce retour à température ambiante est accompagné par une contraction qui génère des déformations empêchées susceptibles de conduire à l'apparition de phénomènes de fissuration. Ce type de retrait, qui ne

concerne que des pièces d'épaisseur supérieure à 60 à 80 cm, se manifeste de quelques dizaines d'heures après la mise en œuvre, jusqu'à quelques semaines, sa durée. tant dépendante de la nature des éléments en béton considérés (plus une pièce est massive, et plus la contraction thermique sera lente) [20].

#### II-4-2-6 Retrait hydraulique :

Le retrait hydraulique résulte du séchage lent du béton dans le temps. Il résulte donc d'un déséquilibre hygrométrique entre le béton et le milieu extérieur. Dans le cas où l'humidité relative extérieure est inférieure à l'humidité interne, un processus de séchage se déclenche et génère une diminution de volume. Dans le cas contraire un gonflement se produit. Le processus de séchage et le retrait qui en résulte sont d'autant plus élevés et rapides que l'excès d'eau non liée dans le béton est important (E/C élevé) car la porosité et la perméabilité de celui-ci augmentent, ce qui accélère encore le phénomène. De plus, lorsque la quantité d'eau non liée s'évapore rapidement, le retrait du béton est également plus élevé et rapide.

La valeur finale du retrait hydraulique se situe généralement entre 0,3 et 0,8 mm/m. Cette valeur dépend essentiellement de la quantité d'eau de gâchage du béton. Toute augmentation du dosage en eau entraîne une augmentation relative deux fois plus grande de la valeur du retrait. D'où l'importance de minimiser la demande en eau d'une recette de béton grâce au choix approprié et au contrôle régulier de la granularité du mélange, en particulier celle des sables [21].

#### II-4-2-7 Retrait de carbonatation :

Il intervient lors de la réaction entre le gaz carbonique de l'air et la chaux (Portlandite) formée pendant la prise.

Le retrait de carbonatation : il intervient lors de la réaction entre le gaz carbonique de l'air et la chaux (Portlandite) formée pendant la prise [22].

#### II-4-3-Les cause de Retrait [22]:

- Les quantités d'eau et de ciment.
- La présence d'ajouts minéraux, entre de fumée de silice qui produisent un réseau poreux plus fin.
- Le volume de la pâte.
- La nature et la finesse du ciment.
- La quantité d'armature dans la pièce du béton
- Les conditions de l'humidité et la température.
- Les conditions dues au béton : sa consistance ; la granulométrie et la forme des agrégats, la méthode de mise en œuvre.

- La vitesse de vent au moment de collage.

**II-4-4-Les Conséquences du Retrait**

Dans tous les cas, la conséquence essentielle du retrait est l'apparition de phénomènes de fissurations pouvant diminuer la durabilité des structures en béton armé et/ou limiter leur capacité portante, notamment dans le cas de manifestation dans la masse.

Cette fissuration peut conduire à limiter l'adhérence entre un matériau rapport en surface (revêtement par exemple) et le support en béton, ainsi, l'accélération de la diffusion du CO<sub>2</sub> atmosphérique dans le béton, donc accélération de phénomène de carbonatation.

**II-5. Les Fissurations :**

**II-5-1-Définition :**

En général, une fissure est considérée comme une discontinuité dans le champ de déplacement à travers laquelle les contraintes de traction sont nulles ou diminuent en fonction de l'ouverture de cette même fissure. La fissuration peut se produire par compression, traction, cisaillement, aussi bien sous chargement statique qu'en fatigue, sous l'effet des charges permanentes ou des surcharges ou lors du déplacement des charges. Il est possible de classer les fissures selon leur morphologie, ce type de classement fait appel uniquement aux apparences :

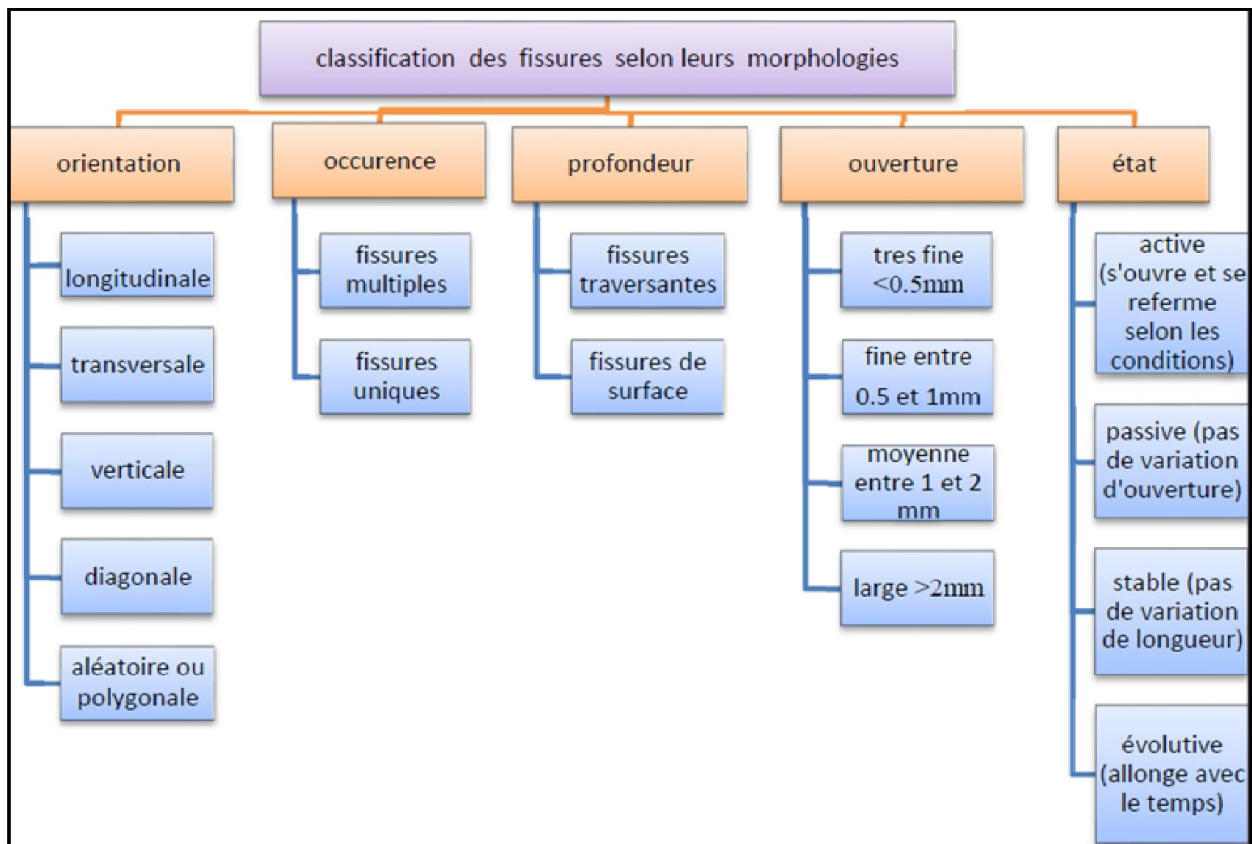


Figure II -10: Organigramme de classification des fissures selon leurs morphologies.[24].

II-5-2-Différents types de fissures :

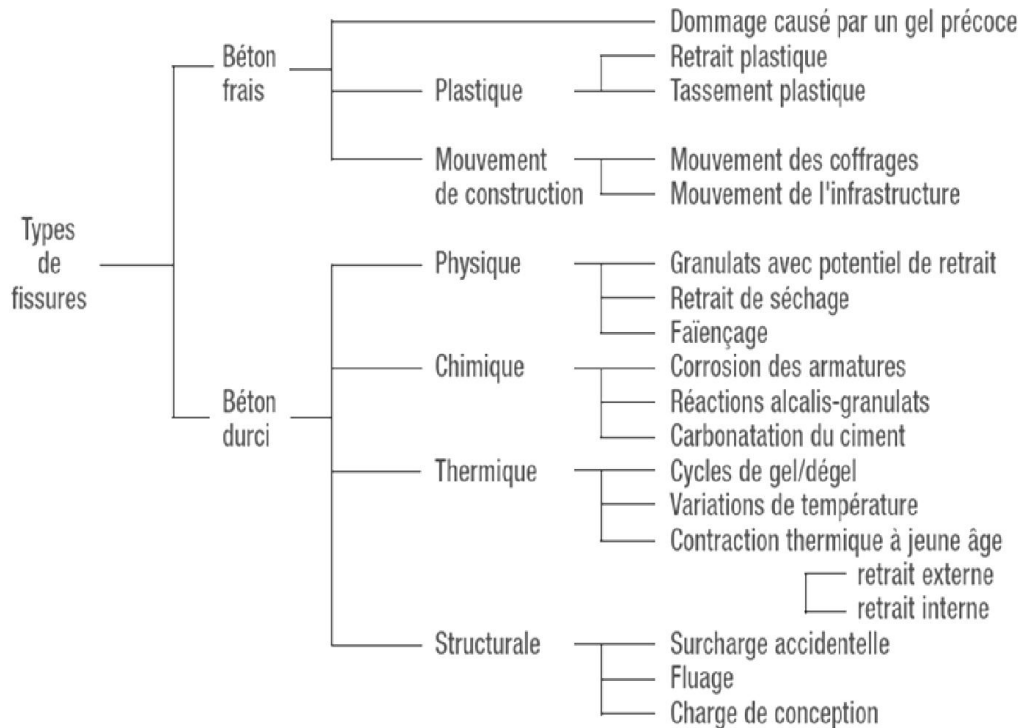


Figure II -11 : les différents types de fissures.[25].

II-5-3-Les Différentes causes de fissurations :

Plusieurs phénomènes ou mécanismes agissant simultanément ou séquentiellement peuvent causer l'apparition des fissures, le tableau suivant nous illustre ces principales causes :

Tableau II 1: Les différentes causes de fissuration.[24].

| Fissuration        | Types                            | Causes   |
|--------------------|----------------------------------|--|
| Avant Durcissement | Physique                         | - gel prématuré<br>- retrait plastique<br>-ségrégation |
|                    | Mouvement durant la Construction | -des coffrages du sol ou de la fondation               |
| Après Durcissement | Physique                         | -contraction des agrégats<br>-retrait de séchage       |

|  |             |  |
|--|-------------|--|
|  | Chimique    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-corrosion de l'armature</li> <li>-réaction alcali-granulats</li> <li>-pénétration de corps étrangers (ions chlorure sulfates, dioxyde de carbone)</li> <li>-composition de ciment</li> </ul>                     |
|  | Thermique   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-cycle de gel-dégel (variation saisonnière de température)</li> <li>-variation de condition d'humidité</li> <li>-retrait thermique : gradient de température Interne</li> </ul>                                   |
|  | Structurale | <ul style="list-style-type: none"> <li>-surcharge accidentelle</li> <li>-surcharge de construction</li> <li>-pratiques de construction douteuse</li> <li>-fluage</li> <li>-erreur de conception (charge de calcul )</li> <li>-charge appliqué</li> </ul> |
|  | Accidentel  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-tremblement de terre</li> <li>-feu</li> </ul>  |

#### II-5-4 Mécanisme de la fissuration :

De point de vue général on peut distinguer les fissures suivant leur forme. Transversale, Horizontale, Oblique ou incliné de 45°. Il est couramment admis par les chercheurs et les experts, les causes et les cas des fissures dans les structures Figure et Tableau. [26].



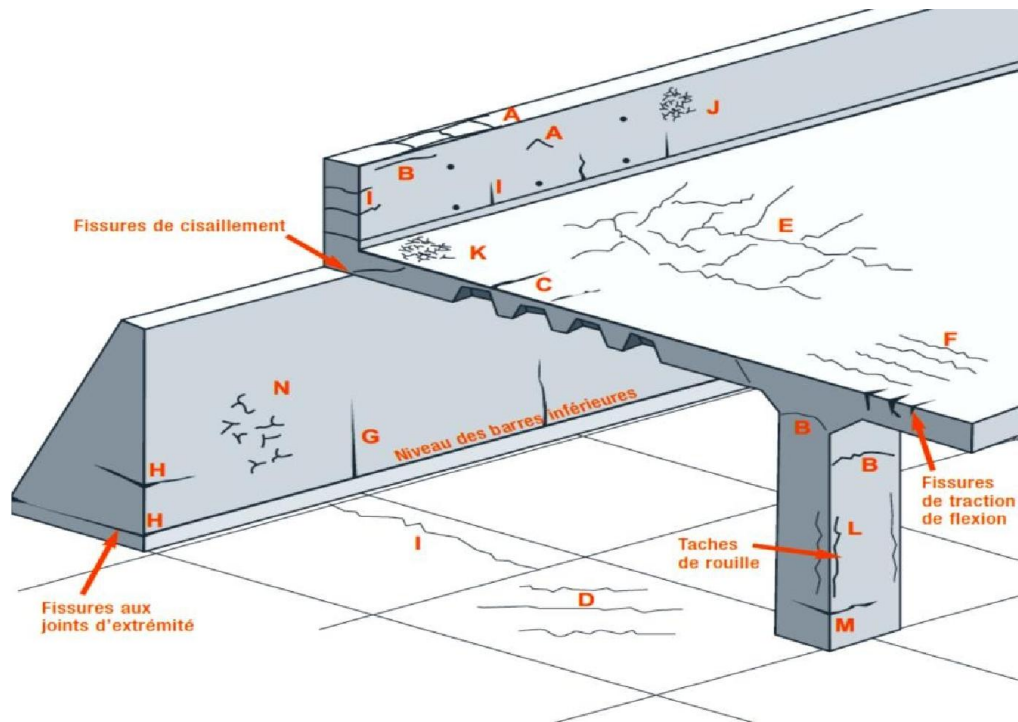


Figure II -12 : Désignations des fissures.[26] .

Tableau II 2 :Mécanisme des fissures [26].

| Descriptions du Phénomène                 | Réf | Manifester                | Cause                                  | Remèdes./précautions   |
|---|-----|---------------------------|--|--|
| Fissures dues au tassement du béton frais | A   | Ressuage et               | Dessèchement rapide                    | Diminuer la teneur en eau, améliorer la stabilité des mélanges |
|   | B   | Ségrégation               |  |  |
|   | C   |                           | Proximité armatures, forme du coffrage |  |
| Fissures dues au Retrait plastique        | D   | Dessiccation-La Cure      | Mouvement de coffrage – tassement      | Exécution de coffrage  |
|   | E   |                           | Dessèchement                           | Post-traitement  |
|   | F   | Prématuré                 |  |  |
|   | I   | Dessiccation-à long-Terme |  | Réduire la dégradation de chaleur                              |

|  |   |                      |                           |  |
|--|---|----------------------|---------------------------|--|
| Fissures dues à la déformation sous charge | O | Fluage               | Traction en flexion       | Préparation de la surface – composition du mortier   |
|  | P |                      | cisaillement              | composition du mortier-séchage couvet                |
| Fissures dues à la corrosion sous charge   | L | Corrosion d'armature | Mauvaise qualité du Béton | Sujet de conception, composition du béton, exécution |
|  | M |                      |                           |  |

**II-6-Les factures influençant le bétonnage :**

**II-6-1-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.

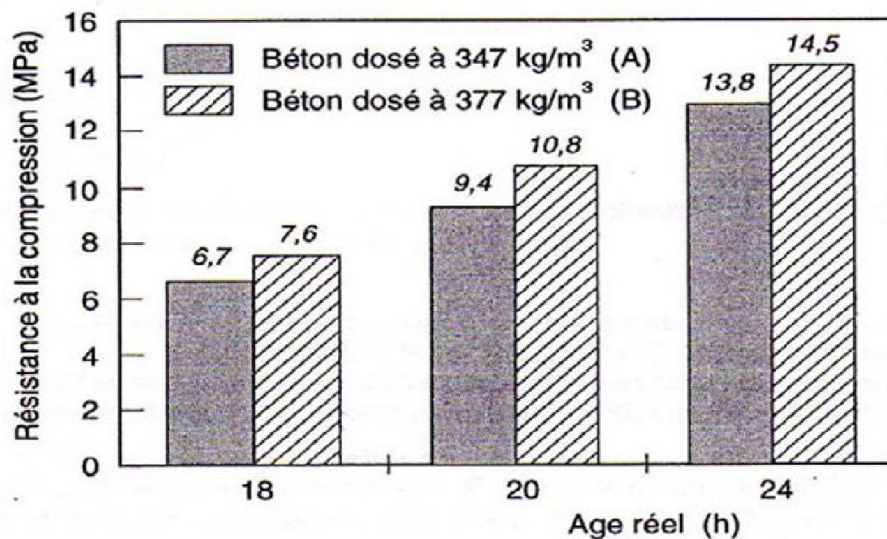


Figure II -13: Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression à court term béton [27].

**II-6-2-Influence du type de ciment :**

La démarche de formulation d'un béton passe par le choix du type de ciment. L'influence de ce paramètre sur la résistance à court terme est présentée sur la figure (II-13) suivant

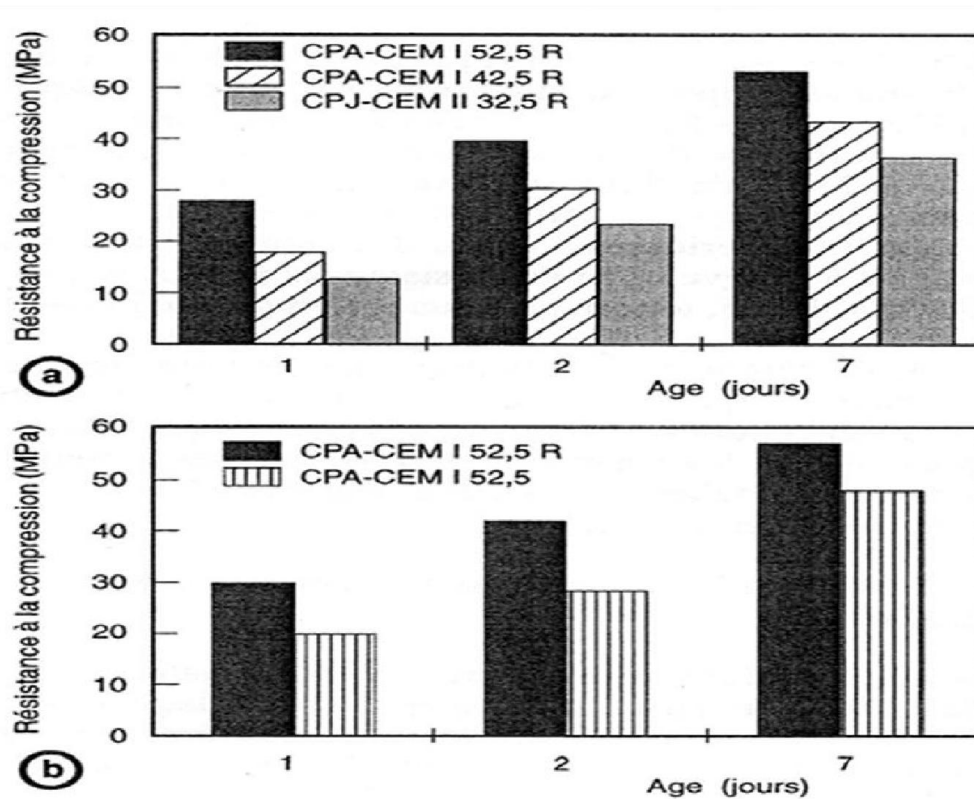


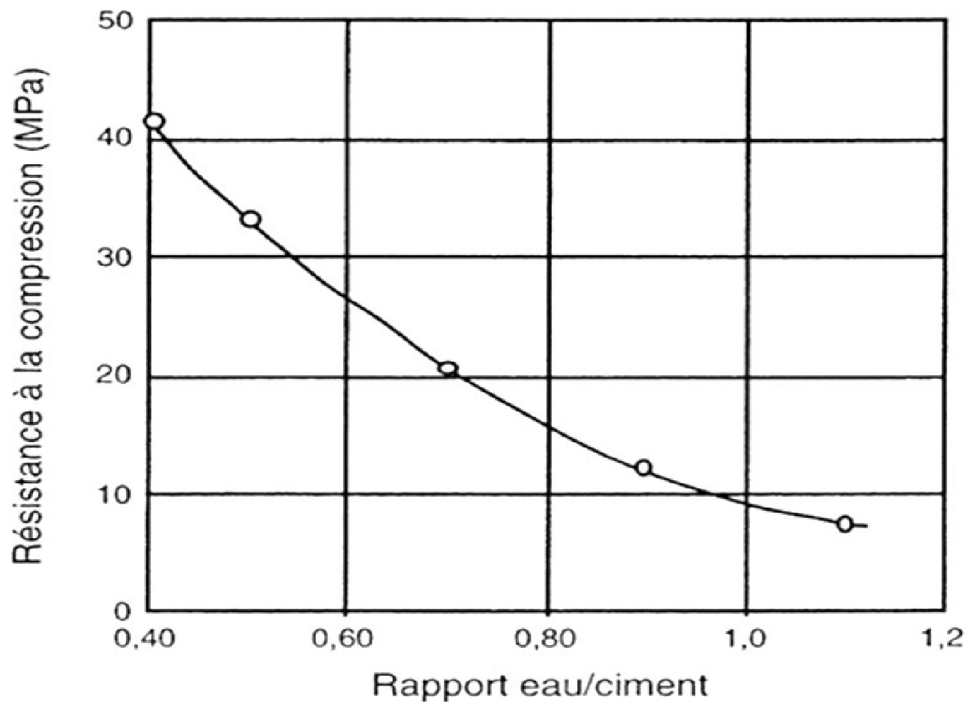
Figure II -14: Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme [27]

Cette figure (II-14) 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, c'est-à-dire que, plus la classe de résistance est élevée, plus les résistances sont élevées, à toutes les échéances. De même, un CPA-CEM I 52,5 R développe des résistances à court terme beaucoup plus rapidement qu'un CPA-CEM I 52,5, tout en présentant à 28 jours des résistances équivalentes [27].

### II-6-3-Influence de Rapport 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.

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.



*Figure II -15: Rapport E/C d'un béton confectionné avec un ciment portland à durcissement rapid[27]e.*

La Figure II-15 montre que la courbe représentant la résistance en fonction du rapport E/C a approximativement la forme d'une hyperbole. Cette relation est valable pour n'importe quel béton quels que soient le type de granulat et l'âge de béton et La résistance est d'autant plus élevée que le rapport E/C diminue.

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 [27].

#### **II-6-4-Influence du Rapport Granulat/Ciment :**

Le rapport G/C est un facteur de moindre importance sur l'évolution de la résistance à la compression. Avec un rapport E/C constant, il a été démontré qu'un béton faiblement dosé en ciment demeurerait plus résistant selon les résultats de la Figure II-18

L'explication la plus probable est le faible pourcentage des vides par rapport au volume total de béton.

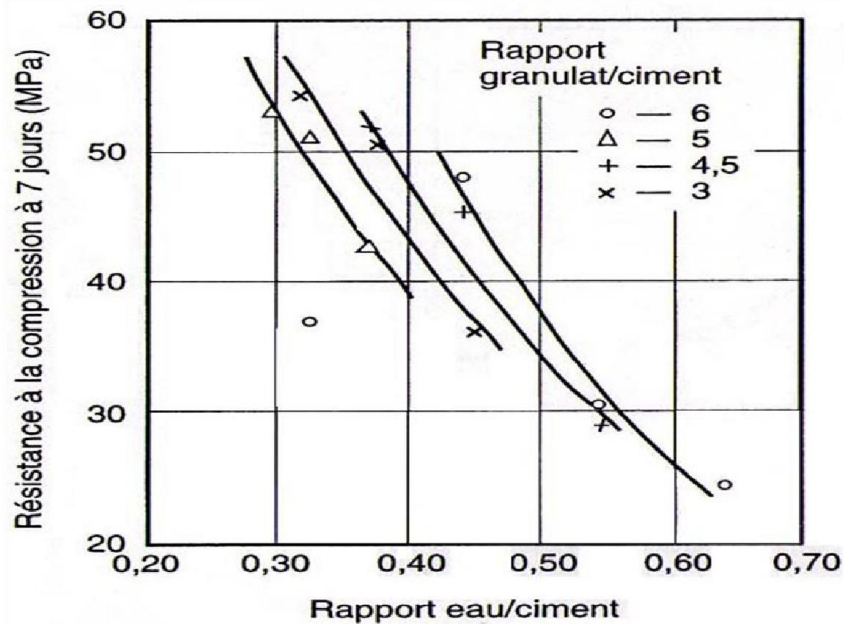


Figure II -16: Influence du rapport G/C sur la résistance du béton [27].

La Figure II-16 montre que par Neville, qu'un béton plus faiblement dosé était plus résistant. Les raisons de ce comportement ne sont pas bien connues. Dans certains cas, une partie de l'eau peut être absorbée par le granulat : plus il y a de granulat, plus la quantité d'eau absorbée est importante, ce qui contribue à réduire le rapport eau/ciment réel du béton. Dans d'autre cas, une plus forte teneur en granulats contribue à diminuer le retrait et le ressuage, ce qui diminue les désordres dans les liaisons granulat et pâte de ciment. De même, les modifications thermiques dues à la chaleur d'hydratation du ciment sont plus faibles [27].

#### II-6-5-Influence des Granulats :

Il est intéressant pour la fabrication des éléments en béton de savoir et connaître l'influence des caractéristiques des granulats sur la qualité du béton, afin d'avoir l'opportunité pour le choix des granulats compatibles au béton souhaité.

A cet effet, plusieurs recherches ont étudié l'influence des caractéristiques des granulats sur la propriété du béton, et en ce qui suit on va citer l'effet des principales caractéristiques sur la propriété du béton.

##### II-6-5-1-Influence Rapport gravier/sable (G/S) :

Le rapport (G/S) correspond à celui des volumes absolus du gravier sur sable. La coupure entre sable et gravier se fait au tamis de module 38(5mm) Pour G/S 2.2 (valeurs les plus courantes) l'influence de G/S est faible. Mais, la résistance augmente sensiblement pour des valeurs élevées de G/S surtout pour les bétons fermes

Le **tableau II-1** présente une récapitulation des qualités principales des bétons en fonction de leurs G/S.

**Tableau II 3: Principales qualités des bétons en fonction de leur (G/S) et leur granularité[28].**

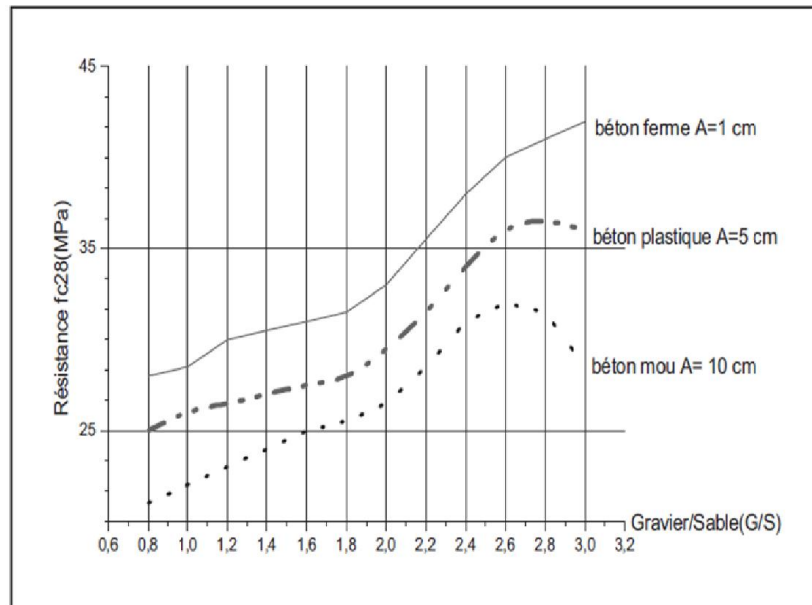
| Caractéristiques            | Appréciation concernant les bétons  |   |
|-----------------------------|---|---|
|                             | G/S élevé par rapport à ceux à G/S faible   | à granularité discontinue par rapport à ceux à granularité continue |
| Ouvrabilité                 | Moins bonne surtout si G/S >2.2   | Moins bonne   |
| Résistance à la Compression | Meilleure surtout pour G/S >2.2   | Très légèrement supérieure  |
| Résistance à la traction    | Sans corrélation apparente  | Très légèrement inférieure  |
| Module d'élasticité         | Sans corrélation très nette sauf pour le module statique un peu plus élevé en fonction de G/S | Un peu plus élevé   |
| Vitesse de son              | Sans corrélation très nette   | Légèrement supérieure   |
| Indice sclérométrique       | Un peu supérieur  | Très légèrement supérieure  |
| Retrait                     | Sans corrélation très nette   | Moins élevé surtout si G/S >2.2                                     |
| Compacité, Densité          | Légèrement plus élevé pour G/S >2.2   | Un peu plus élevé   |

Il y apparaît en effet que pour des  $G/S \leq 2$  (valeurs les plus courantes) l'influence du rapport G/S est relativement faible, tandis que la résistance augmente plus sensiblement pour des valeurs plus élevées de G/S surtout pour les bétons fermes ; mais pour des raisons d'ouvrabilité, il ne convient pas de dépasser  $G/S = 2.0$  à  $2.2$  pour les bétons courants, sauf à prendre des précautions particulières à la mise en œuvre

La figure II-16 ci-dessous montre l'influence de rapport G/S sur la résistance du béton avec plasticités différées.

La tendance actuelle est de ne pas dépasser des valeurs de G/S entre 1.5 à 1.6 ; c'est un léger sacrifice de la résistance au profit de l'ouvrabilité [28].





A : Affaissement au cône d' ABRAMS

Figure II -17: Variation de la résistance à la compression selon le rapport G/S avec Différentes plasticités [28].

**II-6-5-2-Influence de la granularité :**

La Figure II-18 ci-après donné une idée de l'effet de la granularité sur la résistance du béton à 28 jours.

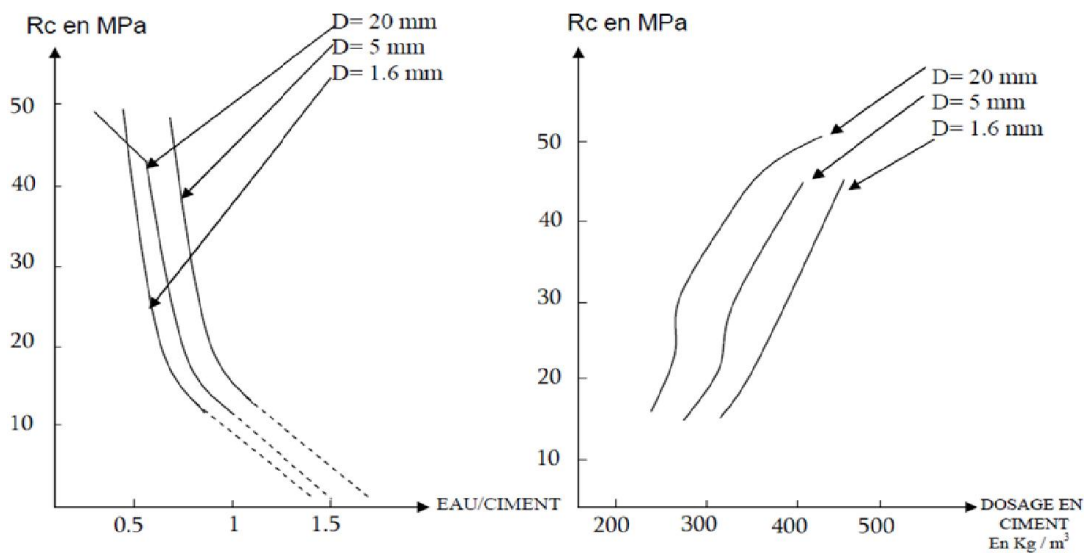


Figure II -18: Effets de la granularité sur la résistance du béton [29].

On remarque sur cette présentation, que l'augmentation de la granularité augmente la résistance. Mais si on fixe le paramètre E/C dans les limites de la plasticité (0.5-1.5) les meilleurs résultats correspondent de granularité moyenne.

### II-6-6-Influence de la température :

L'influence de la température de fabrication puis de mûrissement du béton sur ses résistances à court et à long terme a fait l'objet de plusieurs études au cours des soixante dernières années. De façon générale, toutes ces études (Klieger P., 1958 ; Verbeck G.J. et Helmuth R.H., 1968 ; Mamillan M., 1970; Alexandersson J., 1972 ; Byfors J., 1980 ; Regourd M. et Gautier E., 1980, etc.)[30].

Ont montré que : plus la température de fabrication et/ou de mûrissement est élevée, plus la résistance à court terme est élevée. Alors qu'à long terme, l'influence de la température est inversée, c'est-à-dire que plus la température initiale est élevée, moins bonnes sont les résistances.

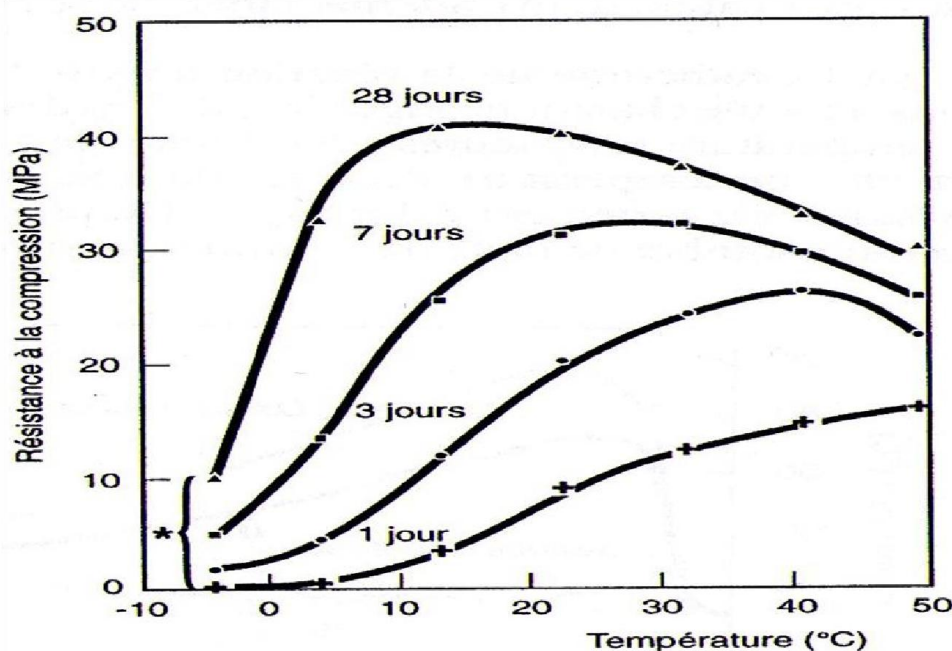


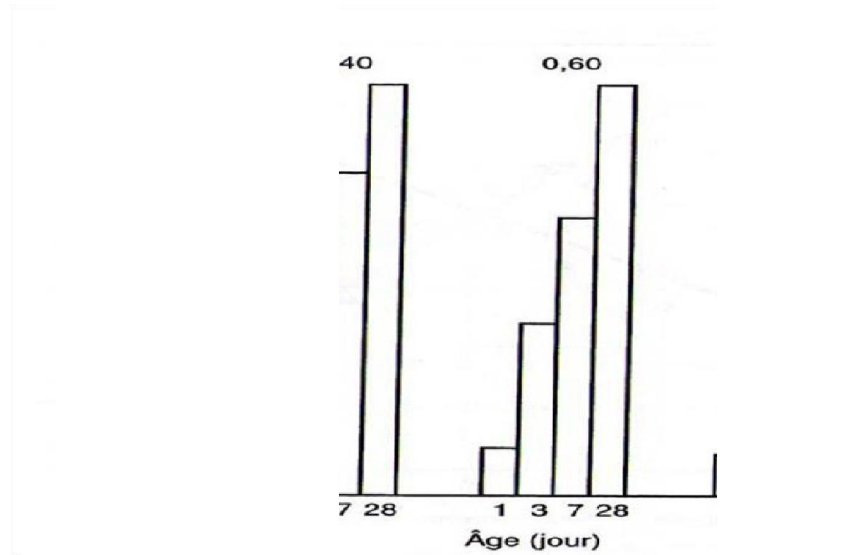
Figure II -19: Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances [30].

La Figure II-19 montre que plus la température de fabrication et de mûrissement du béton est élevée, plus la résistance à un jour de ce béton est élevée ; alors que pour les âges de trois à vingt-huit jours l'influence de la température change radicalement. En effet, pour chacun des âges étudiés à partir de trois jours, il existe une température optimale à laquelle correspond le maximum de résistance. En fait, cette température optimale de mûrissement diminue lorsque l'échéance considérée augmente. Cependant, les causes à l'origine des réductions de résistances observées à long terme pour les bétons mûris à des températures élevées sont beaucoup plus complexes et suscitent encore aujourd'hui des questions [30].



### II-6-7-Influence de L'âge :

Meyer (1963) a montré que l'augmentation de la résistance (exprimée en pourcentage de la résistance à long terme) des bétons à faible rapport E/C est plus rapide que celle des bétons ayant un rapport E/C plus élevé Figure II-20. Ceci s'explique par le fait que les grains de ciment sont plus près les uns des autres et que le réseau de gel continu s'établit plus rapidement.



*Figure II -20: Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire[30].*

Il est important de connaître l'évolution de la résistance en fonction du temps lors de la mise en service d'une structure, c'est-à-dire lorsque cette dernière devra supporter, à un âge plus éloigné, la charge totale pour laquelle elle a été dimensionnée. Dans ce cas, le gain de résistance après l'âge de 28 jours peut être pris en compte lors du dimensionnement de la structure. Dans d'autres situations, comme dans le cas des bétons précontraints, préfabriqués ou lorsque les coffrages doivent être enlevés rapidement, il est important de connaître la résistance au jeune âge.

### II-7. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les différents phénomènes qui accompagnent le béton dans son état frais et durci, comme le retrait endogène, plastique ... et le phénomène de fluage et de fissuration. Plusieurs facteurs ont été présentés influençant le béton pendant sa fabrication et après son durcissement surtout dans les régions chaudes où la température est élevée et le climat généralement sec.

La fissuration précoce est très pénalisante pour la durabilité des structures donc, la mise en œuvre de béton demande des précautions et préventions nécessaires pour protéger le béton et le rendre plus durable.

**CHAPITRE III :**  
**CARACTERISATION DES MATERIAUX ET**  
**INTERPRETATION DES RESULTATS**

### III-1. Introduction :

Avant de procéder les études de formulation du béton de notre projet, la vérification des caractéristiques des différents ingrédients de ce béton est indispensable, et la connaissance de leurs diverses propriétés : physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques, nous a permis de faire un choix répondant à leur destination. Ces matériaux doivent être correctement mélangés pour produire un mélange homogène ayant des propriétés uniformes et pour déterminer le dosage optimal.

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

Tous les essais réalisés sur les agrégats (sable + graviers), le liant hydraulique et l'eau de gâchage ont été effectués au sein des laboratoires suivants :

- Laboratoire L.T.P. S d'Adrar.
- Laboratoire L.T.P. S de Ghardaïa.

### III-2. Caractérisation et présentation des matériaux :

#### III-2-1. Gravier :

Les graviers utilisés sont le gravier naturel et un gravier de classe 3/8 ,8/15 et 15/25 de la carrière de BOUHAMOU KOUSSANE à Adrar, il est de nature siliceux grisâtre, l'examen visuelle du gravier montre que les grains sont poreux,

#### ✓ Echantillonnage :

Il faut que l'échantillon utilisé au laboratoire soit représentatif de l'ensemble. Le passage de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit nécessaire à l'essai, peut se faire par quartage ou à l'aide d'un échantillonneur.

L'échantillon doit être séché à l'étuve à 105 °C s'il est exempt de minéraux argileux, et par la suite on va diviser en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié en réunissant deux quarts opposés. Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué (voir la figure (III.1) Opération de quartage).

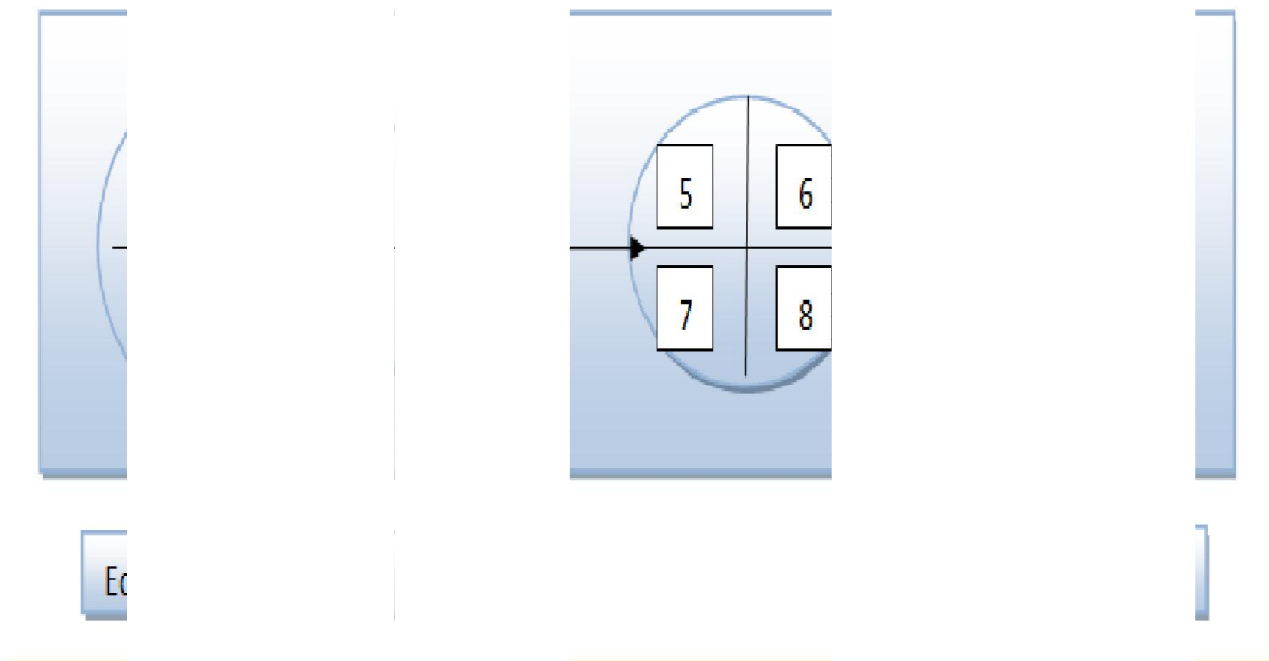


Figure III-1: Opération de quartage.

✓ **Granulométrie :**

L'essai de l'analyse granulométrique tableau (III.1) et figure (III.2) permet de déterminer les pourcentages par le tamisage d'un échantillon dans une série des tamis et de déterminer le Pourcentage de passants et du refus sur chaque tamis.



Figure III-2: Appareil de tamisage et série des tamis utilisée.

Tableau III 1 : Résultats de l'analyse granulométrique des graviers.

Echantillon : gravier 3/8,8/15,15/25 et Gr N  
 Référence normative : NFP 15-554.

| Classe                | Gr A 3/8 | Gr A 8/15 | Gr A 15/25 | Gr N     |
|-----------------------|----------|-----------|------------|----------|
| Tamisé ouverture (mm) | tamisé % | Tamisé %  | Tamisé %   | Tamisé % |
| 40                    | 100      | 100       | 100        | 100      |
| 31.5                  | 100      | 100       | 91         | 96       |
| 25                    | 100      | 100       | 40         | 86       |
| 20                    | 100      | 100       | 9          | 69       |
| 16                    | 100      | 93        | 1          | 50       |
| 12.5                  | 100      | 25        | 0          | 27       |
| 10                    | 100      | 7         | 0          | 13       |
| 8                     | 91       | 3         | 0          | 2        |
| 6.3                   | 57       | 2         | 0          | 0        |
| 5                     | 31       | 0         | 0          | 0        |
| 2.5                   | 1        | 0         | 0          | 0        |
| 1.25                  | 0        | 0         | 0          | 0        |

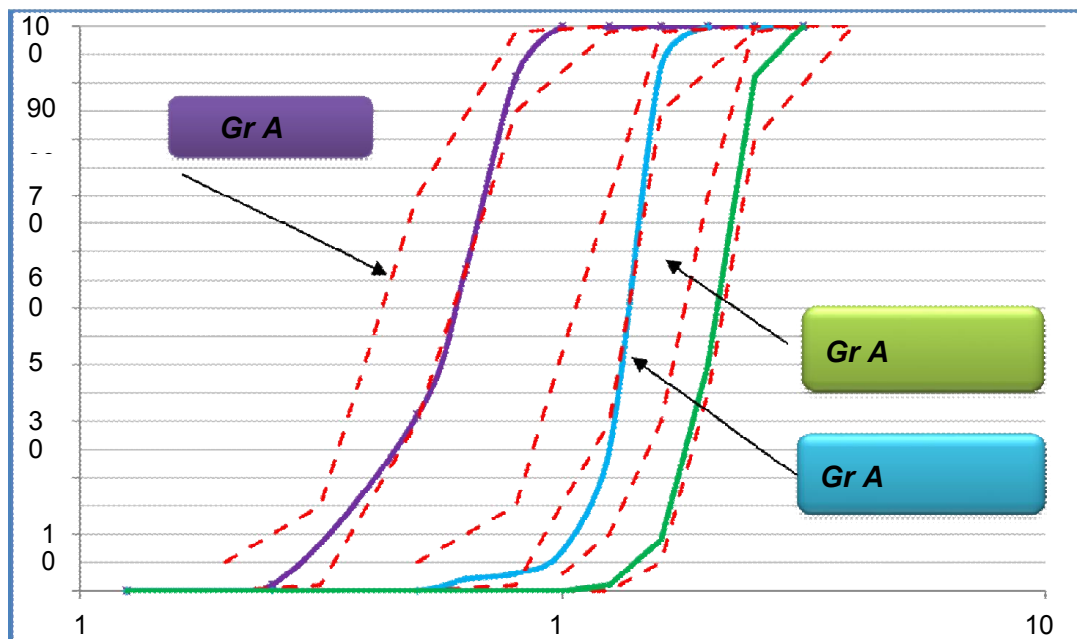


Figure III-3: Courbe granulométrique des trois classes de graviers.

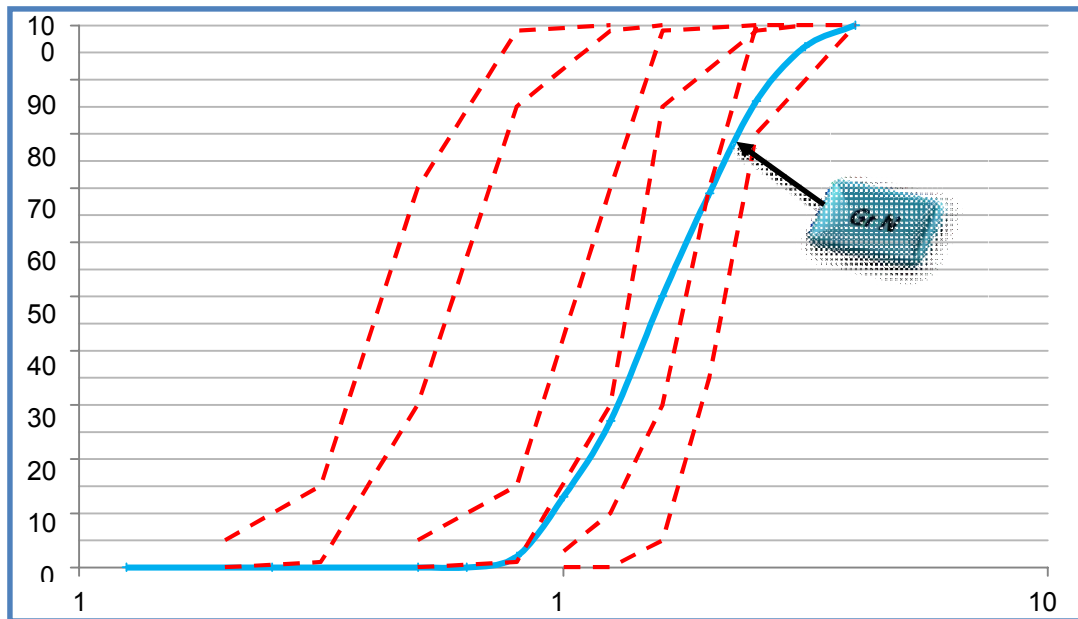


Figure III-4: Courbe granulométrique de gravier Naturel.

✓ **Aplatissement :**

La détermination du coefficient d’aplatissement d’un échantillon de granulats dont les dimensions sont comprises entre 4 et 40 mm, Le présent coefficient s’applique aux granulats d’origine naturelle ou artificielle suivant la norme NFP -18-561.

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

Tableaux III-2 : Résultats d’aplatissement des graviers.

| Essai            | Gr A<br>3/8 | Gr A<br>8/15 | Gr A<br>15/25 | Gr N | Exigences<br>NA 5043 |
|------------------|-------------|--------------|---------------|------|----------------------|
| Aplatissement[%] | 32          | 9            | 18            | 11   | ≤ 35 %               |

Le coefficient d’aplatissement des graviers répond aux spécifications de la norme spécifiant que la valeur du coefficient d’aplatissement doit être  $A \leq 35 \%$ .

✓ **Masses volumiques absolue :**

La masse absolue c’est la masse de l’unité de volume absolue d’un corps (volume matière plein). la masse volumique spécifique du gravie peut être calculé par la formule suivante :

$$\gamma_{Abs} = \frac{M_a}{V_s} \dots \dots \dots (III.1)$$

$\gamma_{Abs}$  : la masse volumique absolue.

$M_a$  : la masse de gravie a l’air.

$V_s$  :  $V_2 - V_1$ , volume absolue de gravie.

$V_1$  : volume d’eau initial.

$V_2$  : volume d'eau après l'introduction de l'échantillon.

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

**Tableaux III-3 : Résultats de masse volumique absolue des graviers.**

| Essai   | Gr A<br>3/8 | Gr A<br>8/15 | Gr A<br>15/25 | Gr N | Exigences<br>NA 5043 |
|---|-------------|--------------|---------------|------|----------------------|
| Masse volumique absolue<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | 2.71        | 2.70         | 2.68          | 2.70 | -                    |

✓ **Absorption d'eau :**

Cette manipulation a pour objectif de déterminer le coefficient d'absorption d'un matériau à partir de différentes pesées suivant la norme NFP 18-554.

On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion dans l'eau pendant 24 heures à 22 °C, à la masse sèche de l'échantillon.

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

**Tableaux III-4 : Résultats d'absorption d'eau des graviers utilisés.**

| Essai                | Gr A<br>3/8 | Gr A<br>8/15 | Gr A<br>15/25 | Gr N | Exigences<br>NA 5043 |
|----------------------|-------------|--------------|---------------|------|----------------------|
| Absorption d'eau [%] | 1.8         | 1.2          | 0.9           | 0.5  | ≤ 5.0 %              |

Ces résultats montrent que le taux d'absorption d'eau répondant l'exigence normative et donc les graviers utilisés absorbent une faible quantité d'eau.

✓ **Propreté superficielle :**

Les graviers doivent être propres avant leur utilisation dans la fabrication des bétons, et pour déterminer la propreté des graviers on effectue l'essai de propreté superficielle suivant la norme NFP 18-591, qui consiste à mesurer le pourcentage d'éléments fins subsistant après lavage.

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

**Tableaux III-5: Résultats Propreté superficielle des graviers.**

| Essai                         | Gr A<br>3/8 | Gr A<br>8/15 | Gr A<br>15/25 | GrN | Exigences<br>NA 5043 |
|-------------------------------|-------------|--------------|---------------|-----|----------------------|
| Propreté<br>superficielle [%] | 0.4         | 0.3          | 0.4           | 0.4 | ≤ 1.5 %              |

Ces résultats montrent que le gravier utilisé est propre.

✓ **Essai LOS ANGELES :**

Afin que les granulats puissent répondre aux spécifications de fabrication de béton il est donc nécessaire, de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par

frottements réciproques des éléments d'un granulats conformément à la norme NF-18 573 EN 1097[28].

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

**Tableaux III-6: Résultats de LOS ANGELES pour les trois graviers.**

| Essai              | Gr A<br>3/8 | Gr A<br>8/15 | Gr A<br>15/25 | GrN | Exigences<br>NA 5043 |
|--------------------|-------------|--------------|---------------|-----|----------------------|
| LOS ANGELES<br>[%] | 16          | 17           | 12            | 17  | ≤ 40 %               |

Les valeurs obtenues montrent que le gravier est pu utiliser par la formulation d'un béton de qualité.

✓ **Essai Micro DEVAL en présence d'eau :**

Pour but de déterminer la résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulats, on a effectué l'essai de micro DEVAL en présence d'eau suivant la norme NA.457 [29], NA 5043.

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

**Tableaux III-7: Résultats de l'essai Micro Deval pour les graviers utilisés**

| Essai           | Gr A<br>3/8 | Gr A<br>8/15 | Gr A<br>15/25 | Gr N | Exigences<br>NA 5043 |
|-----------------|-------------|--------------|---------------|------|----------------------|
| Micro Deval [%] | 38          | 18           | 16            | 13   | ≤ 30 %               |

Notre gravier présente une résistance à l'usure médiocre

✓ **Les analyses chimiques des graviers :**

Les résultats de l'analyse chimique pour les graviers utilisés sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableaux III-8: Résultats des analyses chimiques du gravier.**

|  | Gr A<br>3/8 | Gr A<br>8/15 | Gr A<br>15/25 | Gr N  | Exigences<br>NA 5043 |
|--|-------------|--------------|---------------|-------|----------------------|
| CC                                       | 10.9        | 6.2          | 5.5           | 16.8  | -                    |
| Taux de carbonates CaCO <sub>3</sub> [%] | 78          | 86           | 84            | 74    | -                    |
| Taux Chlorure Cl <sup>-</sup> [%]        | 0.007       |              |               | 0.003 | ≤ 0.06 %             |
| Taux de Sulfates SO <sub>3</sub> [%]     | 0.00        | 0.00         | 0.00          | /     | ≤ 0.2 %              |

Ces résultats caractérisent un gravier de nature carbonaté qui contient un faible taux de chlorure.

### III-2-1.1 Interprétation des résultats des graviers :



A la lumière des résultats obtenus et d'après la norme Algérienne, on peut dire que :

- Les classes granulaires 3/8, 8/15 et 15/25 inscrivent partiellement dans leurs fuseaux de référence ;
- Les autres caractéristiques de fabrication tel que la propreté, l'absorption et le l'aplatissement sont acceptable vue les exigences de la norme correspondante ;
- Les essais mécaniques sur gravier à savoir LOS ANGELES montrent que les graviers ont une bonne dureté ;
- Les essais chimiques montrent que les graviers sont de nature carbonatée (siliceux), ne sont pas agressive vis-à-vis le béton et en cas de présence des armatures tel que les Sulfates et les Chlorure, ce que nous permet de dire qu'il n'y a pas de risque d'attaque chimique interne dans le béton.

Donc les quatre classes de gravier peuvent être utilisées pour formuler un béton de qualité

### III-2-2 Sables :

Nous avons utilisé, dans tous les mélanges de notre étude un sable 0/3 de la carrière BOUHAOU KOUSSANE à Adrar et un sable local prélevé de dunes d'Erg Sali, commune appartenant à la daïra de Reggane située au centre-Ouest de la wilaya d'Adrar. On adopte les abréviations suivantes :

- Sable de dune Sali:(SDS)
- Sable de carrière 0/3 BOUHAOU KOUSSANE :(SCB)

#### ✓ Granulométrie :

L'essai de l'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon, le sable passe à travers une série des tamis décroissante des mailles en (mm) 5 ; 2.5 1.25 ; 0.63 ; 0.315 ; 0.16 ; 0.063.

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



Figure III-5: série des tamis utilisée.

Tableaux III-9: Résultats de l'analyse granulométrique des sables.

| Résultats de l'analyse granulométrique sable |     |     |
|--|-----|-----|
| Tamis ouverture<br>(mm)                      | SDS | SCB |
| 6.3  | 100 | 100 |
| 5  | 100 | 100 |
| 2.5  | 100 | 93  |
| 1.25   | 100 | 71  |
| 0.63   | 89  | 53  |
| 0.315  | 50  | 37  |
| 0.160  | 24  | 26  |
| 0.063  | 1   | 14  |

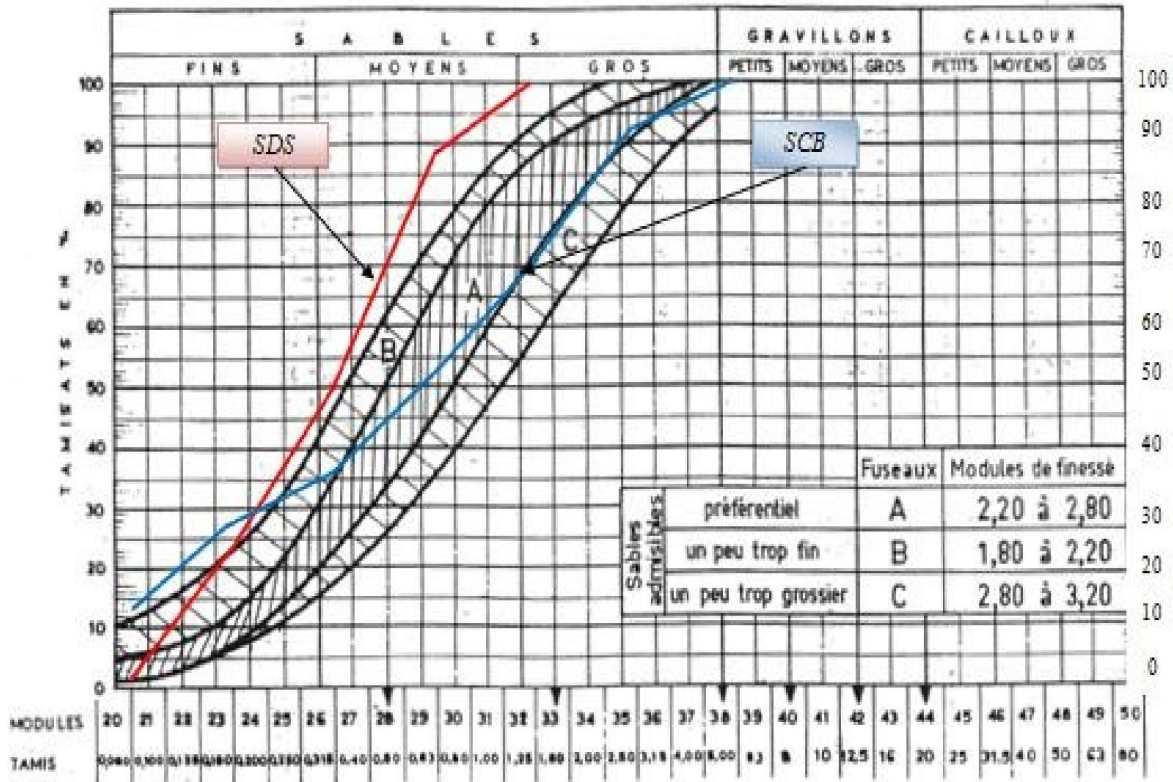


Figure III-6: Courbe granulométrique pour les sables étudiés.

✓ **Module de finesse :**

Le module de finesse  $M_f$  d'un sable est égale au centième (1/100) de la somme des refus cumulés des tamis (5, 2.5 ; 1.25 ; 0.63 ; 0.315 ; 0.160) ce paramétré utiliser pour caractériser la finesse des sables suivant la norme NF P18 304.

Le module de finesse donne par la relation suivante :

$$M_f = \frac{\text{Somme des refus cumulés des tamis}}{100} \text{ é } \% \dots\dots (III-2)$$

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

Tableaux III-10: Résulta du Module de finesse.

| Essai             | SDS | SCB | Exigences de NA5043    |
|-------------------|-----|-----|------------------------|
| Module de finesse | 1.4 | 2.2 | $1.5 \leq MF \leq 2.8$ |

Ces résultats montrent que, le sable de Sali est un sable à majorité de grains fins et le sables de carrière est un sable préférentiel, et les deux sables étudiés à l'exigence de la norme.

✓ **Equivalent de sable :**

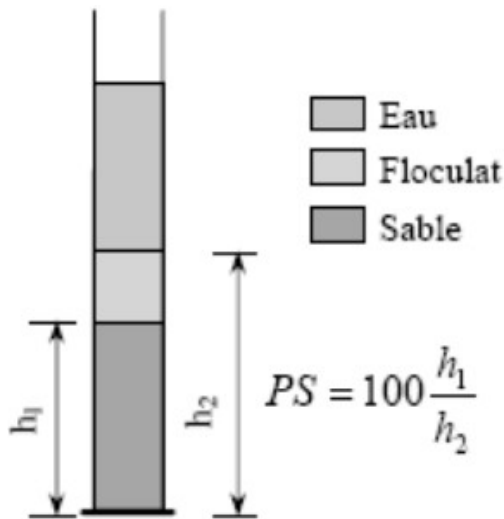
Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté du sable entrant dans la composition du béton. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable. L'équivalent de sable est déterminé selon la norme NF EN 933-8 A 1 :2015, à l'aide de la formule suivante :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} \times 100 \dots\dots\dots(III.3)$$

$h_1$  : hauteur du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette

$h_2$  : hauteur du niveau supérieur de la partie sédimentée.

ES : équivalent de sable.



a- Equivalent de sable à vue et au Piston

b- Appareillage de l'équivalent de sable

Figure III-7: Essai Equivalent de sable

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

Tableaux III-11: résultats d'équivalent de sable.

| Essai                  | SDS | SCB | Exigences de NA5043 |
|------------------------|-----|-----|---------------------|
| Equivalent de sable[%] | 78  | 67  | ≥ 60 %              |

Ces résultats montrent que les sables présentent des ES différents et sont des sables propres.

✓ **Les Masse volumique :**

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

**Tableaux III-12: résultats de la masse volumique.**

| Essai   | SDS  | SCB  |
|---|------|------|
| Masse volumique absolue [t/m <sup>3</sup> ]   | 2.65 | 2.67 |
| Masse volumique apparente [t/m <sup>3</sup> ] | 1.72 | 1.52 |

✓ **Essai Bleu Méthylène :**

Couramment l’essai au bleu de méthylène est utilisé pour caractériser l’activité des argiles contenues dans les sols. Il est utilisé également pour quantifier de manière sûre et simple la propreté des granulats. Objectif de l’essai évaluer l’influence des fines d’origines argileuses contenues dans les sables ou tout-venant suivant la norme NF P 94-068 [32].



*a- préparation de l'échantillon.*

*b- taches de bleu*

**Figure III-8: Essai de Bleu méthylène**

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

**Tableaux III-13: résultats de Bleu méthylène.**

| Essai          | SDS | SCB | Exigences de NA5043 |
|----------------|-----|-----|---------------------|
| Bleu méthylène | 0.1 | 0.2 | ≤ 1.0               |

Ces résultats montrent que les fines dans les deux sables ne sont pas argileuses

✓ **Analyses chimiques du sable :**

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

*Tableaux III-14: résultats d'analyse chimiques.*

|  | SDS  | SCB  | Exigences de NA5043 |
|--|------|------|---------------------|
| Taux des insolubles [%]                  | 96.8 | 83.3 | -                   |
| Taux de carbonates CaCO <sub>3</sub> [%] | 0    | 09   | -                   |
| Taux Chlorure Cl <sup>-</sup> [%]        | 0    | 0    | ≤ 0.06 %            |
| Taux de Sulfates SO <sub>3</sub> [%]     | 0    | 0    | ≤ 0.2 %-            |

**III-2-2.1. Interprétation des résultats des sables :**

A la lumière des résultats obtenus et d'après la norme algérienne NA 5043[30], on peut dire que:

- La granulométrie des deux sables est partiellement hors fuseau de référence, ils sont peu sévères, néanmoins ils ont module de finesse préférentiel ;
- Les valeurs de bleu Méthylène des deux sables sont admises ;
- Les est propre en vue des exigences normative, il convient parfaitement pour le béton de qualité ;
- Les résultats des essais chimiques montrent que les sables sont de nature siliceuse vue taux des insolubles, et ne pas des éléments agressifs tels que les sulfates et les chlorure.

**III.2.3 Ciment :**

Le ciment est utilisé pour la fabrication des éprouvettes est un ciment Portland composé (CPJ CEM II/B-L 42.5) provenant de la cimenterie d'Aoulef de (STG).

Les essais mécaniques sur le ciment sont :

*Tableaux III-15: résultats d'essai mécanique.*

| Âge jours | Résistance à la Compression [Mpa] | Exigences de NA 442 [33] |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------|
| 2 jours   | 22.19                             | ≥ 10,0                   |
| 28 jours  | 52.29                             | 42,5 ≤ Rc28j ≤ 62,5      |

Les essais physiques sur le ciment sont :

*Tableaux III-16: résultats d'essais physiques.*

|                     | Résultat    | Exigences de NA442 |
|---------------------|-------------|--------------------|
| Début des prises    | 3h :55 min  | 60min              |
| Fine de prise       | 4h : 54 min | -                  |
| Temps de prise      | 1 h :01 min | -                  |
| Expositions à chaud | 1 mm        | 10 mm              |

Les résultats physico-mécaniques de ciment utilisé est conforme à la norme en vigueur.

#### III-2-4. L'eau de gâchage :

L'eau utilisée dans la formulation est l'eau de Laboratoire des Travaux Publics du Sud Adrar de réseau AEP de la ville de Adrar donc selon la norme NA1966 [34], elle ne nécessite aucun essai.

#### III-3. Formulation du Béton :

Après avoir étudié les différentes composantes de base de notre projet afin de les utiliser, en prenant en compte les informations issues de la recherche bibliographique. On peut maintenant procéder à la préparation du mélange de béton selon la méthode FAURY au niveau du laboratoire, sous une température soigneusement contrôlée à l'intérieur et à l'extérieur et suivant les conditions climatiques de la région d'Adrar qui se caractérise par un climat sec et chaud.

Pour étudier l'influence de type des agrégats sur le comportement du béton, en conséquence sur la propagation des fissures dans le béton. Nous allons étudier quatre formulations de béton sous des conditions climatiques variant en fonction de la température. L'étude de composition de béton consiste à définir les quantités des différents constituants : graviers, sable, ciment et la quantité d'eau, afin d'obtenir un béton satisfait et de qualité.

Les bétons étudiés dans ce travail sont des bétons ordinaires de classe de résistances C25 MPa avec un dosage en ciment égale  $350 \text{ kg/m}^3$  et consistance désirée de classe S2 (bétons plastiques Affaissement 5 à 9 cm).

Les quatre (04) formulations étudiées sont les suivantes :

- Composition N° 1 on utilise le sable de dune Sali+ Gravier artificiel (C1)
- Composition N°2 on utilise le sable 0/3+ Gravier artificiel (C2)



- Composition N° 3 on utilisons le sable de dune Sali+ gravier naturelle (C3)
- Composition N°4 on utilisons le sable 0/3+ gravier naturelle (C4)

L'étude de formulation des bétons est basée sur la méthode graphique dite méthode de J. FAURY. Après la détermination des dosages de chaque mélange pour un mètre cube de béton, on doit transférer les dosages pour un volume d'éprouvette de (15x30cm)

Les dosages obtenus pour un mètre cube du béton sont consignés dans le tableau suivant :

*Tableaux III-17: Composition des différents constituants des bétons préparés.*

| COMPOSITIONS                                  | C1         | C2         | C3         | C4         |
|---|------------|------------|------------|------------|
|   | Masse [kg] | Masse [kg] | Masse [kg] | Masse [kg] |
| <b>Ciment CPJ</b>                             | 350        |            |            |            |
| <b>Sable de dune</b>                          | 680        | /          | 769        | /          |
| <b>Sable 0/3</b>                              | /          | 708        | /          | 753        |
| <b>Gravier 3/8</b>                            | 387        | 387        | /          | /          |
| <b>Gravier 8/15</b>                           | 363        | 340        | /          | /          |
| <b>Gravier 15/25</b>                          | 518        | 518        | /          | /          |
| <b>Gravier Naturel</b>                        | /          | /          | 1179       | 1202       |
| <b>Eau</b>                                    | 160        |            |            |            |
| <b>Le rapport eau sur ciment efficace E/C</b> | 0.45       |            |            |            |
| <b>Le rapport gravier sur sable G/S</b>       | 1.86       | 1.76       | 1.53       | 1.60       |

### III-3.1. Méthode de J. Faury

Faury proposa une nouvelle loi de granulation de type continu, il s'est inspiré pour cela de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen.

La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de  $\sqrt[5]{\square}$ . 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, en  $\sqrt[5]{\square}$ . l'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixé à  $D/2$  et son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est une valeur tabulée en fonction de



types des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense). Tel que Y, se calcule par la formule suivante :

$$Y = A + B \sqrt{D} + \frac{R}{D} \dots \dots \dots (III.4)$$

A : valeur tabulée

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

D : est exprimé en dimension de passoire.

R : est le rayon moyen du moule

**III-4. Matériels Utilisés :**

✓ **Bétonnière :**

La bétonnière utilisée dont un malaxeur à axe vertical



*Figure III-9: Bétonnière.*

✓ **Cône d’Abrams :**

Le moule doit avoir la forme d’un tronc de cône creux aux dimensions interne, la figure (III-13) possède une hauteur 300 mm, diamètre de la base 200mm et diamètre de haut de 100mm, reposant perpendiculairement et fixé sur une plaque d’acier en base.



*Figure III-10: Cône d'Abrams.*

✓ **Balance :**

Une balance électrique, avec une précision de 0.1g, a été utilisée pour mesurer les ingrédients et la préparation des différents bétons.



*Figure III-11: pèse de l'éprouvette par la balance numérique.*

#### **III-4. Préparation des bétons :**

Les constituants sont introduits dans l'ordre suivant : gros éléments, liant, sable. Après un malaxage à sec de l'ordre de 1 min, ajouter l'eau de gâchage et poursuivre le malaxage pendant 2 min. Vider le béton malaxé dans un bérquette afin de prélever le béton pour la suite des essais.

### III-5. Confection et conservation des éprouvettes :

Lorsque la procédure de gâchage est achevée, et après avoir fait les essais relatifs au béton à l'état frais, des éprouvettes de type cylindrique (15×30) ont été confectionnées selon la norme NA 5093[35], le serrage des éprouvettes était à l'aide de piquage, les moules sont huilés et fixés, on le remplit en d'égale hauteur, mises en place par piquage à raison de 25 coups par couche à l'aide de la tige de piquage, ou vibré avec une table vibrante. L'opération de finition a été effectuée à l'aide d'une règle à arasé.

Les éprouvettes sont démoulées après 24 h de coulage, ensuite elles sont conservées à l'intérieur à une température de  $20 \pm 2 \text{ C}^\circ$  et humidité  $\leq 95 \%$  et conserve à l'extérieur a l'air libre a une température varier entre 33 à 42 jusqu'au jour de l'écrasement pour les différents âges 7j, 14j et 21j. Cette opération a été répétitive et effectuée pour tous les mélanges.



*Figure III-12: confection et conservation d'éprouvette.*

### III-6. Conclusion :

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

Les différents matériaux, gravier de HARROUCHI, le sable de SALI, et les ciments STG plus de l'eau de gâchage provenant du robinet du laboratoire introduit dans la présente étude présentent des caractéristiques acceptables qui favorisent notre étude.

Toutes les précautions de préparation et de conservation de béton sont respectées dans des conditions très favorables.

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans les deux laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux locaux servant à la formulation du béton correct.

L'étude théorique de formulation a été faite par la méthode de Faury, qui nous a permis d'adapter les ingrédients pour chaque composition de quatre compositions proposées.

**CHAPITRE IV :**  
**PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS**

### IV-1. Introduction :

Ce chapitre porte sur l'étude de l'influence de la nature des granulats sur le comportement des bétons ainsi la propagation des fissures dans les éprouvettes béton sous l'action de la charge en compression. Le béton ordinaire confectionné dans le chapitre précédent a été conservé dans deux conditions climatiques différentes. Les différents résultats issus des essais sont analysés.

Les formulations proposées dans le chapitre précédent, sont utilisées pour étudier les caractéristiques et le comportement du béton à l'état frais et à l'état durci.

### IV-2. Comparaison de l'influence des agrégats (naturel et artificiel) sur le béton :

Nous allons exposer les différents résultats obtenus à partir des nombreux essais expérimentaux réalisés sur les différents mélanges à l'état frais et durci en basant sur l'essai mécanique qui nous permette de distinguer l'influence de la nature (type) des agrégats sur le matériau béton et le gradient température.

#### IV-2-1. Présentation des résultats des formulations :

Il est à rappeler que

- ❖ Composition N° 1 on utilisant le sable de dune Sali + Gravier artificiel noté **C1**
- ❖ **Composition N° 2** on utilisant le sable 0/3 + Gravier artificiel noté **C2**
- ❖ **Composition N° 3** on utilisant le sable de dune Sali + gravier naturel note **C3**
- ❖ Composition N° 4 on utilisant le sable 0/3+ gravier naturel note **C4**

#### IV-2-1-1. Essai sur béton frais :

Pour le béton frais nous avons déterminé l'affaissement de chaque type de béton à l'aide du cône d'Abrams selon la norme NA5102.



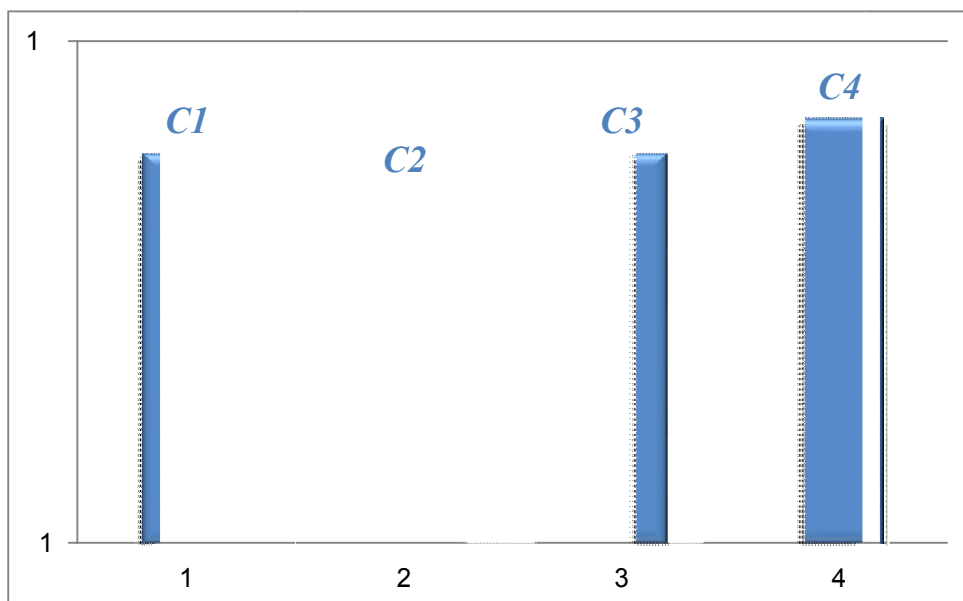


*Figure IV. 1- Mise en place et mesure de l'affaissement du béton*

Les résultats de cet essai pour les quatre compositions sont résumés dans le tableau suivant :

*Tableau IV. 1: résultat d'Affaissement.*

| Composition | Affaissement en cm |
|-------------|--------------------|
| C1          | 6                  |
| C2          | 5                  |
| C3          | 6                  |
| C4          | 7                  |



*Figure IV- 2: Affaissement des quatre composants.*

Le tableau IV 1 et la figure IV-2 montrent que l'affaissement de quatre compositions varier entre (Aff=5 à 9cm). On constate que globalement, les mélanges donnent un béton plastique.

#### IV-2-2-2. Essai sur béton durci :

Les éprouvettes confectionnées à partir des bétons préparés au laboratoire, ont été soumises aux essais de compression à 7, 14 et 21 jours, les résultats obtenus

✓ Présentation des essais :

- L'essai de compression s'effectue sur les éprouvettes conformément à la norme NA5075, [29]. sur des éprouvettes cylindriques (15x30 cm<sup>2</sup>).

- La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :  $R_c = \frac{F}{S}$  (IV.1).

D'où :

$R_c$  : Est la résistance en compression, exprimée en mégapascals (Newtons par millimètres carrés)

;

$F$  : Est la charge maximale, exprimée en Newtons ;

$S$  : Est l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, exprimée en millimètres carrés.



Figure IV- 3: La machine de compression



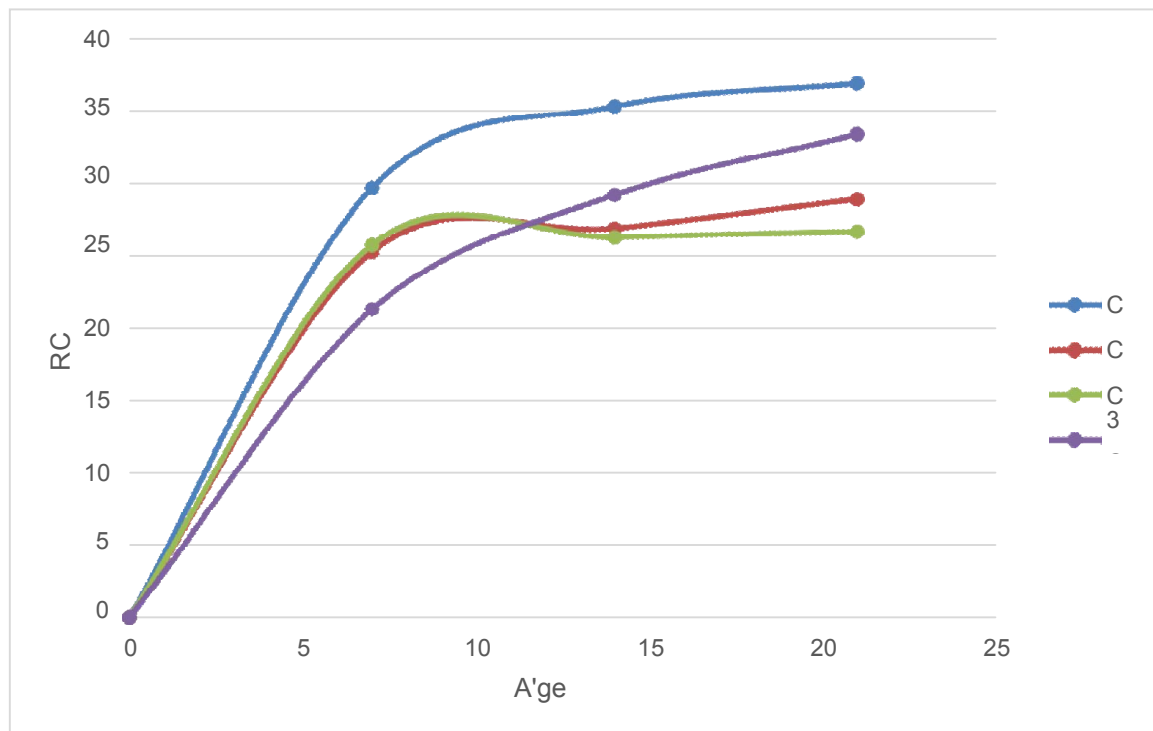
✓ **Présentation des résultats :**

Les résultats des bétons de différentes compositions résumé dans le **tableau IV-2** , la **Figure IV-3** et la **Figure IV-4** présente la variation de la résistance à la compression du béton aux différents âges 7, 14 et 21 jours.

**Tableau IV 2: Résultats de résistance à la compression à 7,14 et 21 jours.**

|          | C1              |                | C2             |                | C3             |                | C4             |                |
|----------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|          | RC [MPa]        |                | RC [MPa]       |                | RC [MPa]       |                | RC [MPa]       |                |
| Age      | T :20 C°<br>INT | T> 35C°<br>EXT | T :20C°<br>INT | T> 35C°<br>EXT | T :20C°<br>INT | T> 35C°<br>EXT | T :20C°<br>INT | T> 35C°<br>EXT |
| 07 jours | 29.7            | 27.4           | 25.3           | 20.3           | 25.8           | 20.5           | 21.3           | 18.3           |
| 14 jours | 35.3            | 29.3           | 26.9           | 18.6           | 26.3           | 22.3           | 29.2           | 19.6           |
| 21 jours | 36.9            | 31.5           | 28.9           | 22.2           | 26.7           | 22.6           | 33.4           | 20.1           |

Les résultats obtenus sont représentés dans deux graphes suivant :



**Figure IV- 4: Variation de la résistance à l'intérieur en fonction d'âge.**

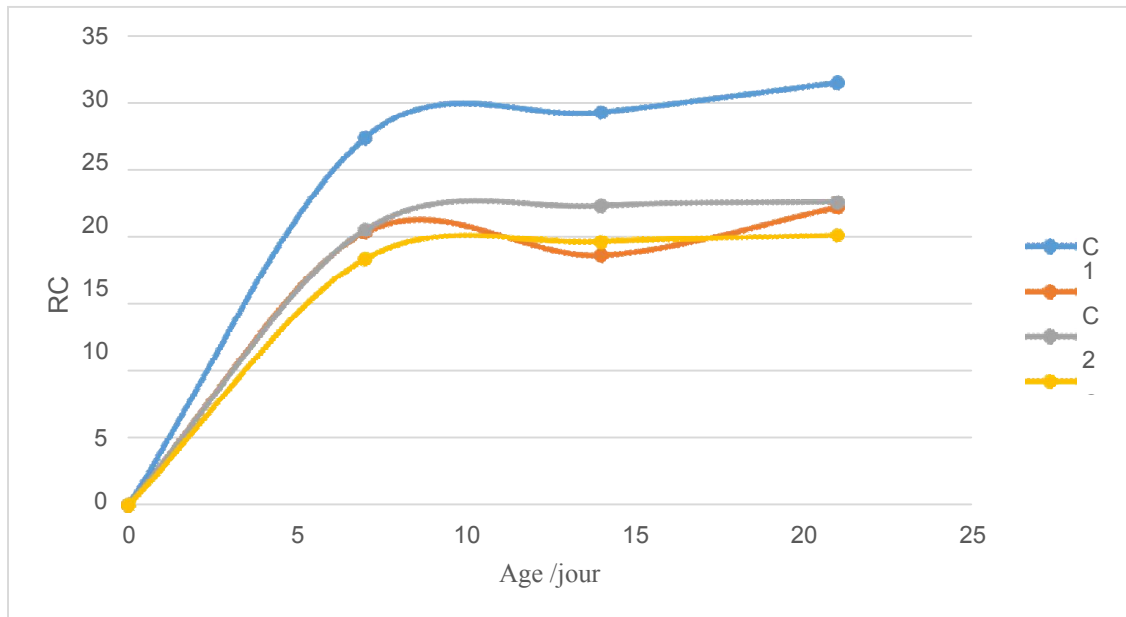


Figure IV- 5: Variation de la résistance à l'extérieur en fonction d'âge.

D'après les figures 4 et 5, et le tableau IV 2, on constate que la résistance à l'intérieur toujours plus grand que celle à l'extérieur cela traduit probablement par l'influence négative de la température sur le comportement du béton et sa durabilité, cependant que la résistance de toutes les compositions varie proportionnellement avec la progression de l'âge des éprouvettes soit l'intérieur ou à l'extérieur.

Les figures suivantes (5, 6,7 et 8) présentent la variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge des éprouvettes pour chaque composition dans les deux modes de conservation :

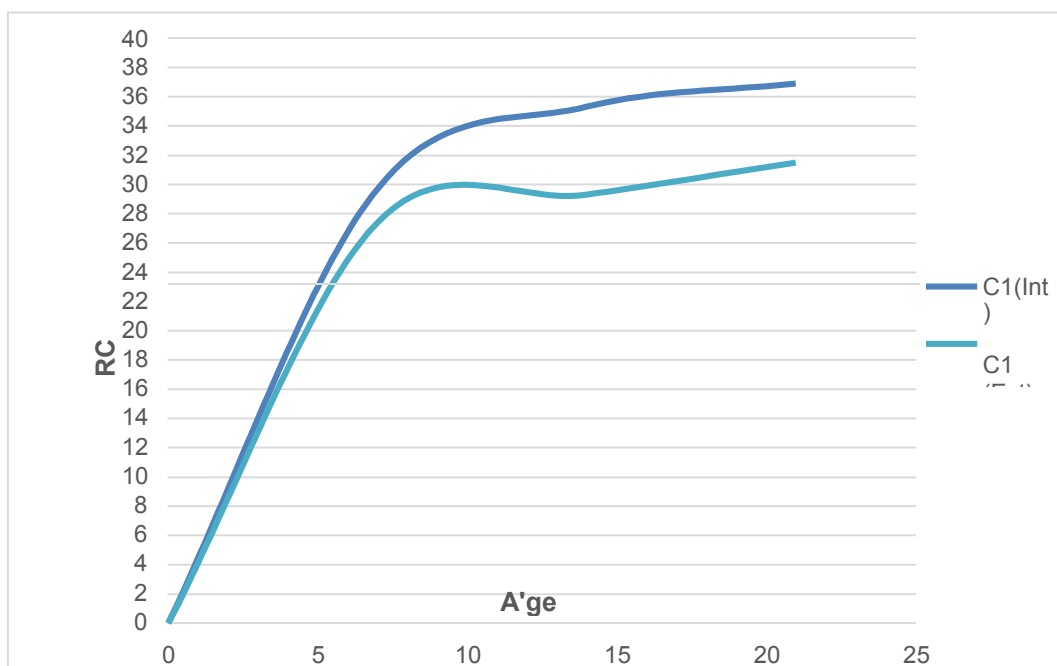


Figure IV- 6: Résistance à la compression en fonction d'âge pour C1.



Figure IV- 7: Eprouvettes de composition C1 après écrasement

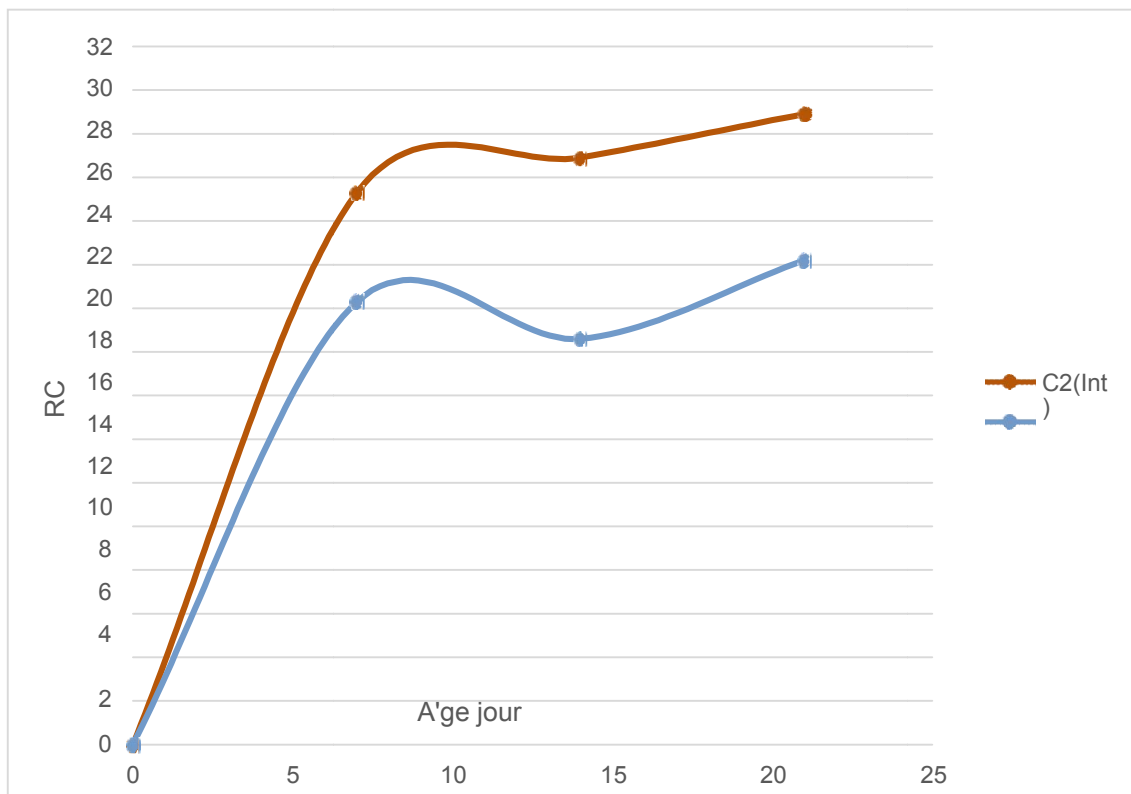


Figure IV- 8: Résistance à la compression en fonction d'âge pour C2.

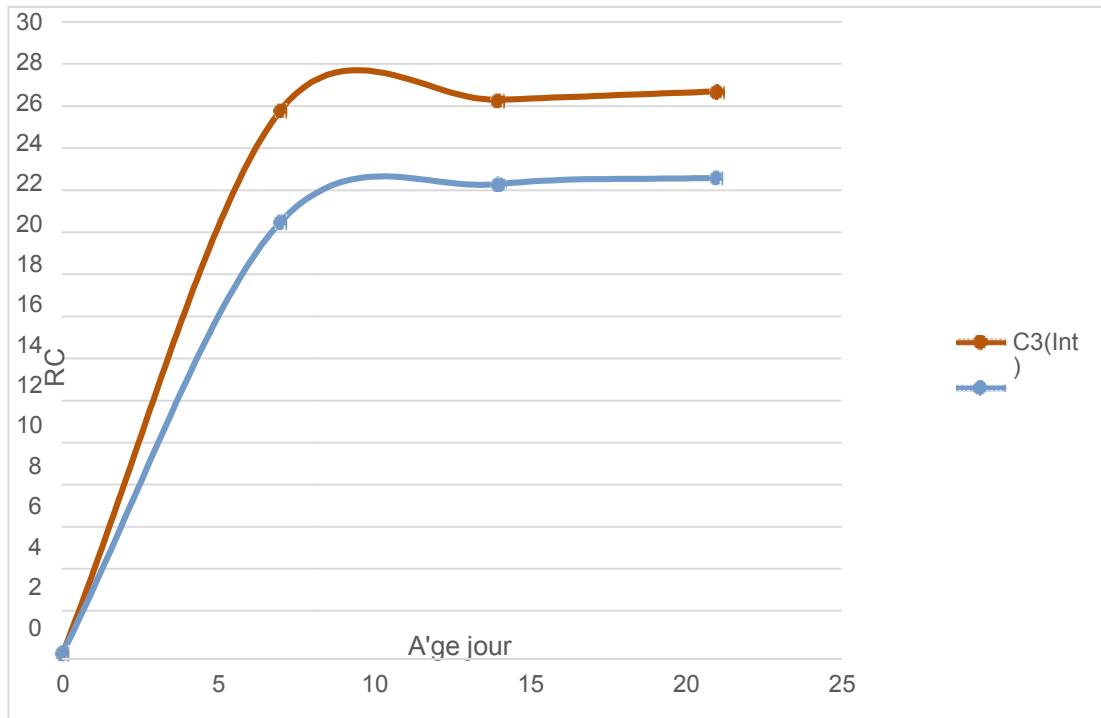


Figure IV- 9: Résistance à la compression en fonction d'âge pour C3.



Figure IV- 10: Eprouvettes de composition C3 après écrasement

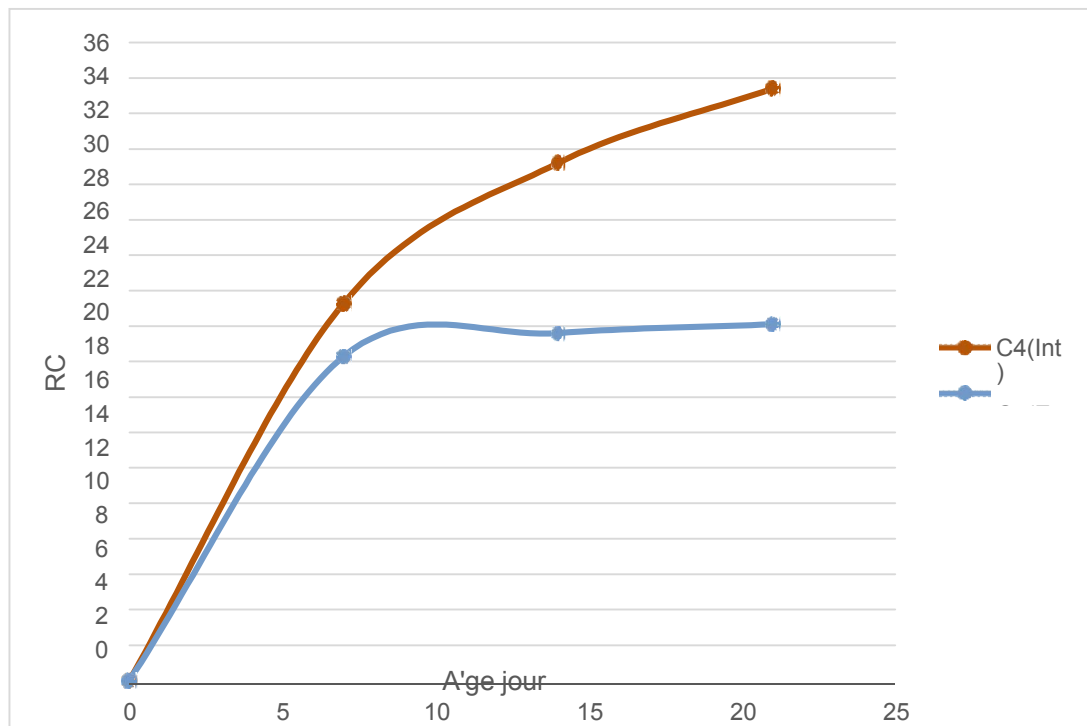


Figure IV- 11: Résistance à la compression en fonction d'âge pour C4.

La variation de résistance à la compression pour les quatre mélanges est remarquable pour les échantillons de la composition C2 et C4 à partir du 14 jours jusqu'au 21 jours. La résistance augmente rapidement pour les éprouvettes conservées à l'intérieur par rapport aux celles conservées à l'extérieur.

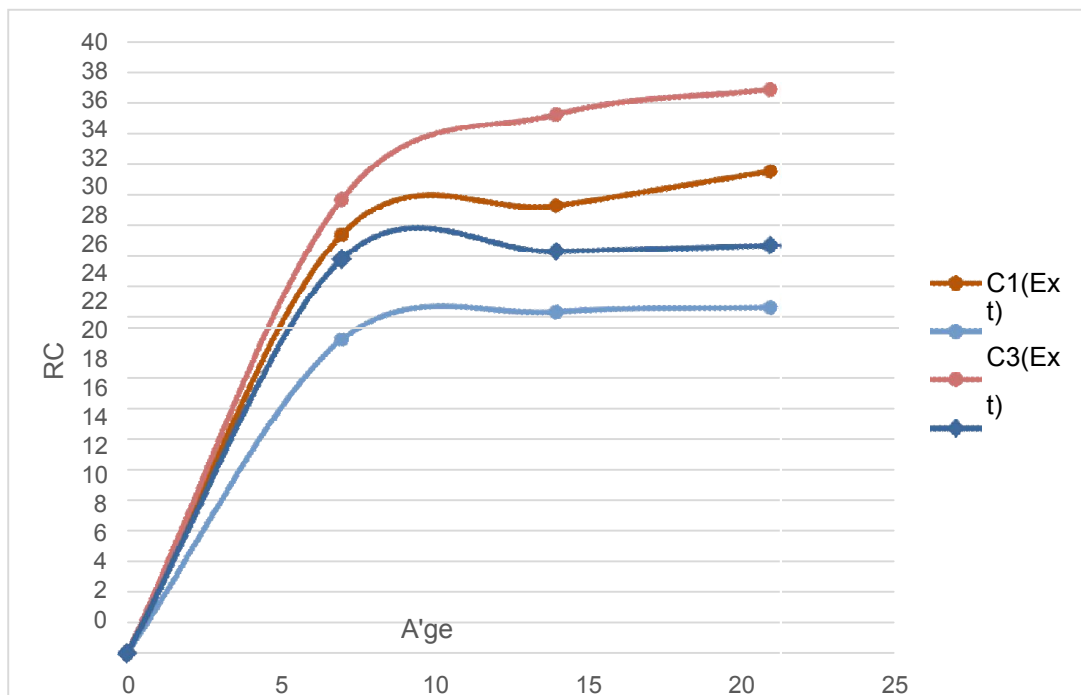


Figure IV- 12: Résistance à la compression en fonction d'âge pour C1 et C3.

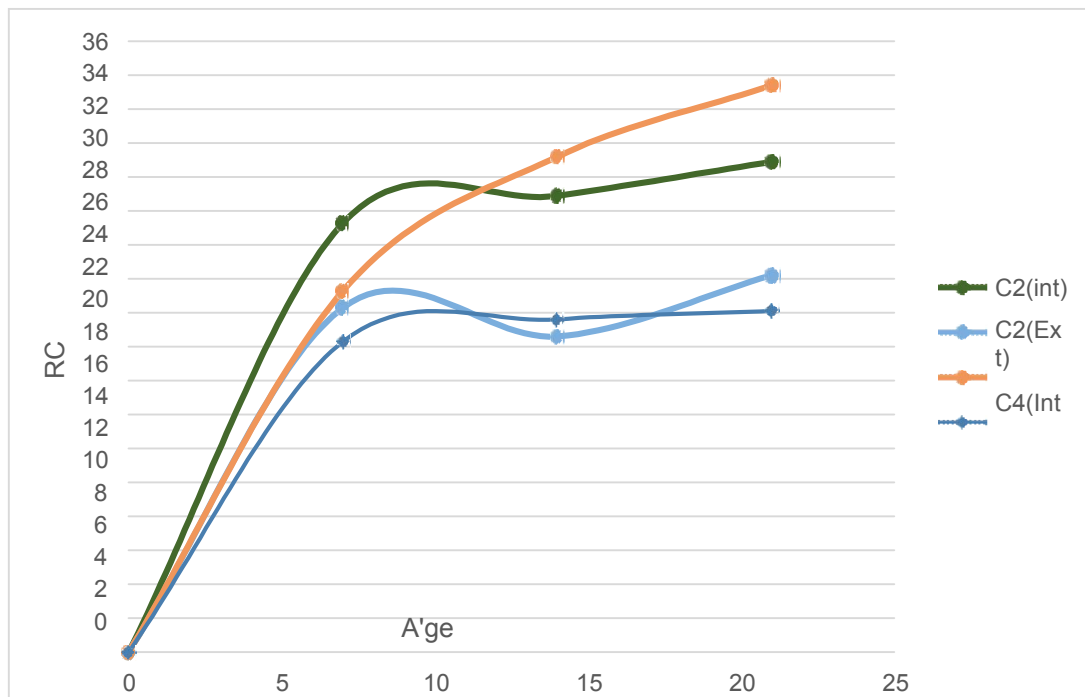


Figure IV- 13- Résistance à la compression en fonction d'âge pour C2 et C4.

La figure 12 et 13 montrent que la résistance pour les échantillons de la composition C1 est supérieure par rapport à celle de la composition C3 pour les deux modes de conservation en fonction du sable de dune, contrairement la résistance pour la composition C4 est plus grande que celle de la composition C2 en fonction du sable de carrière surtout pour les éprouvettes conservées à l'intérieur. Les échantillons de C4 conservés à l'extérieur présentent un accroissement régulier de la résistance à la compression, par contre les échantillons de C2 présentent un accroissement irrégulier. Outre la résistance de l'éprouvette de la composition C1 conservée à l'extérieur est élevée par rapport aux deux échantillons de la composition C3.

### IV-3. Analyse et discussion des résultats

Pour les quatre cas de mélange la résistance de béton varie progressivement et rapidement pour les éprouvettes conservées à l'intérieur par rapport aux celles conservées à l'extérieur, ce qui traduit par l'influence probable des conditions climatiques à l'extérieur sur les composants des bétons. Les éprouvettes de la composition C1 et C2 c-a-d qui sont composées de l'agrégats artificiels présentent une résistance plus grande que celles de la composition C2 et C4, qui sont constituées de l'agrégats naturels ! Ces résultats des résistances à la compression font une corrélation avec la propagation des fissures dans les éprouvettes du béton. La propagation des fissures dans les échantillons de la composition C2 et C4 est très rapide que les autres et elle est observable à

l'œil nu, surtout pour les échantillons posés à l'air libre. Donc les fissures apparaissent rapidement dans les éprouvettes pour les quatre cas de composition et elles se propagent dès l'essai de compression se commence. Cependant, il faut signaler que les éprouvettes de C1 et C4 conservées à l'intérieur de laboratoire montrent une meilleure résistance à la compression, en conséquent une meilleure résistance à la propagation des fissures figure IV-7 et figure IV-10.

D'après les figures et le tableau des résultats de résistance à la compression, on constate que le climat influe négativement sur la résistance mécanique de béton, par l'évaporation rapide de l'eau de la surface des éprouvettes qui empêche l'achèvement des réactions de béton (les procédures de l'hydratation incomplet), ainsi engendre des fissures préliminaires dans la surface des éprouvettes.

### **IV-3. Conclusion :**

Ce chapitre présente une analyse comparée des résultats expérimentaux pour quatre mélanges de béton, pour objectif d'avoir une idée sur l'influence des agrégats sur le béton ordinaire. On peut conclure que la propagation des fissures dépend de la résistance du béton et du mode de conservation. La composition adéquate pour une résistance à la compression satisfaisante et dans une meilleure résistance à la propagation des fissures éventuelles vient du choix optimal, soit par la correction de sable de dune par le sable de carrière ou l'inverse.

Le climat sec qui caractérise la zone chaude influe négativement sur les propriétés mécaniques du béton et rendre le béton faible,

## **CONCLUSION GENERALE**



## **Conclusion générale**

L'objectif principale de notre travail est d'étudier l'influence des types des agrégats naturels et artificiels sur la propagation des fissures ainsi d'étudier la formulation de béton ordinaire en utilisant la méthode de Faury, dans ce contexte on cherche une meilleure compréhension du comportement des bétons ordinaires à base des matériaux locaux coulé dans une région chaude comme la région d'Adrar. Pour cela nous avons adapté les démarches suivantes :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté une description générale de béton et leur composition, donc les différents éléments introduit dans sa fabrication comme le ciment, eau, adjuvants et granulats, en présentant les différents types des agrégats (naturels et artificiels) et les caractéristique du béton à l'état frais et durci ,puis nous avons réalisé une synthèse sur le comportement du béton pour avoir une idée sur la complexité du béton et sa forte hétérogénéité qui vient de ses compositions et ses caractéristiques intrinsèques.

Dans le deuxième chapitre nous avons prescrit précisément le bétonnage dans une région chaude. Les phénomènes et les facteurs influençant le comportement du béton avant et après son durcissement en conséquent sa durabilité surtout dans une température élevée qui considérée comme un facteur influe négativement sur le comportement du béton ont été présentés avec un détail. Cela nous a permet de faire une corrélation entre eux et de définir la relation entre la propagation des fissures et la résistance du béton.

Le troisième chapitre est consacré à la caractérisation et la confection du béton, donc l'identification des matériaux composent le mélange du béton. Pour établir une formulation du béton ordinaire adéquate à notre objet de recherche des différents essais ont été réalisés au niveau de laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTPS) Adrar. La méthode de formulation de béton de Faury nous a permis a récolté des informations plus sur l'élaboration d'un béton et nous donne une idée sur la simplicité de cette méthode. Plusieurs éprouvettes en été réalisés de différents mélanges pour nous pouvons juger les résultats obtenus suivant les différents types des granulats. Pour montrer le lien entre la propagation des fissures, la résistance à la compression de béton et l'influence des conditions climatiques nous avons choisi la conservation des éprouvettes à l'intérieur et à l'extérieur de laboratoire.

En fin dans le quatrième chapitre nous avons tenté d'analyser bien précisément les résultats trouvés. Dans ce contexte nous avons comparé les résultats des différentes compositions de béton pour les deux états du béton frais et durci, en basant sur l'essai de l'affaissement et de l'écrasement durant 7,14 et 21 jours.

La comparaison des résultats des bétons montre que :

- La résistance de béton et la propagation des fissures son accroissement est proportionnel, et dépend de la qualité des agrégats utilisés dans la formulation de béton ;
- Les bétons à base de sable de dune avec les graviers artificiels et les bétons à base de sable de carrière avec les graviers naturels donnent des valeurs de compression satisfaisantes et ne permettent pas la propagation rapide des fissures dans les éprouvettes des bétons donc ils ont révélé un comportement similaire ;
- La propagation des fissures et la résistance mécanique des éprouvettes conservées à l'extérieur est plus faible que celle conservées à l'intérieur de laboratoire ;
- Les conditions climatiques surtout avec une température élevée affectent négativement le comportement de béton par une diminution important de la résistance du béton.

## ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

**Références bibliographiques**

- [1] :**Dr. A.MERDAS**« Cours de matériaux de construction II ,Chapitre I : Les bétons«U.F.A. de Sétif. Sétif (<http://univ-Sétif.dz>) ,chapitre-I-les Béton –MDC-II.pdf.(2019/11/07).1:09.
- [2] :**DIB MOHAMMEDRIAD,AMARA ABDELKARIM** «Influence du mode de malaxage sur les propriétés du béton de liège» mémoire de master, Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen, 25 / 06 / 2018.
- [3] :**DREUX.G** «Le nouveau guide de béton».
- [4] :**F.HAFIDI,F.SAFOUNI,F.FARDJI**,« Endommagement des structures en béton arme du au retrait par temps chaud». Mémoire de licence, Université Africain d' ADRAR, 2013.
- [5]:**LEGRAND C**, «la structure des suspensions de ciment» thèse de doctorat, université Paul Sabatier deToulouse, 1982.
- [6] :**Z.SENISA,H.CHAOUCHE**,«Etude expérimentale d'un mortier avec ajoute minéraux» .Mémoire de master ,université KASDI MERBAH ,2011.
- [7] :**R.DAPAIN** «Granulats, sols, ciments, et béton» édition castiella ,2000 France; P 86-88.
- [8]:**ADAM.M.NEVILLE** ; propriétés des bétons, traduit par le CRIB, édition Eyrolles.
- [9]:**HALA.I,BOUCHRA.S**,«l'effet du vent chaud sur les propriétés mécanique du béton dans les zones arides région Adrar »  
Mémoire de master, université Adrar,2019.
- [10]:**AHMED FAYCEL**, «conception d'un béton destine aux ouvrages hydrotechniques»  
Mémoire de master ,école nationale supérieure d'hydraulique-ARBAOUI Abdellah Avril-2015- .
- [11]:**FATIHA BAHATOU, FATIHA ACHEBANI**« la modélisation du comportement du béton vis-à-vis l'endommagement »,Mémoire de licence, université Ahmed Draya -Adrar .2010-2011
- [12]:**M<sup>ELLE</sup> BOUTIBA ALDJIA**,« Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractéristiques du béton durci » .mémoire de magister ,université M'HAED BOUGRRA BOUMERDES.
- [13]:**BIGAMOULOUDAH.AZIZ, SAFOUNI FATIHA** « l'influence des dimension des granulats sur le retrait du béton» Mémoire de master université Ahmed Draya –Adrar-2015
- [14]:<http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre-deux-ex.html>
- [15]:<http://brindesciences.pagesperso-orange.fr/béton.hym>

- [16]:**WAHID NECHNECH**, «Contribution à l'étude numérique du comportement du béton et des structures en béton armé soumises à des sollicitations thermiques et mécaniques couplées : Une approche thermo-élasto-plastique endommageable» thèse de docteur École doctorale MEGA.
- [17]:**FICHETECHNIQUE** de «bétons courants» [http://www.infociments.fr/\(2021/02/27\)01:11](http://www.infociments.fr/(2021/02/27)01:11).
- [18]:**FOUDOU AHMED**: «le bétonnage par temps chaud» Mémoire de master université Ahmed Draya –Adrar- 2014-2015
- [19] :**CHARLES LAMOTHE** « Étude du comportement des bétons à retrait compensé dans des conditions restreintes» université Laval, Québec, Canada 2019 .
- [20] :«<http://doc.lerm.fr>», «le retrait des bétons». Retrait-carde.pdf/2021-03-07/14:48.
- [21]:«<https://www.febelcem.be>» T3-FR-Fissuration/2021/03/10/13:32
- [22] : **BELGITI HOUDA BAHMANE ZAHIA**« Influence de l'évaporation rapide sur les propriétés mécaniques d'un béton coulé dans une région chaude» Mémoire de master université Ahmed Draya –Adrar-2019-2020 ;
- [23] : **JEAN-PIERRE OLLIVER et ANGELIQUE VICHOT** «La durabilité des béton» Presses de l'école nationale des ponts et chaussées ,France,2008,867p
- [24] : **OUIZA KACI**, «outil d'aide a la décision applique aux ouvrages d'art», Mémoire de master université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2016-2017
- [25] :**Techno-béton** n° :4,La fissuration non-structurale du béton ,bulletin technique , publié par l'Association béton Québec , P 4
- [26] : **KHINECHE HOURIA**,« Diagnostique de la fissuration dans les constructions (Cause et classification) »,Mémoire de Master; Université Mohamed khider –Biskra Juillet 2019
- [27]:Neville, propriétés du béton,(2000)
- [28] : **G. DREUX & J. FESTA**, « Nouveau guide du béton et ses constituants », Edition Eyrolles, 8eme édition, (1998)
- [29] :**BENTATA AISSA**, «étude expérimentale d'un béton avec le sable de dune» magister L'université kasdi merbah Ouargla, (2004).
- [30] :**BOUKLI HACENE SIDI MOHAMMED EL AMINE**,« Contribution A L'étude De La Resistance Caractéristique Des Bétons De La Région De Tlemcen», Thèse de Doctorat à L'université Aboubekr belkaid, Tlemcen , (2009).

### **Les normes:**

- Analyse granulométrique:( NFP 18-554 Décembre 1990 ).
- Essai Absorption d'eau:( NFP 18-554 Décembre 1990).
- La masse volumiques( apparent et absolue): ( NFP 18-554Décembre 1990).

- Essai équivalent de sable;( EN 933-8+A1:2015).
- Essai propriété Superficielle:( NFP 18-591 Septembre 1990).
- Essai D'aplatissement : ( NFP 18-561 Septembre 1990).
- Essai de Bleu de Méthylène: ( NFP 94-068 Novembre 1993).
- Los Angeles:( NF EN 1097-2:2020).
- Micro –Deval: (NA 5129/EN 1097-1).
- NA 442 «Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants», (2006).
  
- NA 1966(5036) «Bétons - Eau de gâchage pour béton de construction» (1997).
  
- NA 5093«Essai pour béton durci - Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance », (2007).
  
- NA 5043 «Granulats - Éléments de définition, conformité et codification», (2007).
  
- NA 5102, «Essai pour béton frais - Essais d'affaissement», (2007).
  
- [15]-- NA 5075, «Essais pour béton durci - Résistance à la compression des éprouvettes », (2006).
  
- XP P 18-545 «Granulats-Éléments de définition ,conformité et codification.
  
- NF EN 12620 « Granulats pour béton».

# ***ANNEXES***

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD  
ANALYSE CHIMIQUE SOMMAIRE

Structure : Unité Ghardaia  
N° Dossier interne : 3/AM/2021  
Équipements utilisés : Balance- Eauve-Four.

Lieu de travail : Service chimie  
Date : 28/04/2021

Échantillon :  
Opérateur: BOUCHIRIAA- M  
N° D'inventaire : L.21.06.01-1.49.25.15-L53.02.86

| ECHANTILLON                     | E1(107%+03 30%)   |              |                 |              | E1(1080%+03 20%)  |              |                 |              | E1(109%+03 30%)   |              |                 |              | E1(110%+03 30%)   |              |                 |              |
|---------------------------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|
|                                 | Crusset+précipité | Crusset vide | Poids du résidu | % Insolubles | Crusset+précipité | Crusset vide | Poids du résidu | % Insolubles | Crusset+précipité | Crusset vide | Poids du résidu | % Insolubles | Crusset+précipité | Crusset vide | Poids du résidu | % Insolubles |
| INSOLUBLES<br>NFP 15-461        | 28,645            | 28,090       | 0,555           | 55,5         | 30,474            | 29,873       | 0,601           | 60,1         | 30,727            | 29,894       | 0,833           | 83,3         | 29,540            | 28,706       | 0,834           | 83,4         |
| SULFATES<br>BS 1377             | 15,178            | 0,064        | 15,178          | 15,242       | 16,752            | 0,058        | 16,81           | 16,81        | 20,735            | 18,088       | 2,647           | 22,075       | 22,075            | 19,654       | 2,421           | 22,075       |
| CARBONATES NFP 15-461           | 32                | 7,27         | 6,85            | 21,4         | 28                | 7,29         | 6,88            | 21,4         | 09                | 7,44         | 6,73            | 07           | 09                | 7,62         | 6,85            | 07           |
| CHLORURES<br>Méthode de Mohr    | 2,1               | 2,3          | 2,1             | 2,1          | 1,9               | 1,9          | 1,9             | 1,9          | 12                | 12,2         | 0,8             | 0,7          | 4,6               | 4,4          | 0,8             | 0,9          |
| MATIERE<br>ORGANIQUE NFP 94-055 | 0,037             | 0,061        | 0,037           | 0,037        | 0,032             | 0,052        | 0,032           | 0,032        | 0,213             | 0,349        | 0,020           | 0,012        | 0,078             | 0,128        | 0,013           | 0,013        |
| ATRES ESSAIS                    | V <sub>m</sub> =  |              |                 |              | V <sub>m</sub> =  |              |                 |              | V <sub>m</sub> =  |              |                 |              | V <sub>m</sub> =  |              |                 |              |

L'Opérateur

*[Signature]*

Visa du responsable

*[Signature]*  
F-5-5ca.03



LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD  
ANALYSE CHIMIQUE SOMMAIRE

Structure : Unité Ghardaia  
N° Dossier interne : 37/AM/2021  
Équipements utilisés : Balance- Etuve e-Four.

Lieu de travail : Service chimie  
Date : 29/04/2021

Échantillon :  
Opérateur: BOUCHRIAA- M  
N° D'inventaire : L.21.06.01-L49.25.15-L53.02.86

| ECHANTILLON                  | G naturel  | V <sub>m</sub> = |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------|--|------------------|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                              |  | V1               | V2 | V3 | V4 | V1 | V2 | V3 | V4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| INSOLUBLES<br>NFP 15-461     | Creuset+précipité<br>30.463<br>Creuset vide<br>30.295<br>Poids du résidu<br>0.168<br>% Insolubles<br>/16.8<br>Creuset+précipité  |                  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SULFATES<br>BS 1377          | Creuset vide<br>17.654<br>Poids du résidu  |                  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CARBONATES NFP 15-461        | % SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup><br>V NaOH<br>/74<br>% CaCO <sub>3</sub><br>PH <sub>i</sub> (initial)<br>7.63<br>PH <sub>i</sub> (tirage)<br>6.80<br>V <sub>AgNO3</sub> |                  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CHLORURES<br>Méthode de Mohr | V <sub>m</sub> (moyen)<br>0.2<br>%Cl <sup>-</sup><br>0.003<br>% NaCl<br>0.006  |                  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MATIERE ORGANIQUE NFP 94-055 | % Matière organique  |                  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| AUTRES ESSAIS                |  |                  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

L'Opérateur

Visa du responsable  
  
F-5-5ca.03