

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 :

BELGHITI HOUDA

BAHMANE ZAHIA

THEME

*Influence de l'évaporation rapide sur les
propriétés mécaniques d'un béton coulé dans
une région chaude*

Soutenu Le 24/10/2020 Devant le membre de jury composé de :

Dr. D. DJAAFARI	Univ.Adrar	Examineur
Mr. L. BENNACER	Univ.Adrar	Examineur
Mr. A. HAMOUDA	Univ. Adrar	Encadreur

Année Universitaire 2019-2020



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 Travaux Publiques Oran - Adrar (**LTPO Adrar**). Qui nous a ouvert les portes de son laboratoire pour la réalisation de nos essais.*

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

Houda et Zahia



DIDICACE

Si je vais dédier ce travail à quelqu'un cela ne sera que pour 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 Zahia

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

A ma promotion 2019-2020 et aux promotions antérieures où je compte beaucoup d'amis

Houda



DEDICACE

Si je vais dédier ce travail à quelqu'un cela ne sera que pour 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 Houda

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

A ma promotion 2019-2020 et aux promotions antérieures où je compte beaucoup d'amis

Zahia

RESUME

L'étude de comportement du béton est un phénomène reste encore un sujet de recherche, surtout dans son état initial ou surtout l'influence des conditions environnementales considérées plus importantes.

Après la mise en place du béton dans les régions chaudes, qui caractérisées par un climat sec et chaud, selon la commission ACI 305, le vent devient chaud est influé sur le béton par un excès d'évaporation ainsi par des fissures réduite sa résistance mécanique et sa durabilité. Afin de comprendre ce phénomène des essais ont été élaborés au niveau de laboratoire de Génie Civil université Ahmed draia Adrar. Des éprouvettes cylindriques de 15*30 ont été utilisées et conservées à l'intérieur de laboratoire et l'autre à l'extérieur pour avoir une idée sur l'influence des condition climatiques, ainsi l'évaporation rapide sur le comportement du béton.

Nous avons basé sur la formulation de l'année précédente, pour un gain de temps et la continuation de la série des travaux réalisés sur les matériaux locaux de la région d'Adrar.

Les résultats obtenir nous ont permis de découvrir la relation proportionnelle entre l'évaporation rapide et l'effet de la température, ajoutant l'effet opposite de l'humidité sur ce phénomène.

Mots clés : béton, évaporation rapide, fissuration, retrait, retrait plastique, zones chaudes,

ABSTRACT

The study of the behavior of concrete is a phenomenon that is still a subject of research, especially in its initial state or especially the influence of environmental conditions considered more important.

After the placement of concrete in hot regions, which are characterized by a dry and hot climate, according to the ACI 305 commission, the wind becomes hot is influenced on the concrete by an excess of evaporation thus by cracks reduced its mechanical resistance and its durability. In order to understand this phenomenon, tests were developed in the Civil Engineering laboratory, Ahmed Draia Adrar University. Cylindrical samples 15 * 30 were used and stored inside the laboratory and the other outside, to get an idea of the influence of climatic conditions, thus rapid evaporation on the behavior of concrete.

We have based on the formulation of the previous year, to benefit time and to continue the series of work done on local materials in the Adrar region.

The results obtained allowed us to discover the proportional relationship between rapid evaporation and the effect of temperature, adding the opposite effect of humidity on this phenomenon.

Keywords: concrete, rapid evaporation, cracking, shrinkage, plastic shrinkage, hot areas.

الملخص

تعتبر دراسة سلوك الخرسانة ظاهرة لا تزال موضوع بحث، خاصة في حالتها الأولية أو بشكل خاص تأثير الظروف البيئية التي تعتبر أكثر أهمية.

بعد صب الخرسانة في المناطق الحارة التي تتميز بالمناخ الجاف والحار، وفقاً للجنة ACI 305، تأثير الريح الساخنة بالخرسانة بسرعة التبخر وبالتالي تقلص المقاومة الميكانيكية لها بسبب الشقوق والمتانة. من أجل فهم هذه الظاهرة، قمنا بتجارب على مستوى مخبر الهندسة المدنية بجامعة أحمد دراية-أدرام. حيث تم استخدام عينات اسطوانية 15 * 30 وتخزينها داخل المختبر والآخرى بالخارج لتكوين فكرة عن مدى تأثير الظروف المناخية وبالتالي التبخر السريع على سلوك الخرسانة.

لقد اعتمدنا على صيغة تحضير الخرسانة للعام الماضي، لتوفير الوقت ومواصلة سلسلة العمل المنجز على المواد المحلية في منطقة أدرام.

بينت لنا النتائج التي تم الحصول عليها اكتشاف العلاقة التناسبية بين التبخر السريع وتأثير درجة الحرارة، إضافة إلى التأثير العكسي للرطوبة على هذه الظاهرة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، التبخر السريع، التكسير، الانكماش، الانكماش البلاستيكي،

المناطق الساخنة،

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : COMPOSITION DU BETON ET SON COMPORTEMENT

I.1. Introduction 4

I.2. Le béton : 4

 I.2.1. Définition 4

 I.2.2. Compositions de béton : 5

 I.2.3. Les différents types de béton : 9

 I.2.7. Perméabilité des bétons : 12

 I.2.8. Caractéristiques du béton frais : [4] 12

 I.2.9. Résistances du béton 13

I.3. Caractéristiques physiques du béton : 15

 I.3. 1 Retrait : 15

 I.3. 2. La dilatation : 17

 I.3. 3. Le fluage : 18

I.4. Evolution des propriétés physiques du béton au cours de l'échauffement.]3[..... 18

 I.4.1. Densité apparente 18

 I.4.2. Perméabilité 18

I.5. Effet de la température sur le comportement mécanique des bétons 20

 I.5.1. Résistance en compression à hautes températures 20

 I.5.2. Résistance en traction à hautes températures 21

 I.5.3. Module d'élasticité à hautes températures 21

I.6. Conséquences d'une augmentation de la température sur les bétons 21

 I.6.1 La prise 22

 I.6.2 Fissuration 23

 I.6.3 Diminution des résistances finales : 23

I.7. Conclusion 24

CHAPITRE II : INFLUENCE DU BETONNAGE PAR TEMPS CHAUD SUR L'EVAPORATION

II-1. Introduction	26
II-2. Les principaux problèmes liés au bétonnage par temps chaud sont : [7].....	26
II-3. Le concept général de l'atmosphère chaude :[8]	27
II-4. Bétonnage par temps chaud :	27
II-5. Les facteurs environnementaux influencés le béton :[12].....	28
II.5.1. Températures :.....	28
II-5.2. Humidité atmosphérique :	28
II.5.3. Vent :	28
II-6. Effets de la température : [13].....	28
II-7. Conséquences d'une augmentation de la température sur les bétons : [9]	30
II-8. L'évaporation trop rapide de l'eau du béton entraîne :.....	31
II-9. Le concept d'évaporation :	32
II-9.1. Facteurs affectant la vitesse d'évaporation.....	32
II-9.2. Caractéristiques du processus d'évaporation :[8].....	32
II-10. Facteurs d'évaporation élevée :	33
II-11. Evaporation d'eau à partir des surfaces du béton frais par temps chaud :	33
II-12. Le retrait des bétons :.....	34
II-12.1. Définition de retrait :	34
II-12.3. La relation entre le retrait plastique et la fissuration	37
II-12.4.les conséquences du retrait ?	38
II-13. Fissures de retrait (fissures de retrait):.....	39
II-14. Préconisations pour le bétonnage par temps chaud :	40
II-15. Conclusion.....	41

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1-Introduction :	43
III.2-Formulation de béton.....	43
III.3- programme expérimentale :.....	44
III-3-1. Présentation de la méthode ((DREUX-GORISSE)):.....	44
III-3.2. Les différentes étapes de la méthode DREUX GORISSE :	48
III.5. Comparaison de la variation des poids en fonction de temps.....	52
III.5.1-nterprétation :.....	54

III.5.2-Interprétation :	56
III.5.3-Interprétation :	57
III.5.4-Discussions de résultats	57
III.6. Conclusion	58

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE	60
----------------------------------	-----------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63
--	-----------

CHAPITRE I : COMPOSITION DU BETON ET SON COMPORTEMENT

<i>Figure I. 1: Mélange d'agrégat (sable plus granulat) et de la pâte composée.[6]</i>	5
<i>Figure I. 2 : Types des Granulats [1]</i>	6
<i>Figure I. 3 : Dosage du béton de fondation [1]</i>	10
<i>Figure I. 4: Mise en place du béton à la grue.</i>	11
<i>Figure I. 5: Essai d'affaissement au cône d'Abrams. [6]</i>	12
<i>Figure I. 6 : Evaluation de la résistance en compression [1]</i>	14
<i>Figure I. 7: Comportement du béton en compression en traction en flexion [1]</i>	15
<i>Figure I. 8: Schéma d'un béton soumis à un effort de traction [1]</i>	15
<i>Figure I. 9. Perméabilité intrinsèque résiduelle en fonction du traitement thermique [3]</i>	19
<i>Figure I. 10: Perméabilité apparente au gaz en fonction de la température de conditionnement [3]</i> ..	19
<i>Figure I. 11: Evolution de la résistance en compression relative des bétons avec la température [3]</i> ...	20
<i>Figure I. 12.: Accroissement de la température du béton en fonction de celle des constituants [1]</i>	22
<i>Figure I. 13: Evolution du temps de prise du béton e fonction de la température [1]</i>	22
<i>Figure I. 14: Fissuration du béton [1]</i>	23

CHAPITRE II : INFLUENCE DU BETONNAGE PAR TEMPS CHAUD SUR L'EVAPORATION

<i>Figure II. 1: Fissuration du béton [2]</i>	31
<i>Figure II. 2: déformations de la pâte de ciment dans les 48h suivant le gâchage [12]</i>	34
<i>Figure II. 3: Définition de retrait plastique</i>	35
<i>Figure II. 4: Volume absolu et volume apparent [12]</i>	37
<i>Figure II. 5: retrait de la pate</i>	38

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

<i>Figure III. 1: Différents types des granulats utilisés</i>	43
<i>Figure III. 2: Préparation des ingrédients pour le malaxage</i>	44
<i>Figure III. 3: courbe d'analyse granulométrique</i>	46
<i>Figure III. 4: Outillages et appareillage des mesures au niveau du laboratoire de Génie Civil université d'Adrar</i>	49
<i>Figure III. 5: Ciment (STG) utilisé dans la confection des bétons</i>	49
<i>Figure III. 6.: Pèse de Gravier concassé 3/8, 8/15 et 15/25 de COUSSAN</i>	51
<i>Figure III. 7: Pèse du sable (sable de dune BOUDA)</i>	51
<i>Figure III. 8: Opération prè-coulage du béton</i>	52
<i>Figure III. 9: Remplissage des moles</i>	52

Figure III. 10 : Variation du poids avec le temps à l'intérieur..... 53

Figure III. 11 : Variation du poids avec le temps à l'extérieur..... 54

Figure III. 12 : Variation du poids avec le temps à l'intérieur..... 55

Figure III. 13 : Variation du poids avec le temps à l'extérieur..... 55

Figure III. 14 : Variation du poids avec le temps à l'intérieur..... 56

Figure III. 15 : Variation du poids avec le temps à l'extérieur..... 57

CHAPITRE I : COMPOSITION DU BETON ET SON COMPORTEMENT

<i>Tableau I. 1 : Classification et utilisation des adjuvants NF EN 934-2.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau I. 2: Vibration recommandé en fonction de l'ouvrabilité du béton [1].....</i>	<i>13</i>

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

<i>Tableau III. 1: les valeurs des coefficient granulaire G.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau III. 2: les valeurs de coefficient k.....</i>	<i>47</i>
<i>Tableau III. 3: Composition chimique de ciment</i>	<i>50</i>
<i>Tableau III. 4 : poids des éprouvettes conservées à l'intérieur</i>	<i>53</i>
<i>Tableau III. 5 : poids des éprouvettes conservées à l'extérieur.....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau III. 6 : poids des éprouvettes conservées à l'intérieur</i>	<i>54</i>
<i>Tableau III. 7 : poids des éprouvettes conservées à l'extérieur.....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau III. 8 : poids des éprouvettes conservées à l'intérieur</i>	<i>56</i>
<i>Tableau III. 9 : poids des éprouvettes conservées à l'extérieur.....</i>	<i>56</i>

NOTATIONS

D: diameter du cylinder pour essai brésilien E_c :

M_f: module de finesse

MD : Coefficient Micro-Deval

C_u : Coefficient d'uniformité

C: Dosage de ciment

AP : Coefficient d'aplatissement

R_c : Résistance à la compression

E/C : L'eau sur ciment

G/S : Gravier / sable

MDC : Matériaux de construction

G : Coefficient granulaire

γ_c : La masse volumique réelle de ciment

V_c : Volume absolue de ciment

γ : Coefficient de compacité de béton

V_t : Volume total absolu

V_g : Volume du granulat

E_{sp} : Equivalente de sable au piston

M_{v_{app}}: la masse volumique apparente

M_{v_{abs}}: la masse volumique absolue

P(%) : la porosité

LA: Los Angeles

K : correcteur dosage de ciment

F_{cm} : résistance de béton recherché à 28 jour

BP : béton plastique

BTP : béton très plastique

SD : sable de dune

SC : sable concassé

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La zone chaude est considérée comme l'environnement dans lequel le taux de précipitations est très faible, où la pluviométrie moyenne est d'environ 35 cm par an ou moins, et dans certaines régions chaudes, il n'y a pas de pluie pendant plusieurs années, et le taux d'évaporation est très élevé, où le taux d'évaporation de l'eau dépasse le taux de précipitations plusieurs fois. L'environnement chaud est caractérisé par des fluctuations de température quotidiennes et saisonnières, et l'environnement chaud est divisé en un environnement désertique et un environnement semi-aride [2].

Le désert est un environnement extrêmement chaud et aride, rude et limitant la survie des êtres vivants. Ceci est principalement associé à des pluies faibles et irrégulières, exacerbées par des températures extrêmement élevées et des vents forts.

La région du Sahara central connaît un grand développement, mais la chaleur est devenue un obstacle majeur. Cela a causé des problèmes de construction dans cette région aride. Ainsi, la résistance du béton par temps chaud devient une nécessité de grande importance. Cela doit être pris très au sérieux.

Le béton actuellement est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde. Il est vu comme une matière moderne, grâce à sa grande résistance à la compression.

Le principe du béton est pourtant connu depuis l'antiquité. Bien que sa fabrication soit plutôt simple, certaines règles doivent être respectées. En effet, l'eau, le ciment, les adjuvants et les granulats qui constituent le béton sont soumis à des normes. Malgré les bonnes performances des bétons à la température ambiante, il existe encore de nos jours des phénomènes qui sont mal compris par les chercheurs et les ingénieurs en pratique, ce béton peut présenter un comportement crucial et une instabilité aux hauts degrés de chaleur. Les qualités de la résistance mécanique, de facilité d'utilisation et de durabilité font du béton, un matériau incontournable de choix pour la réalisation de nombreux ouvrages et bâtiments de génie civil.

La température dans les régions du sud atteint des valeurs très importantes qui 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 de [2]. Il change

sa microstructure. Les dommages peuvent affecter : Stabilité de la structure et réduction de la résistance.

L'objectif de notre projet de fin d'études est d'étudier l'effet de l'évaporation rapide sur le béton ordinaire fabriqué de composants locaux, c'est-à-dire de la région d'Adrar (KOUSSAN), sous l'influence de la températures ambiantes élevées.

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 les essais nécessaire pour la confection du béton, le troisième chapitre consiste à l'étude du phénomène l'évaporation rapide de l'eau de béton, dans l'objectif de découvrir l'influence des paramètres climatique sur ce phénomène. Des essais en été établir pour trois cas de béton ferme, plastique et très plastique pour une température et humidité différente.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale, comporte une recommandation pour bien développer l'idée coupée à cause des conditions actuelles De COVID19.

CHAPITRE I :
COMPOSITION DU BETON ET 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 a construit aujourd'hui en matière de logement, d'écoles, d'hôpitaux et d'infrastructures. A la fois robuste et universel, l'ampleur et l'étendue de ses performances mécaniques et physiques augmentent sans cesse, et sa formulation, jusqu'à aujourd'hui très empirique, est en passe de devenir une démarche rationnelle, avec des outils d'ingénieurs construits sur des bases scientifiques qui font appel à toutes les disciplines qui entrent dans ce qu'on appelle la science des matériaux. Le béton est un matériau artificiel obtenu en mélangeant en proportions convenables et de manière homogène, du ciment (liant), un granulat (sable + gravier), de l'eau et éventuellement des adjuvants. Le liant peut être « hydraulique » (car il fait prise par hydratation ; ce liant est couramment appelé ciment) ; on obtient dans ce cas un béton de ciment. On peut aussi utiliser un liant hydrocarboné (bitume), ce qui conduit à la fabrication du béton bitumineux. [1]

I.2. Le béton :

I.2.1. Définition

Un béton est un mélange des granulant (sable, graviers et éventuellement cailloux) lies entre eux par une pate de ciment (ciment+eau) .[2]

En bref le béton est un:

- Mélange d'agrégat (sable plus granulat) et de la pâte composée : de ciment, d'eau et d'adjuvant pate 30 à 40%
- Ciment portland 7% to 15% par volume
- Eau 14% to 21% par volume
- Agregats 60% à 80%
- Gros granulats
- Granulats fins
- Adjuvants chimiques [6]

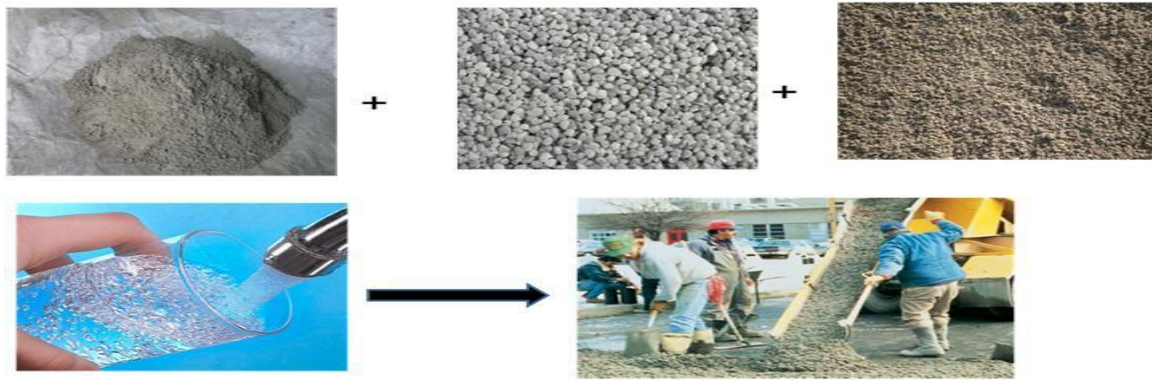


Figure I. 1: Mélange d'agrégat (sable plus granulat) et de la pâte composée.[6]

I.2.2. Compositions de béton :

I-2.2.1. Les ciments :

Le ciment est un liant hydraulique qui, mélangé avec l'eau, donne des produits avec une résistance mécanique et chimiquement stables même dans l'eau. Le ciment Portland, le plus répandu parmi les liants hydrauliques, c'est un mélange de gypse et clinker [1]. La préparation du clinker consiste à cuire un mélange de calcaire (80%) et de (20%) d'argile dans un four porté à une température d'environ 1450°C.[3]

Rôle de ciment :

C'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.[5]

I.2.2.2. Les granulats :

Les granulats sont définis comme l'ensemble des grains inertes compris entre 0 mm et 40 mm (sable, graviers et cailloux, dont l'origine peut être naturelle ou artificiel NF P 15-010. On appelle granulats des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (gros et fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. Il y a deux Intérêts d'utiliser des granulats dans le béton :

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

Classification des granulats selon la provenance :**A) Granulats naturels :**

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

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

Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature :

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

N.B : Les granulats roulés se caractérisent par leur aspect de grains arrondis et polis [1].



1) Granulat de mer 2) Granulat de rivière 3) Granulat des dunes

Figure I. 2 : Types des Granulats [1].

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

B) Granulats artificiels :

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

C) Granulats recyclés :

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

D) Granulats courants :

Lorsque leur masse volumique réelle est supérieure ou égale à 2 Mg/m).

Selon leurs dimensions, on distingue : les sables, les graviers, les cailloux, les galets et les moellons. Les dimensions soulignées sont celles de la série de base préconisée par la norme européenne (NF EN 933-2).[1]

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.[5]

Sable :

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 μm et 05 mm ; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30% [1]

I.2.2.3. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage est la quantité d'eau additionnée au mélange de ciment, d'addition et de granulats lors du malaxage du béton. Si des adjuvants ou des additions sont employés sous forme de solutions ou de suspensions, il faut tenir compte de leur apport d'eau à partir d'une quantité de , l/m . [4].

Le rôle de l'eau :

L'eau joue un double rôle dans la technologie du béton. D'une part, elle est nécessaire au durcissement du ciment, puisque la réaction chimique du ciment (hydratation) est induite par l'eau. D'autre part, elle est indispensable pour assurer l'ouvrabilité et une mise en place correcte du béton frais.[4]

Adjuvant :

Les adjuvants sont ajoutés au béton en général sous forme liquide. Ils influent par leurs effets chimiques et/ou physiques sur les propriétés du béton. Selon le type d'adjuvant utilisé, il est possible de modifier de manière ciblée tant les propriétés du béton frais, p. ex. le temps de prise et l'ouvrabilité, que les caractéristiques du béton durci, telles que la résistance à la compression et la durabilité [4].

Type des adjuvants :

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

- Plastifiant /réducteur d'eau.
- Super plastifiant/haut réducteur d'eau.
- Rétenteur d'eau.
- Entraîneur d'air.
- Accélérateur de prise.
- Accélérateur de durcissement.
- Retardateur de prise.
- Hydrofuge de masse.
- Plastifiant/réducteur d'eau / retardateur de prise.
- Superplastifiants / haut réducteur d'eau/retardateur de prise.
- Plastifiant / réducteur d'eau / accélérateur de prise. [1]

Les détails sont donnés par le tableau suivant :

Tableau I. 1 : Classification et utilisation des adjuvants NF EN 934-2

Adjuvants	Leur rôle
Plastifiant/réducteur d'eau	Adjuvant qui, sans modifier la consistance, permet de réduire la teneur en eau d'un béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmente l'affaissement / l'étalement, ou qui produit les deux effets à la fois
Superplastifiants/haut réducteur d'eau	Adjuvant qui, sans modifier la consistance, permet de réduire fortement la teneur en eau d'un béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmente considérablement l'affaissement / l'étalement, ou qui produit les deux effets à la fois
Rétenteur	d'eau adjuvant qui réduit la perte d'eau en diminuant le ressuage
Entraîneur	d'air Adjuvant qui permet d'incorporer pendant le malaxage, une quantité contrôlée de fines bulles d'air uniformément réparties et qui subsistent après durcissement

Accélérateur de prise	adjuvant qui diminue le temps de début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide
Accélérateur de Durcissement	Adjuvant qui augmente la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise
Retardateur de prise	Adjuvant qui augmente le temps de début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide
Hydrofuge de masse	Adjuvant qui réduit l'absorption capillaire du béton durci
Plastifiant/réducteur d'eau / retardateur de prise	Adjuvant qui combine les effets d'adjuvant plastifiant/réducteur d'eau (fonction principale) et ceux d'adjuvant retardateur de prise (fonction secondaire)
Superplastifiants / haut réducteur d'eau/retardateur de prise	Adjuvant qui combine les effets d'adjuvant Superplastifiants/haut réducteur d'eau (fonction principale) et ceux d'adjuvant retardateur de prise (fonction secondaire)
Plastifiant / réducteur d'eau / accélérateur de prise	Adjuvant qui combine les effets d'adjuvant plastifiant/réducteur d'eau (fonction principale) et ceux d'adjuvant accélérateur de prise (fonction secondaire)

I.2.3. Les différents types du béton :

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

1. Béton auto-plaçant (BAP).
2. Béton de hautes performances (BHP).
3. Béton de fibres.
4. Béton compacte au rouleau (BCR).
5. Béton préfabriqué.
6. Béton à durcissement rapide.
7. Béton de terre.

8. Béton léger.
9. Béton lourd.
10. Béton extra lourd.
11. Béton réfractaire.
12. Béton de poudre réactive (BPR).

Béton ordinaire [1].

I.2.4. Dosage de béton en kg dans un m^3

Voici les dosages usuels :

- 250 : béton de propreté.
- 300 : dalle piétonne, terrasse, allée de jardin, semelle de fondation.
- 350 : dalle carrossable, semelle de fondation, poteau.
- 400 : ouvrage en béton armé [1].

Le dosage de béton est pour $1m^3$ est :

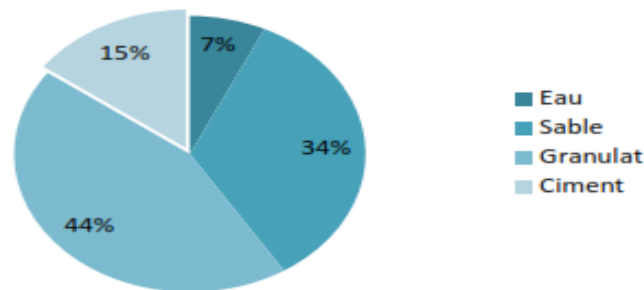


Figure I. 3 : Dosage du béton de fondation [1]

I.2.5. Formulation de béton :

La formulation joue le rôle important qui consiste à choisir des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre, elle doit intégrer avant tout les exigences de la norme NF EN 206-1, laquelle, en fonction de l'environnement dans lequel sera mis en place le béton, sera plus ou moins difficile vis-à-vis de la quantité minimale de ciment à insérer dans la formule ainsi que la quantité d'eau maximum tolérée. De même, à chaque environnement donné, une résistance garantie à 28jours sur éprouvettes sera exigée aux producteurs, pouvant justifier des dosages de ciments plus ou moins

supérieurs à la recommandation de la norme, et basée sur l'expérience propre à chaque entreprise, laquelle étant dépendante de ses matières premières dont la masse volumique peut varier, notamment celle des granulats [1].

I.2.6. Propriétés du béton [6]

Le béton est un matériau obtenu en mélangeant les constituants, à savoir du ciment, de l'eau, des granulats grossiers et fins, avec ou sans ajout d'additions ou d'adjuvants. Les possibilités de variation des paramètres au sein de ce mélange de constituants sont pratiquement illimitées, ce qui permet d'influencer de façon ciblée aussi bien les propriétés du béton frais que celles du béton durci.[4]



Figure I. 4: Mise en place du béton à la grue.

Le béton possède deux comportements : l'état frais et l'état durci. Parmi tous les constituants du béton, l'eau reste l'ingrédient qui peut nuire le plus même si c'est à grâce à l'eau que le béton peut être manipulé. Réduire son dosage permet :

- d'augmenter la résistance en compression et en flexion
- réduire la perméabilité
- Réduire la contraction volumique (retrait de séchage)
- Moins de risques d'attaques d'agents agressifs extérieurs.

La réduction d'eau rend par contre le béton moins plastique. Avec l'incorporation des adjuvants chimiques, cela devient possible. [1]

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

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

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

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

Pour réaliser un béton qui répond aux deux critères, il faut optimiser tous les facteurs [1]

I.2.7. Perméabilité des bétons :

La perméabilité est la mesure de la migration d'eau à travers le béton. Un béton perméable ouvre la porte aux différents agents agressifs extérieurs qui sont la principale cause de la corrosion des armatures et de la dégradation du béton. À l'inverse, un béton étanche ou très peu perméable est un béton durable [6]

I.2.8. Caractéristiques du béton frais : [4]

Toutes les propriétés du béton frais peuvent être contrôlées à la centrale à béton. Il faut Veiller à ce qu'elles ne changent pas de manière significative durant le transport de la centrale au chantier.

Affaissement au cône d'Abrams (FLOW TEST ou SLUMP TEST) :[7]

Il caractérise la fluidité du béton.

* Il s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams (ou au cône DIN)

*Pas de norme de remplissage

NB: il est recommandé de remplir le cône en une seule fois avec un débit constant. [7]

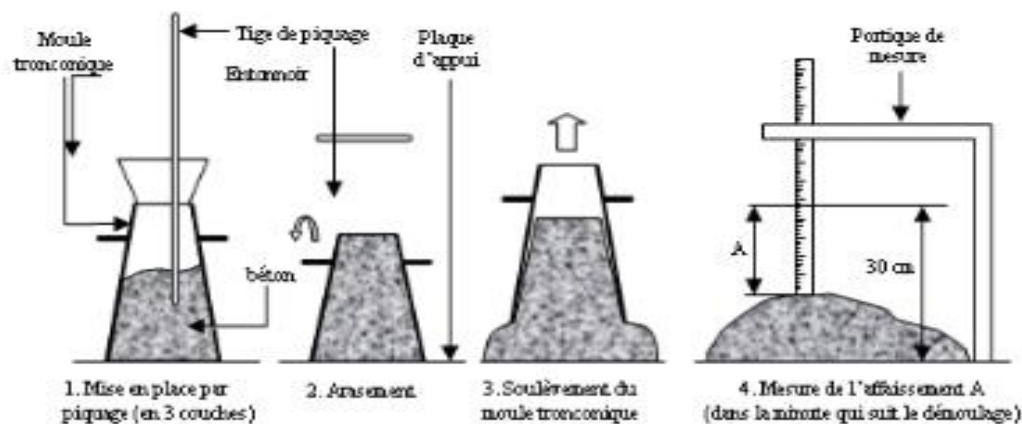


Figure I. 5: Essai d'affaissement au cône d'Abrams. [6]

En fonction de l'affaissement mesuré, la maniabilité du béton est appréciée et une manière de sa mise en œuvre est recommandée. Le tableau suivant montre les différentes formes de béton selon leur affaissement trouvé [1]

Tableau I. 2: Vibration recommandé en fonction de l'ouvrabilité du béton [1]

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

Rapport eau/ciment :

Les critères de conformité s'appliquent au rapport E/C, qui est calculé sur la base du dosage en ciment (indiqué sur le protocole de charge ou selon recette) et la teneur en eau e^{TMcace} . Les adjuvants liquides doivent être pris en compte à partir d'une quantité supérieure à % l/m.[4]

Béton durci :[1]

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

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

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

I.2.9. Résistances du béton

a)- Compression

Le béton seul est un matériau naturellement résistant à la compression, il est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, f_{c28} . En France, par convention, la résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur.

Les bétons courants ont une résistance de 20 à 30 MPa, ceux de qualité atteignent 40 à 50 MPa, et les bétons à hautes performances peuvent dépasser 100 MPa. Le diagramme représentatif de la loi de comportement du béton montre que la contrainte maximale de compression f_c est atteinte pour une déformation de l'ordre de 2.10^{-3} . La ruine de l'éprouvette se produit pour une déformation de l'ordre de $3,5.10^{-3}$. La pente de la partie linéaire du diagramme définit le module d'élasticité instantané E ; (module de Young). Sa valeur peut être évaluée par des relations empiriques telles que celle donnée par les règles françaises : $E = 11000 f_c^{1/3}$ (MPa). Un béton de 40 MPa de résistance a donc un module de déformation longitudinale instantanée de l'ordre de 38 GPa [1]

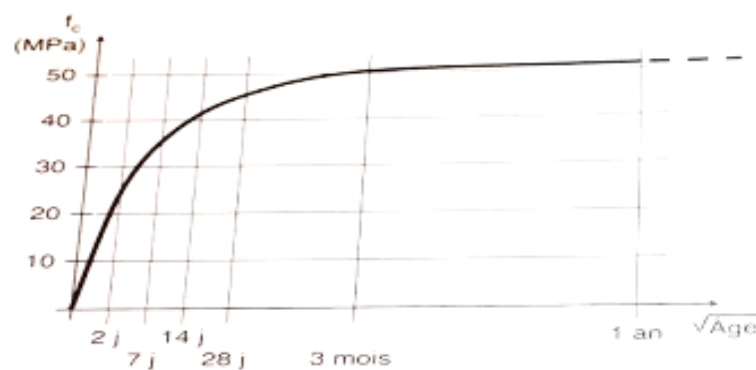


Figure I. 6 : Evaluation de la résistance en compression [1]

b)- Traction :[4]

La résistance à la traction dépend en partie des mêmes facteurs d'influence que la résistance à la compression, c.-à-d. des propriétés de la pâte de ciment durcie et son adhérence au granulat. En conséquence la résistance à la traction augmente lorsque le rapport E/C diminue, mais nettement moins que la résistance à la compression. Les bétons avec des granulats concassés possèdent en général une résistance à la traction de 10% à 20% plus élevée que les bétons similaires avec un granulat roulé. Le Mode et le niveau de rupture d'une éprouvette de béton sollicitée en traction sont essentiellement dictés par les facteurs microstructuraux, tels que :

- des défauts de compactage
- une mauvaise adhérence de la pâte de ciment au granulat
- des microfissures dans la pâte de ciment et/ou dans le granulat
- des pores d'air

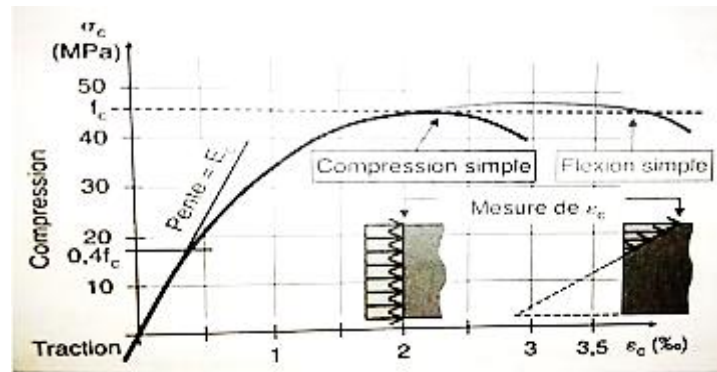


Figure I. 7: Comportement du béton en compression en traction en flexion [1]

C)- Flexion :[1]

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

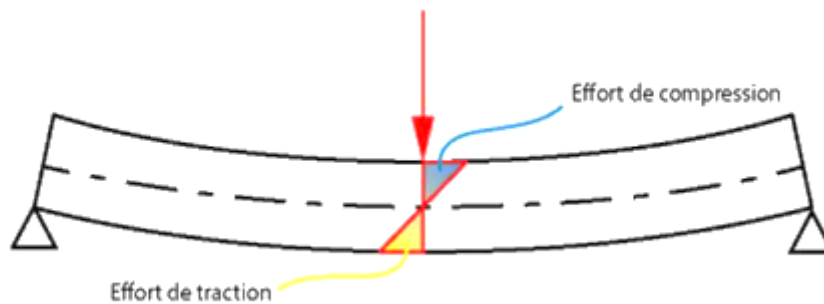


Figure I. 8: Schéma d'un béton soumis à un effort de traction [1]

Module d'élasticité

Contrairement aux mesures de résistances à la compression et à la traction, il existe très peu de données dans la littérature sur l'évolution du module d'élasticité du béton porté à une température élevée.

I.3. Caractéristiques physiques du béton :

I.3.1 Retrait :

Est un raccourcissement spontané consécutif à l'évaporation d'une partie de l'eau que le béton contient. Par effet du second ordre, ce retrait est à son tour générateur de contraintes qui peuvent conduire à la fissuration.[1].

I.3.1.1. Les types de retrait dans le béton :

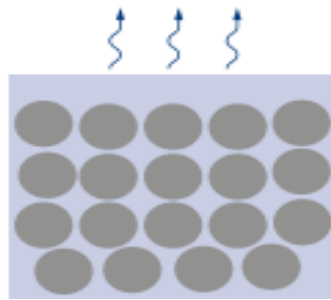
a. Retrait plastique ou capillaire :

Le retrait capillaire, aussi appelé retrait plastique, est dû aux tensions capillaires créées lors de l'évaporation de l'eau du béton frais. Une pression négative se développe alors notamment dans la zone proche de la surface du béton, c.-à-d. un vide capillaire exerçant une force de contraction entre les fines particules solides du béton frais dont il résulte une plus grande compacité. [4]

Les trois phases du retrait plastique. Les particules solides sont représentées de manière simplifiée par des billes :

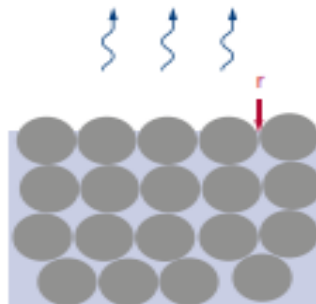
Phase01 :

L'eau de ressuage s'évapore à la surface du béton frais. La quantité d'eau évaporée est comparable à celle issue d'une évaporation d'eau libre, mais plus petite que la quantité d'eau ressuée.[4]



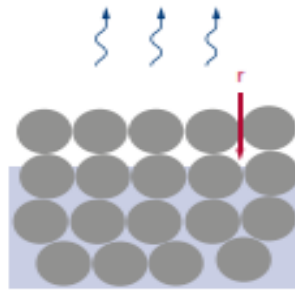
Phase 02:

Si l'évaporation dépasse la quantité d'eau ressuée à la surface, le niveau d'eau s'abaisse jusqu'au niveau des particules solides. Les particules solides se rapprochent jusqu'à ce qu'elles se touchent. Les tensions capillaires (r) se développent en bordure.[4]



Phase 03:

Au fur et à mesure de l'évaporation, le niveau d'eau s'enfonce dans le béton et atteint d'autres particules qui ne peuvent s'approcher les unes des autres. Les tensions capillaires augmentent et peuvent conduire à la formation de fissures [4].



b. Retrait chimique et endogène

Le retrait chimique est une contraction volumique au cours de l'hydratation du ciment, imputée à l'incorporation des molécules d'eau dans les produits d'hydratation (phases CSH). Le volume de l'eau liée chimiquement est plus petit que celui de l'eau libre. La contraction volumique de la pâte de ciment au moment de la prise jusqu'à l'hydratation complète est d'environ $6\text{cm}^3/100\text{g}$ de ciment. Pour un béton avec un rapport E/C de 0.40 (hydratation complète) le volume de la pâte de ciment durcie VCS correspond à $92\sim\%$ de la pâte de ciment à l'état frais VCL.[4]

c. Retrait de dessiccation :

Ce type de retrait est lié au séchage du béton durci et résulte d'échanges hydriques avec le milieu environnant. Le phénomène débute dès le décollage ou la fin de la cure et peut durer des années, voire des décennies dans le cas d'éléments massifs. La cinétique du retrait de dessiccation est plus rapide dans le cas de bétons avec un rapport E/C élevé, d'humidité d'air faible, d'un élément mince, respectivement d'un rapport important entre la surface de béton exposée et le volume de béton. [4]

d. Le retrait de carbonatation :[1]

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

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

I.3. 2. La dilatation :

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

$$2\text{ }‰ \times 2000\text{ cm} = 0,4\text{cm} [1]$$

I.3. 3. Le fluage :

Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge de longue durée, le béton se comporte comme un matériau viscoélastique. La déformation instantanée qu'il subit au moment de l'application de la charge est suivie d'une déformation lente ou différée qui se stabilise après quelques années. C'est ce que l'on appelle le fluage. Le fluage est pratiquement complet au bout de 3 ans. Au bout d'un /mois, les 40 % de la déformation de fluage sont effectués et au bout de six mois, les 80%.

Estimation de la déformation de fluage :

$\Delta l = 4 \text{ à } 5 \text{ ‰ longueur.}$

Cette déformation varie surtout avec la contrainte moyenne permanente imposée au matériau.[6]

Le coefficient « Poisson »

Condition de fissuration d'un béton : Le phénomène de retrait étire le béton de telle façon que l'allongement résultant compense le raccordement imposé par le retrait, si l'élément était libre de se déformer. Le retrait augmente avec le temps, la tension interne aussi : si elle dépasse la limite de rupture du béton, la fissuration se produit [1].

$$\frac{\text{déformation transversal}}{\text{déformation longitudinale}} = \text{dont la valeur vraie entre } 0.15 \text{ et } 0.30$$

I.4. Evolution des propriétés physiques du béton au cours de l'échauffement.[3]

I.4.1. Densité apparente

D'après les travaux de Bazant and Kaplan [19], on observe une légère diminution de la masse volumique Pour tous les bétons entre la température ambiante et la température 400 °C à cause de l'expansion thermique du matériau et du départ de l'eau.[3]

I.4.2. Perméabilité

Dans les travaux de Sliwinski [20], il a été montré que la perméabilité du béton augmente avec la température de manière exponentielle. Les valeurs de la perméabilité ont été obtenues pour un béton de granulats basalte chauffé à 1°C/min et refroidi à la température ambiante [3].

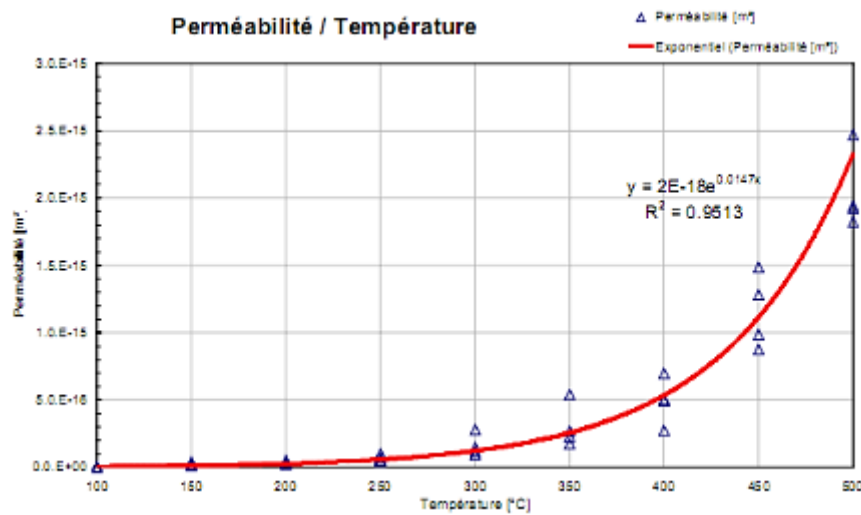


Figure I. 9. Perméabilité intrinsèque résiduelle en fonction du traitement thermique [3]

L'évolution de la perméabilité avec la température a été aussi étudiée dans le cadre du Projet National BHP 2000 [21]. La détermination de la perméabilité intrinsèque (k) a été réalisée à partir de la mesure de la perméabilité à l'azote (Ka) selon la méthode de KLINKENBERG en utilisant la relation : $k_a = (1 + \frac{b}{p})$

Où P est la pression moyenne et b un coefficient déterminé expérimentalement.

La figure montre qu'à 105°C la perméabilité intrinsèque du BHP est nettement inférieure à celle d'un BO. Par contre, elle augmente plus rapidement avec la température pour le BHP que pour BO. A 350°C, le BHP a une perméabilité équivalente à celle du béton ordinaire.

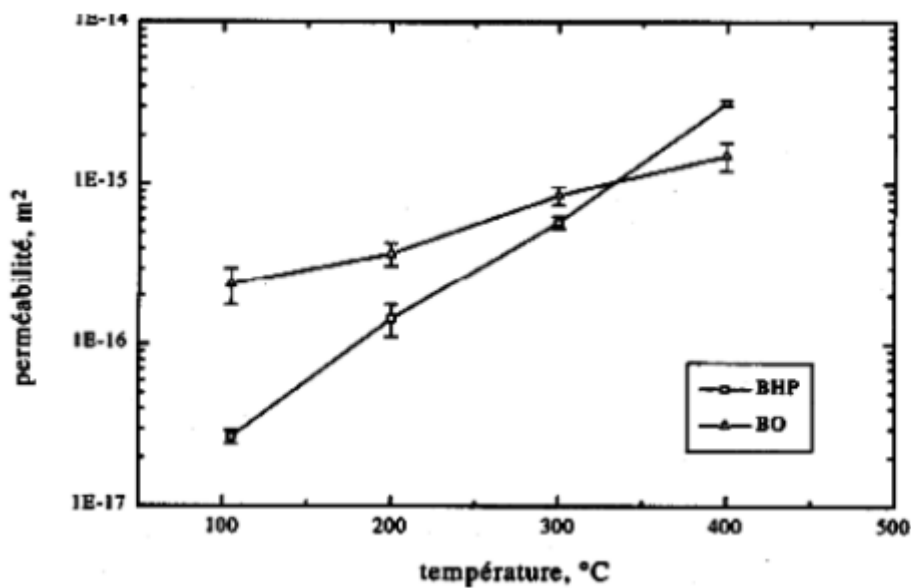


Figure I. 10: Perméabilité apparente au gaz en fonction de la température de conditionnement [3]

I.5. Effet de la température sur le comportement mécanique des bétons

Le béton subit de fortes modifications physico-chimiques qui influencent l'évolution de ses propriétés mécaniques avec la température. Les résultats obtenus de différentes investigations sur le comportement du béton chauffé, interprètent différemment les évolutions de ces paramètres.

Ces différences ne sont pas dues seulement à la nature et au type du béton mais aussi aux conditions expérimentales comme : la durée et le taux de chauffage et de refroidissement, la géométrie des éprouvettes....

Les recherches menées jusqu'à présent sur les bétons à haute température ont visé principalement, l'amélioration de ses performances mécaniques à l'état durci aussi bien qu'à l'état frais. En revanche l'amélioration de ses performances vis-à-vis du comportement au feu reste un champ d'investigation assez peu développé [3]

I.5.1. Résistance en compression à hautes températures

L'évolution de la résistance en compression en fonction de la température a été le sujet de plusieurs investigations expérimentales. Cette évolution est affectée par de nombreux paramètres : nature du liant et des granulats, rapport agrégat/ciment, rapport E/C [40].

Phan [22] dans ses travaux, rassemble les résistances en compression résiduelles obtenues au cours de ses essais et une partie des résultats obtenus par d'autres chercheurs. L'allure générale des courbes débute par une chute de résistance au voisinage de 100 à 150°C, suivi d'un accroissement de résistance entre 300 et 350°C, puis d'une chute de résistance continue avec la température au-delà de 350°C. [3]

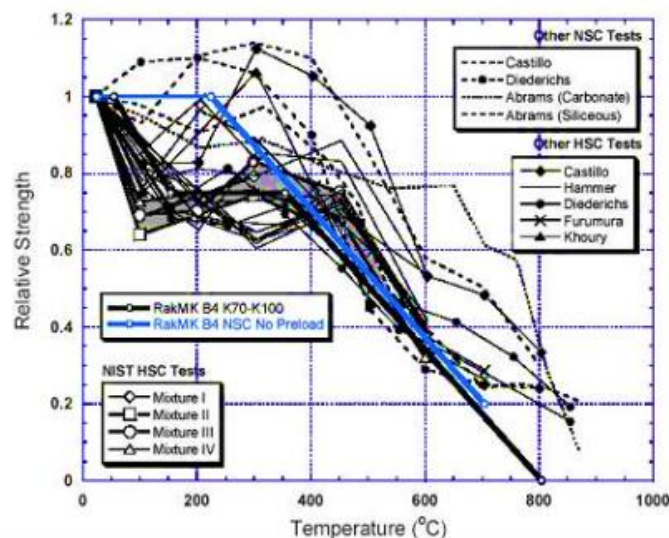


Figure I. 11: Evolution de la résistance en compression relative des bétons avec la température [3].

I.5.2. Résistance en traction à hautes températures

Peu de recherches ont été faites pour déterminer la résistance à la traction à hautes températures, vu la complexité de la réalisation des essais. La plupart des observations, de l'évolution de la résistance en traction en fonction de la température, sont réalisées après le refroidissement par fendage [3]

I.5.3. Module d'élasticité à hautes températures

Ce module traduit l'évolution de la rigidité du béton avec la température. La perte de l'eau évaporable au-dessous de 100°C du béton a tendance à faire augmenter la résistance en compression et diminuer le module d'élasticité. La chaleur affecte similairement le module d'élasticité et la résistance du béton au-dessus de 100°C.[3]

I.6. Conséquences d'une augmentation de la température sur les bétons

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

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

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

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

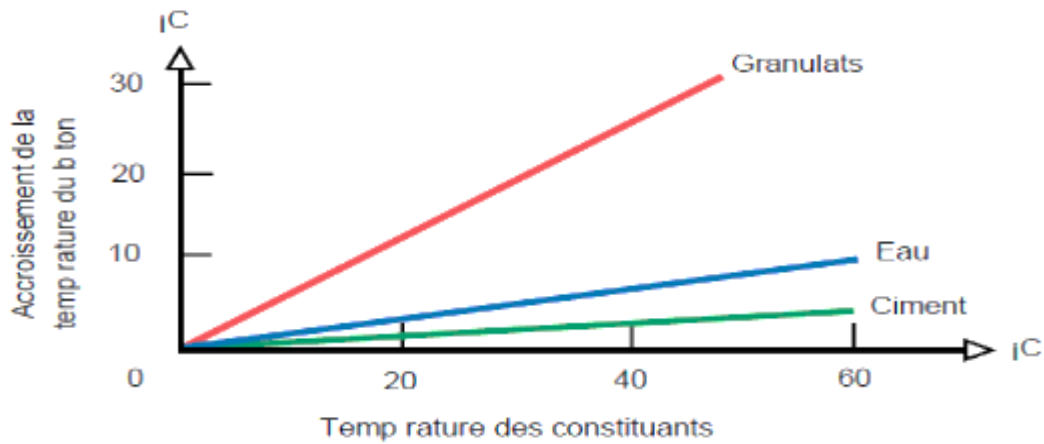


Figure I. 12.: Accroissement de la température du béton en fonction de celle des constituants [1]

I.6.1. La prise

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

En outre, un béton qui perd sa maniabilité ne peut plus être suffisamment serré ou ne plus l'être assez uniformément.

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

Une prise trop rapide ou irrégulière peut avoir encore d'autres inconvénients relatifs à la technique de construction. Qu'on songe, par exemple, au bétonnage au moyen de coffrages glissants qu'il faut déplacer à un stade bien déterminé de la prise du béton [1].

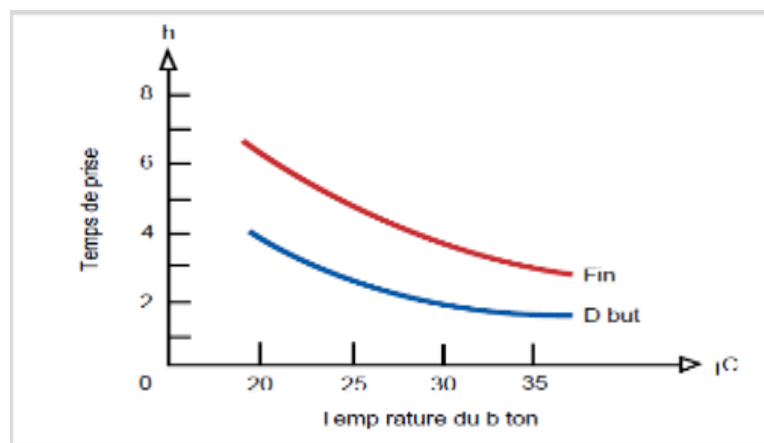


Figure I. 13.: Evolution du temps de prise du béton en fonction de la température [1]

I.6.2. Fissuration

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

1L d'eau perdue correspond à une fissure de 20 m de long, 1 mm de largeur et 5 cm de profondeur. Pour 1 m^2 de surface, ceci conduirait à un réseau de fissures écartées de 9 cm dans deux directions orthogonales. Ceci se produirait effectivement si le volume du béton ne pouvait aussi diminuer, dans une certaine mesure, perpendiculairement à la surface. Les fissures de ce genre se produisent peu après la mise en place du béton, pendant sa prise.

Secondairement, le risque de fissuration est augmenté quand la quantité d'eau est exagérée, à cause du retrait plus grand qui en résulte et de la plus faible résistance à la traction du béton.

Un refroidissement irrégulier du béton peut aussi aggraver la fissuration [1].



Figure I. 14: Fissuration du béton [1]

I.6.3 Diminution des résistances finales :

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

Indépendamment des raisons déjà citées, cet effet est imputable aux contraintes internes plus grandes qui résultent d'un retrait plus rapide [1].

I.7. Conclusion

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

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

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

CHAPITRE II :
INFLUENCE DU BETONNAGE PAR TEMPS CHAUD
SUR L'EVAPORATION

II-1. Introduction

Sahara Algérien est l'une des régions les plus tempérées de la terre, la température peut dépasser 50°C 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 au climat 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.[7]

II-2. Les principaux problèmes liés au bétonnage par temps chaud sont : [7]

- 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.
- Pour le béton durci : Une diminution de la résistance à 28 jours et à long terme due à la demande élevée en eau et/ou la grande température du béton, une grande tendance de fissuration due au retrait de séchage et du flux thermique différentiel, réduction de la durabilité résultante de la fissuration.

L'évaporation rapide (qui dépasse 1kg/m²/h) due au climat chaud c'est la principale cause des problèmes, qui provoque principalement le retrait plastique, généralement la fissuration due au retrait plastique se produit quand le taux de l'évaporation dépasse la vitesse de remontée de l'eau de ressuage, les fissures dues au retrait plastique peuvent être très profondes, avoir une largeur de 0.1 mm à 3 mm et peuvent avoir une longueur qui peut atteindre 1m, d'où la diminution de la résistance et de la durabilité [7]

L'industrie du béton est le principal facteur affectant ses propriétés : le béton est fabriqué sur site et ses propriétés mécaniques dépendent principalement de la qualité de ce procédé de fabrication. L'industrie du béton commence par spécifier les propriétés des matériaux utilisés comme prélude à la conception du mélange de béton afin qu'il réponde aux besoins de résistance dans le temps, et en même temps qu'il réponde aux besoins d'opérabilité appropriés à la méthode de coulée. Après avoir mélangé les principaux composants du béton, il passe par plusieurs étapes jusqu'à ce qu'il atteigne son état solide. Et le béton doit être distingué à chacune de ces étapes avec certaines propriétés. Par exemple, le béton relativement frais sera dans les processus de mélange, de transport, de bobinage et de finition sans séparation granulaire de ses divers

composants pendant ces opérations, c'est-à-dire qu'il devrait être d'une opérabilité raisonnable. De même, le béton devrait être Rigide avec une résistance suffisante aux charges qui vont tomber dessus, accompagnée d'une résistance élevée dans le temps, pour l'usage pour lequel il a été fabriqué.[8]

Par temps chaud, un certain nombre de problèmes de béton découlent de la température élevée du béton. Dans de nombreux cas, le taux d'évaporation de l'eau du béton frais augmente et, par conséquent, l'opérabilité, la suspension et un certain nombre d'autres propriétés du béton à long terme sont affectées.[8]

La portée et l'objectif de ce travail sont résumés dans les points suivants :

1. Clarifier le concept de temps chaud, avec étudier et analyser les conditions climatiques dominantes dans la plupart des régions chaudes
2. Quel est le concept d'évaporation rapide du béton
3. Quel est l'effet de l'évaporation rapide sur les propriétés mécaniques du béton dans une zone chaude [8]

II-3. Le concept général de l'atmosphère chaude :[8]

C'est un concept large et a été mentionné dans de nombreuses recherches, mais à partir de différents points de départ qui peuvent s'appliquer à une région et ne pas s'appliquer à une autre, le temps chaud a été défini comme un mélange des conditions suivantes

- Réchauffement de l'atmosphère et de l'océan
- La température du mélange de béton
- Humidité relative de l'atmosphère, vitesse du vent

Comme ces conditions conduisent ensemble à augmenter le taux de perte d'humidité du béton et à augmenter le taux de fatigue hydrique du ciment, ces deux éléments endommagent la qualité du béton frais et durci. Cet effet peut apparaître pendant n'importe quelle partie de l'année dans les pays chauds, humides ou secs chauds. Il peut également apparaître dans d'autres régions du monde au cours de l'été.

II-4. Bétonnage par temps chaud :

Une forte température accélère la prise du béton de façon anormale. La résistance sera alors moins élevée que dans des conditions normales de mise en œuvre.

Par de fortes températures, le bétonnage n'est autorisé que si des mesures de protection particulières ont été prises. Celles-ci devront être maintenues depuis le début de la fabrication du béton jusqu'à la fin du traitement de cure. Ces dernières sont dépendantes de la température extérieure, de l'humidité de l'air, des vents, de la température du béton frais, du développement de la chaleur et de l'abaissement de la température ainsi que des dimensions du chantier. Durant le transport, le béton doit donc être protégé contre le dessèchement.

Lors de la mise en œuvre et pendant la préparation, le béton frais, sans mesures de protection particulières, ne doit pas avoir une température supérieure à +30 °C.

II-5. Les facteurs environnementaux influencés le béton :[12]

II.5.1. Températures :

Lorsque le matériau est soumis à des conditions de séchage en même temps que l'hydratation évolue, les déformations plastiques qui en résultent sont une combinaison complexe de mécanismes apparaissant à différentes échelles. Les résultats (déformations plastiques et phénomènes corollaires) sont présentés suivant deux conditions de séchage (avec et sans vent).

II-5.2. Humidité atmosphérique :

Bien que les précipitations et la température soient les facteurs essentiels de l'aridité, d'autres facteurs interviennent également. L'humidité de l'air a une importance pour l'équilibre hydrique du sol. Lorsque la teneur du sol en humidité est plus élevée que celle de l'air, l'eau a tendance à s'évaporer dans l'air. Dans le cas contraire, l'eau se condensera dans le sol. L'humidité est généralement faible dans les zones arides.

II.5.3. Vent :

L'évaporation de l'eau de surface augmente si le vent souffle lors de la mise en place et de la finition du béton. Par exemple, une augmentation de la vitesse du vent de 0 à 15 km/h multiplie par 4 la vitesse d'évaporation.

II-6. Effets de la température : [13]

➤ Effets de la température sur le béton

L'élévation de température agit sur :

- La rhéologie du béton et son évolution ;
- La vitesse de prise ;
- La cinétique d'hydratation du ciment et de durcissement du béton ;

- L'évaporation de l'eau et la dessiccation du béton.
- Effet de la température sur l'hydratation du ciment

L'élévation de la température ambiante accélère les réactions chimiques et modifie la cristallisation des silicates de calcium du ciment. En outre, l'hydratation du ciment est une réaction exothermique dont l'effet se cumule à celui des températures ambiantes élevées.

Ces phénomènes entraînent en particulier :

- Une modification des propriétés physico-chimiques du béton ;
- Un dégagement de chaleur plus rapide ;
- Une réduction sensible du temps de prise ;
- Un raidissement plus rapide du béton ;
- Une accélération de la dessiccation du béton ;
- Une diminution de la maniabilité du béton pouvant rendre plus délicate sa mise en œuvre ;
- Une augmentation de la température du béton et le risque de création de gradients thermiques importants ;
- Une augmentation du retrait et des risques de fissuration
- Une augmentation des résistances à court terme (1 à 7 jours) et, généralement, une réduction des résistances à 28 jours du béton.

Le temps de prise est en général divisé par 2 lorsque la température du béton passe de 20°C à 40°C.

➤ Nota : chaque constituant participe à l'élévation de la température du béton en fonction de son dosage et de sa chaleur massique :

- Une augmentation de 10°C de la température du ciment élève la température du béton de 1°C
- Une augmentation de 10°C de la température de l'eau élève la température du béton de 2°C
- Une augmentation de 10°C de la température des granulats élève la température du béton de 7°C [13]

➤ Effet de la température sur la demande en eau

Lorsque la température du béton augmente, sa demande en eau s'accroît et sa maniabilité baisse. La solution de rajouter de l'eau pour pallier cette perte d'ouvrabilité est à proscrire car elle entraîne une dégradation de la qualité du béton et une baisse sensible de la résistance mécanique à toutes les échéances

➤ Effet de la température sur la consistance

L'élévation de température diminue sensiblement la maniabilité du béton. Pour une même formulation, si l'affaissement mesuré avec le cône d'Abrams est de l'ordre, par exemple, de 100 mm à 20°C, il sera de 50 mm à 35°C.

➤ Effet de la température sur l'évaporation

L'élévation de la température favorise l'évaporation. Or pour pouvoir durcir dans les meilleures conditions, le béton doit être préservé de l'évaporation de l'eau qu'il contient.

L'évaporation est d'autant plus importante que l'air ambiant est sec, que la température est élevée et que la vitesse du vent est importante.

II-7. Conséquences d'une augmentation de la température sur les bétons : [9]

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 [9]:

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

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

➤ La rhéologie

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.[9]

➤ Les temps de prise

L'augmentation de la température accélère les réactions chimiques : la prise du béton est plus rapide.[9]

➤ 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 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.[9]

➤ 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/m²/h. Elle est d'autant plus importante que :

la température ambiante est élevée,

la température du béton augmente,

l'air est sec. [9]



Figure II. 1: Fissuration du béton [2]

II-8. L'évaporation trop rapide de l'eau du béton entraîne :

- Une hydratation imparfaite du ciment ;
- Une perte de maniabilité pendant le transport ;

- Une augmentation du retrait plastique facteur de fissuration superficielle ;
- Un défaut d'hydratation des surfaces non protégées et donc une dureté superficielle faible ;
- Une augmentation de la perméabilité de la couche superficielle du béton.

Lorsque le retrait est empêché, il peut se produire un phénomène de fissuration, quelques heures après le décoffrage.

II-9. Le concept d'évaporation :

L'évaporation est un processus physique au cours duquel les molécules d'une substance passent d'un état liquide à un état gazeux avec présence de chaleur. L'évaporation diffère de la condensation car ce sont deux termes différents.[8]

II-9.1. Facteurs affectant la vitesse d'évaporation

- Température
- -Mouvement d'air
- -Surface

II-9.2. Caractéristiques du processus d'évaporation : [8]

L'évaporation a lieu à toutes les températures possibles

- L'évaporation s'achève dans l'espace ou en présence de gaz au-dessus du liquide

L'évaporation peut être plus rapide et bruyante, car elle se vide dans le liquide

-Si le haut du liquide est gazeux, ce qui affecte l'évaporation et la pression est suffisante, alors l'évaporation est moindre et sa vitesse diminue et elle n'apparaît pas à la surface du liquide.

- Si le volume de vaporisation disponible est peu disponible, l'évaporation s'arrête lorsque la pression de vapeur au-dessus du liquide atteint une très grande valeur Évaporation des dommages :

✚ L'évaporation présente certains dommages, notamment : [8]

- Il en résulte la perte de grandes quantités d'eau de rivière et de lac. L'eau du sol et les plantes pour que l'évaporation entraîne un déficit de la proportion d'eau dans de nombreuses régions du globe
- L'évaporation augmente le pourcentage d'humidité dans l'air. Pendant certains jours, quand elle est chaude, l'évaporation rend l'atmosphère lourde, sans oxygène, elle devient donc inutilisable et exerce beaucoup d'efforts à certains moments.

Types d'évaporation :

- L'évaporation est causée par l'ébullition, qui est une évaporation normale et transforme l'état liquide en un état gazeux
- Évaporation par sublimation, qui convertit les molécules à l'état solide en un état gazeux sans passer par l'état liquide

II-10. Facteurs d'évaporation élevée :

La température est l'une des causes de l'évaporation élevée et de l'augmentation de son rapport, lorsque la température augmente [14]

II-11. Evaporation d'eau à partir des surfaces du béton frais par temps chaud :

Température de l'air, humidité relative, vitesse du vent et solaire Les radiations sont les composantes du temps chaud qui affectent le concerne le béton à l'état frais et durci L'avant- la plupart des effets de la construction par temps chaud sans approprier mesures est une augmentation de la température initiale des Crête. Température du béton élevée combinée à une température relativement plus basse la température ambiante, une faible humidité et / ou une vitesse élevée du vent augmenter l'évaporation de l'eau des surfaces en béton fraîchement faces avec possibilité de fissuration par retrait plastique. Le les résultats d'un certain nombre d'études indiquant l'influence de ces facteurs d'évaporation de l'eau et autres propriétés du béton dans des conditions contrôlées sont disponibles. Cependant, suffisamment informations sur l'évaporation de l'eau du béton fraîchement mis en place surfaces dans les conditions environnementales en constante évolution dans le champ n'est pas disponible Le Comité 305 de l'ACI suggère que, selon les conditions climatiques conditions, la température initiale du béton doit être limitée à une valeur comprise entre 24C et 38C en pré refroidissant les ingrédients ou en ajoutant de la glace à l'eau de mélange [15]

L'évaporation rapide des eaux de surface du béton placés dans des environnements secs conduit non seulement à une diminution du degré d'hydratation de la surface ou `durcissement zone affectée '6, mais peut également entraîner un rétrécissement et accompagnant les contraintes de retrait dans le fraîchement placé béton. Quelle que soit la force ultime de la matière, au cours des premières heures suivant la mise en lots, le béton a peu ou pas de résistance à la traction ou de fissuration résistance », ce qui le rend particulièrement vulnérable aux soi-disant « fissuration par retrait plastique » 1. Le séchage qui initie cette fissuration commence au

moment où le taux d'évaporation de l'eau de la surface du béton dépasse la vitesse à laquelle l'eau de purge est fournie à la surface.[15]

Plus le séchage commence tôt, plus la résistance à la fissuration est faible du béton et plus vraisemblablement de là se fissure. Ce document présente une étude des actions entre les taux d'évaporation et de saignement, comme ils définissent le moment auquel une surface en béton commence à sécher [15]

II-12. Le retrait des bétons :

II-12.1. Définition de retrait :

Immédiatement après Le gâchage, on observe une diminution de volume de la pâte fraîche de ciment ; c'est le premier retrait ou retrait plastique. Ce retrait se poursuit après la prise, puis diminue pour faire place à un gonflement plus ou moins important. Entre 24h et 48h, si l'éprouvette est conservé dans l'air, ce gonflement fait place à nouveau à un retrait appelé second retrait. Soit l la diminution de l'éprouvette étudiée dans la direction considérée ; soit Δl la variation de longueur correspondante (positive s'il s'agit d'un gonflement, négative s'il s'agit d'un retrait). La mesure du retrait consiste à évaluer les variations de $\Delta l/l$ en fonction du temps [12].

En générale, le retrait correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant ou après la prise des bétons. Lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées par le ferrailage.[12]

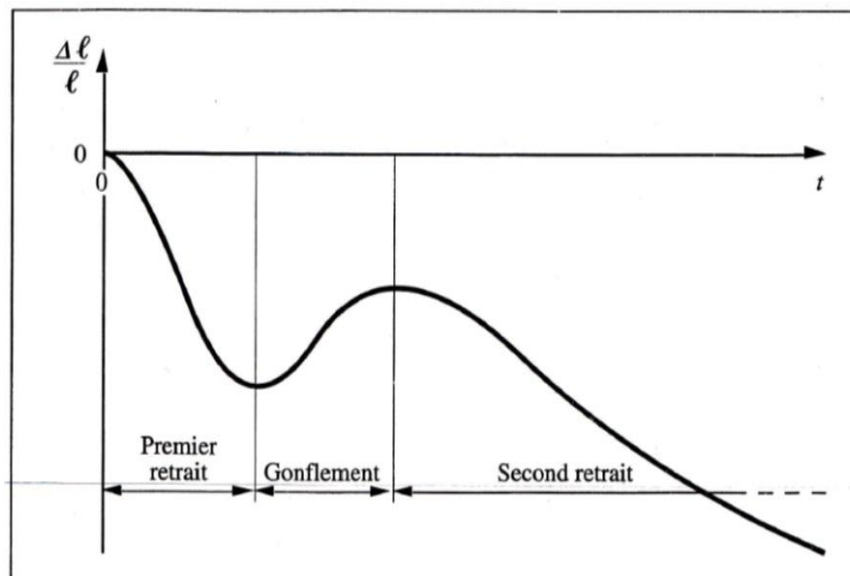


Figure II. 2: déformations de la pâte de ciment dans les 48h suivant le gâchage [12]

II-12.2. Les type de retrait dans le béton :

II-12.2.1 Le retrait de plastique [12]

En effet il est en relation avec des déformations par tassement général du béton frais, déformations qui peuvent être gênées et causer une fissuration de surface au droit d'obstacles tels que des armatures. Ce retrait est limité.

La période précédant la prise du béton, lorsque ce dernier reste suffisamment déformable pour subir des tassements

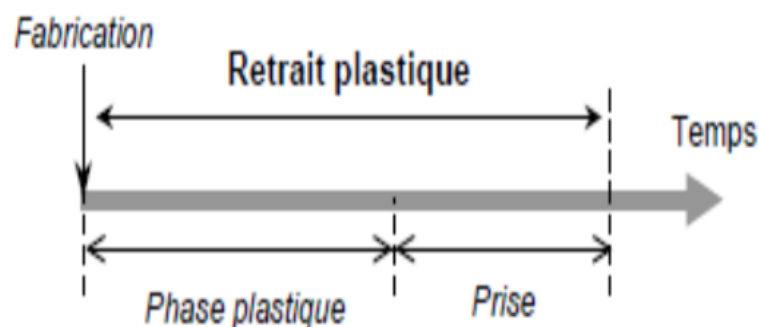


Figure II. 3: Définition de retrait plastique

II-12.2.2. Le retrait de dessiccation : [16]

Est liée au séchage qui se manifeste avant, pendant et après la prise du béton. Dans des conditions courantes, il est de l'ordre de 1 mm/m. La fissuration qui en résulte est due la dépression capillaire qui se produit lorsque des ménisques d'eau se forment dans les pores capillaires du béton frais. Ce retrait, qui est donc consécutif l'évaporation de l'eau, peut se manifester quelques minutes après la mise en œuvre du béton, et se poursuivre quelques semaines après. Il est piloté par la cinétique de dessiccation.

II-12.2.3. Le retrait thermique [16]

C'est un retrait lié au retour température ambiante des pièces en béton ayant au préalable subi une élévation de température due aux réactions exothermiques d'hydratation du ciment. Ce retour température ambiante est accompagné par une contraction qui génère des déformations empêchées susceptibles de conduire l'apparition de phénomènes de fissuration. Ce type de retrait qui ne concerne que des pièces d'épaisseur supérieure 60 et 80 cm, se manifeste de quelques dizaines d'heures après la mise en œuvre, jusqu'à quelques semaines, sa durée étant dépendante de la nature des éléments en béton considérés (plus une pièce est massive, et plus la contraction thermique sera lente).

II- 12.2.4. Le retrait d'auto-dessiccation [16]

Est lié la contraction du béton en cours d'hydratation et protège de tout change d'eau avec le milieu environnant. Il provient en fait d'un phénomène d'auto-dessiccation de la pâte de ciment consécutif la contraction Le Chatelier (le volume des hydrates formes est plus petit que le volume de l'eau et du ciment anhydre initial). Le phénomène conduisant la contraction est dû à des forces de traction capillaires internes, similaires celles responsables du retrait plastique. Ce dernier type de retrait concerne plus particulièrement les bétons hautes performances (BHP) ou très hautes performances (BTHP). Il devient négligeable pour les bâtons ordinaires.

Ces quatre types de retrait peuvent se cumuler l'échelle d'un même béton (on parle ainsi du retrait total comme la somme des différents retraits). Enfin, le retrait d'auto-dessiccation et le retrait thermique intéressent la masse du béton, alors que les deux autres types de retrait concernent la périphérie des éléments en béton.

II-12.2.5. Retrait endogène :

Le premier à observer le retrait endogène est LYNAM, qui en 1934, lui a donné la définition suivante : retrait qui n'est pas causé par des causes thermiques, par des contraintes externes ou par la perte d'humidité dans l'environnement. Depuis ce temps, plusieurs chercheurs ont étudié le retrait endogène afin d'obtenir une définition plus complète. Le retrait endogène est maintenant défini comme la diminution de volume apparent du béton lorsqu'il est sous condition scellée et en régime isotherme (sans variation de température). Le retrait endogène peut également être appelé retrait externe. [12]

On appelle retrait endogène le retrait provoqué par des phénomènes strictement internes au béton, en absence de tout échange d'eau avec l'extérieur, c'est ce qu'on appelle en thermodynamique un système fermé.[12]

Le retrait endogène est un phénomène propre à l'hydratation du ciment qui témoigne de son évolution et de la quantité des hydrates formés. Ce retrait est rapide et croit lorsque la quantité d'eau diminue, il s'achève (95 %) au bout de (1 à 4) semaines. On distingue d'après l'évolution de la structure du matériau l'apparition de plusieurs phénomènes qui donnent au retrait endogène plusieurs formes de déformation d'où on présente les formes majeures qui le détermine :

- a) Retrait de serrage (Contraction Le Chatelier)
- b) Retrait thermique
- c) Retrait d'hydratation (auto-dessiccation)

Ce type de retrait est la conséquence de l'absorption de l'eau des pores capillaires due à l'hydratation du ciment non encore hydraté, phénomène connu comme l'auto dessiccation.[12]

II .12.2.6-Retrair chimique (contraction Le Châtelier) [12]

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 Châtelier. 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 solides, liquide ou gazeuse. Le volume absolu correspond à la somme des volumes des phases solides et liquides uniquement.[15]

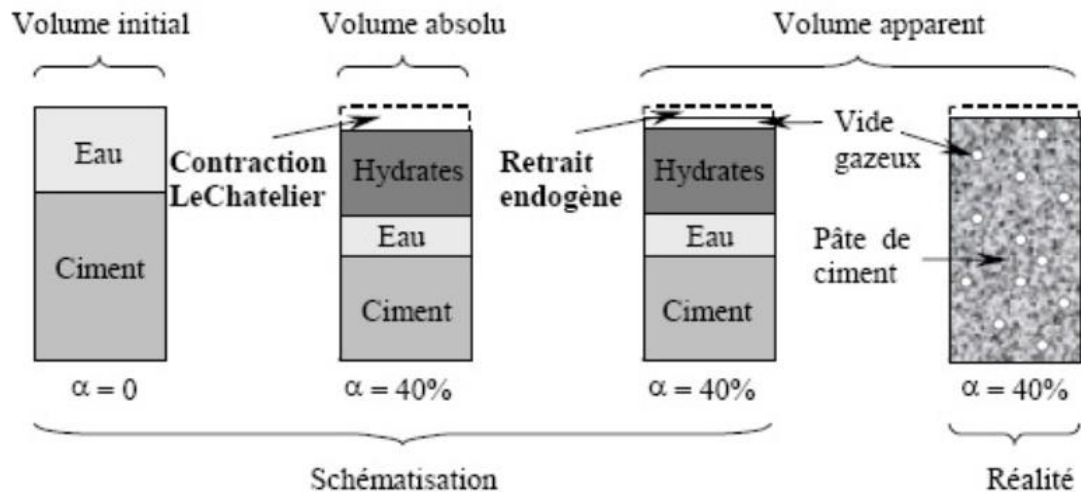


Figure II. 4: Volume absolu et volume apparent [12]

II-12.3. La relation entre le retrait plastique et la fissuration

L'importance du retrait dans les structures en béton est essentiellement rattachée à la fissuration. La contraction d'une pièce provoque des tensions internes qui tendent à s'opposer au sein du matériau. Ces tensions internes sont dues à des obstacles internes tels que les granulats, et le retrait non uniforme dans l'élément de béton (plus important près de la surface que vers l'intérieur où il peut être négatif, c'est à dire gonflement). Les contraintes de traction qui résultent de ces obstacles et de ces gradients de déformations peuvent atteindre la résistance du béton à la traction et donc causent la fissuration du béton. [16]

Ainsi, la durabilité des ouvrages, fortement dépendante de la qualité du béton, est remis en cause, et en particulier de la zone d'enrobage. C'est en effet au travers de la porosité que peuvent migrer des agents agressifs (sulfates, chlorures, dioxyde de carbone, ... etc.) susceptibles

d'interagir avec les constituants du ciment et de provoquer l'apparition de désordres. Néanmoins, la compacité des bétons ne peut, à elle seule, être garante de la bonne tenue dans le temps. En effet, la manifestation de phénomènes de fissuration ouverte dans la zone d'enrobage peut augmenter les propriétés de transfert des bétons, aussi compacts soient-ils, et ainsi nuire à leur durabilité. Dans cette optique, la maîtrise de la fissuration précoce des bétons, liée aux phénomènes de retrait, apparaît essentielle. A l'échelle des hétérogénéités du matériau, les granulats empêchent localement le retrait.

Les déformations ainsi localement empêchées, créent un système de contraintes pouvant provoquer une microfissuration

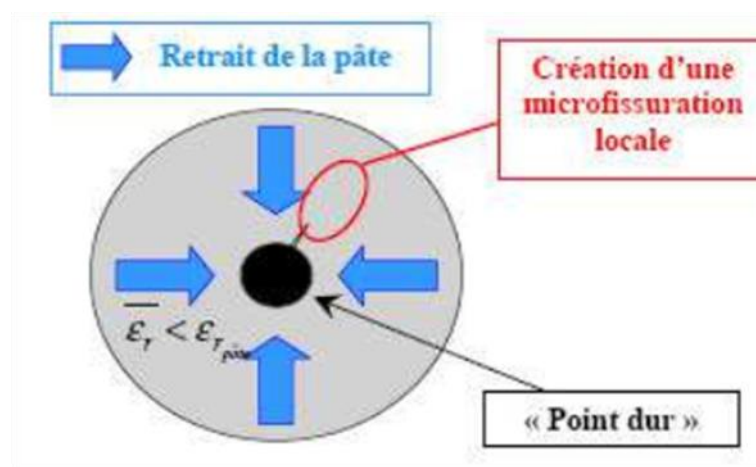


Figure II. 5: retrait de la pâte

II-12.4.les conséquences du retrait ?

Dans tous les cas, la conséquence essentielle du retrait est l'apparition de phénomènes de fissuration pouvant diminuer la durabilité des structures en béton armé ou précontraint, 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. [16]

Les conséquences de la fissuration sur la durabilité des structures en béton sont dues à l'augmentation de la cinétique de pénétration des agents agressifs présents dans le milieu environnant, au travers des fissures ouvertes sur les parements. [16]

➤ Comment éviter, réduire ou contrôler le retrait ?

Dans la mesure où la fissuration de retrait est due des mécanismes différents en fonction du type de retrait, les mesures préventives à considérer sont différentes. Il convient donc, en premier, d'identifier le ou les types de retraits susceptibles de se manifester pour un ouvrage donné. [16]

La limitation des effets liés au retrait de ressuage peut être obtenue en optimisant la formulation des bétons, en termes de dosages en ciment, de dosage en éléments fins et de dimension maximale des granulats, ainsi qu'en maîtrisant la quantité d'eau de gâchage afin de limiter le ressuage.

Dans cette optique, l'utilisation d'adjuvants réducteurs d'eau, ainsi qu'une étude soignée des plans de ferrailage et de la géométrie des pièces, constituent des solutions préventives indispensables. La prévention des effets liés au retrait plastique est obtenue en limitant la dessiccation du béton, c'est-à-dire l'évaporation de l'eau avant et pendant le durcissement. Dans cette optique, la mise en place d'une cure du béton, dans le cas où les risques d'évaporation sont optimaux (températures ambiantes élevées, vent), permet de réduire la dessiccation. Les procédés de cure peuvent correspondre à une humidification régulière du parement, la mise en place d'une feuille de polyane, ou encore l'utilisation de produits de cure. La maîtrise d'humidité des granulats et des coffrages, l'utilisation de fibres, ainsi que l'utilisation de quantités d'eau de gâchage peu élevées (emploi d'adjuvants réducteurs d'eau) permettent aussi de réduire la fissuration associée au retrait plastique. [16]

➤ **Que faire lorsque le retrait est avéré**

Lorsqu'une fissuration de retrait est avérée sur un ouvrage, il est essentiel de vérifier que le phénomène est stabilisé, sous peine de réaliser des réparations peu durables.

La réparation des désordres liés au retrait, lorsqu'ils sont possibles, correspond d'un colmatage des fissures à l'aide de produits spécifiques dont certains peuvent présenter une élasticité permettant de reprendre, dans une certaine mesure, les déformations liées à la poursuite du phénomène s'il n'est pas complètement stabilisé [16].

II-13. Fissures de retrait (fissures de retrait):

Elles se produisent en raison de l'évaporation rapide de l'eau de la surface du béton lors de son durcissement, en raison de l'exposition des surfaces à de forts courants d'air et à l'évaporation. La rapidité d'évaporation dépend de nombreux facteurs, dont le plus important est la température, et l'effet du soleil direct rend le taux d'évaporation plus élevé que le taux de déversement d'eau à la surface du béton. Les fissures de retrait sont généralement courtes et peu profondes et apparaissent dans une direction qui se reflète entre les deux en même temps. Le retrait est le phénomène de changement de la taille du béton sans que cela soit lié à la charge appliquée, qui se produit après le coulage du mélange de béton et commence à l'étape de solidification. Ces changements prennent la forme d'une diminution des dimensions du béton

lorsqu'il est maintenu dans l'air. Les causes courantes de fissures dans les bâtiments et les structures en béton sont le phénomène de retrait du béton et les causes des fissures se produisant immédiatement après la coulée du béton sont vaguement dues au retrait, et ces fissures sont des fissures de retrait élastique lorsqu'elles apparaissent à l'extérieur d'un élément et finissent de couler, en raison de la déshydratation rapide. De la surface en béton, tandis que le noyau de la section en béton est encore élastique, ce sont des fissures non continues, qui se fissurent sur une longueur ne dépassant pas 300 mm, et les fissures sont diagonales et aléatoires dans une dalle non armée.

II-14. 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.[9]

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.[9]

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.[9]

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 (pailles humides, films plastiques, etc.).[9]

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 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 [9].

II-15. Conclusion

Le temps chaud pose de nombreux problèmes dans la fabrication, la coulée et le durcissement du béton, dont les effets se reflètent dans ses propriétés molles et dures. Ces effets s'étendent aux éléments de base des passerelles en béton armé, et lors du mélange et du coulage du béton et au début de la phase de durcissement, les problèmes causés par le temps chaud sont la surchauffe des composants et la surchauffe de mélange de béton élevé, consommation d'eau élevée, évaporation rapide de l'eau du mélange de béton et possibilité d'occurrence. Rétrécissement flexible et fissures, en particulier pour les grandes dalles de plafond dans les bâtiments ordinaires.

Une attention supplémentaire doit être accordée et des mesures spéciales doivent être prises pour réduire ces impacts.

CHAPITRE III :
RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1-Introduction :

La résistance mécanique des bétons dépend de plusieurs facteurs à savoir :

La qualité des granulats, le type de ciment, le rapport E/C...etc. Le travail présenté dans ce chapitre a pour objectif de caractériser expérimentalement l'influence des conditions climatiques sur la l'évaporation rapide du béton ordinaire. Cette propriété de béton étudié D'après ce qu'on a caractérisé dans le chapitre précédent.

III.2-Formulation de béton

La formulation joue le rôle important qui consiste à choisir des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre, elle doit intégrer avant tout les exigences de la norme NF EN 206-1, laquelle, en fonction de l'environnement dans lequel sera mis en place le béton, sera plus ou moins difficile vis-à-vis de la quantité minimale de ciment à insérer dans la formule ainsi que la quantité d'eau maximum tolérée. De même, à chaque environnement donné, une résistance garantie à 28 jours sur éprouvettes sera exigée aux producteurs pouvant justifier des dosages de ciments plus ou moins supérieurs à la recommandation de la norme, et basée sur l'expérience propre à chaque entreprise, laquelle étant dépendante de ses matières premières dont la masse volumique peut varier, notamment celle des granulats [3].



Figure III. 1: Différents types des granulats utilisés



Pèse de graviers Ingrédients dans malaxeur Béton ordinaire
Figure III. 2: Préparation des ingrédients pour le malaxage

III.3- programme expérimentale :

Pour l'étude expérimentale de l'effet de l'évaporation rapide sur le béton dans une zone chaude, il est nécessaire d'abord les premiers membres d'une formule concrète pour atteindre la formule de béton en appliquant une série d'essais physiques au Laboratoire de Génie Civil -Matériaux, - Université Ahmed Draia-Adrar, comme L'analyse granulométrique de sable, la masse volumique absolue et apparente sur le sable et le gravier et de l'équivalent sable. Pour but de confectionner le béton et puis l'écrasé après durcissement.

III-3-1. Présentation de la méthode ((DREUX-GORISSE)):

Cette méthode a pour but de réaliser une composition du béton à partir de son ouvrabilité et résistance recherchées. Ces deux qualités sont liées par des abaques selon le dosage en ciment connu.

Les proportions de différents granulats sont déterminées à travers la courbe de référence. Cette courbe est tracée à travers les courbes granulométriques des granulats qui doivent être utilisées. Un coefficient de compacité est probablement donné au béton, il permet, avec la connaissance des masses volumiques des granulats, de déterminer les dosages pondéraux de notre béton.

Quelques essais préliminaires de plasticité doivent avoir lieu pour fixer le dosage en eau afin d'adapter la maniabilité désirée

Dosage en ciment et en eau :

Le rapport C/E est évalué par la formule de BOLOMEY :

$$\frac{C}{E} = \frac{f_{cm}}{G \cdot \sigma_{C28}} + G \dots \dots \dots \text{III.1}$$

$$f_{cm} = F_{C28} \cdot 1.15 \dots \dots \dots \text{III.2}$$

F_{c28} : Résistance moyenne en compression désirée (MPa). Pour notre cas $F_{c28} > 35 \text{ MPa}$

G : Coefficient granulaire donné en fonction de serrage du béton et du diamètre de gros granulats,

Tableau III. 1: les valeurs des coefficient granulaire G

Qualité des Granulats	Dimension maximale D des granulats		
	Fin $D \leq 12.5 \text{ mm}$	Moyen $20 \leq D \leq 31.5 \text{ mm}$	Gros $D \leq 50 \text{ mm}$
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Pour notre cas, on prend $G=0.45$ qui correspond aux granulats courants de $D_{\max}=15 \text{ mm}$. Le dosage en ciment qu'on a calculé est de $C=450 \text{ Kg/m}^3$.

Trace de la courbe granulaire de référence

Après le traçage des courbes granulométriques des différents granulats, et sur le même graphe, on trace la composition granulométrique optimale qui est représentée par une ligne brisée OAB comme celle représentée dans la figure III.3. Cette ligne est appelée **courbe granulaire de référence**.

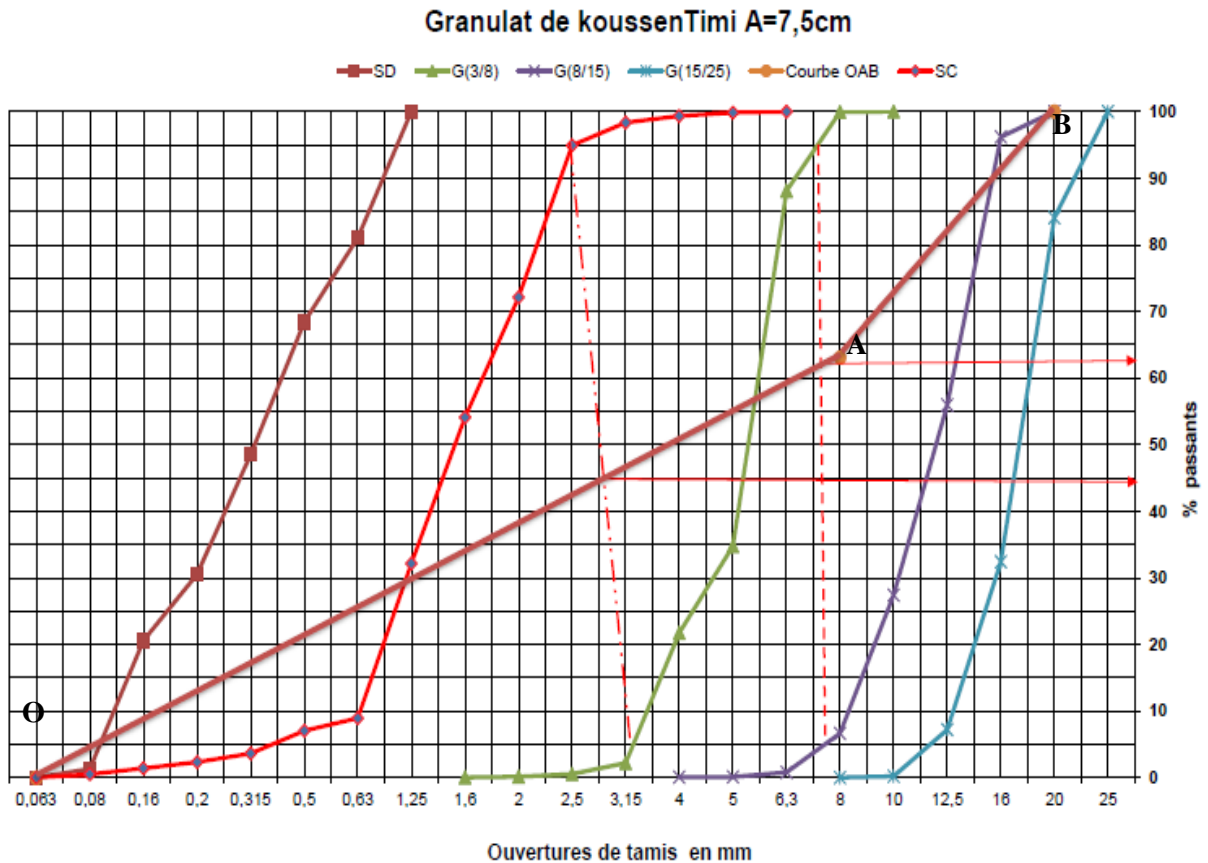


Figure III. 3: courbe d'analyse granulométrique

Le point B correspond à l'ordonnée de 100% et du diamètre de gros granulats en abscisse.

Le point A est défini comme suit :

En abscisse :

-Si, $D \leq 20\text{mm}$ l'abscisse est $D/2$.

-Si, $D > 20\text{mm}$ l'abscisse est situé au milieu du segment délimité par le tamis de maille 5mm

En ordonnée : $y = 50 - \sqrt{D} + K + K_S + K_P$ III.3

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité de serrage à la mise en place, de la forme des granulats, en particulier du sable (roulé ou concassé) et du module de finesse de sable, K a pour expression:

$K = 6MF - 15$ si le sable est roulé.

$K = 6MF - 13$ si le sable est concassé.

Tableau III. 2: les valeurs de coefficient k

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
400+super plastifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	2	-2	0	-4	-2
350	2	4	0	2	-2	0
300	4	6	2	4	0	2
250	6	8	4	6	2	4
200	8	10	6	8	4	6

Les points de croisement entre chacune des lignes de partage et ceux de la courbe de référence représentent le pourcentage de chaque granulat

Dosage en granulats :

Connaissant la masse volumique du ciment γ_c et son dosage C, on peut déduire son volume

$$V_c = C/\gamma_c \dots\dots\dots \text{III.4}$$

Après le choix du coefficient de compacité de béton γ qui est fonction de D, de la consistance et de l'efficacité serrage.

On peut déterminer le volume total absolu $V_t = 100 * \gamma$ pour nous $\gamma = 0,080$

Donc le volume du granulat :

$$V_g = V_t - V_c$$

$$V_g = 100 \gamma - V_c \dots\dots\dots \text{III.5}$$

SI ; g_1, g_2, g_3 sont les pourcentages en volume absolu des granulats déterminés par le Graphique, donc leurs volumes absolus sont :

$$V_{g1} = g_1 * V_g \quad V_{g2} = g_2 * V_g \quad V_{g3} = g_3 * V_g$$

Soit γ_1, γ_2 et γ_3 les masses volumiques absolues des trois granulats, leurs masses seront respectivement.

$$M_1 = V_1 * \gamma_1 \quad M_2 = V_2 * \gamma_2 \quad M_3 = V_3 * \gamma_3$$

Les données indispensables de la méthode DREUX GORISSE :**Données indispensables :**

- Données sur le béton :

Résistance à 28 jours $F_{c28}=25$ MPa

Affaissement en cm

Serrage : vibration normale

Pompage ou non du béton

- Donner sur le ciment :

Classe vraie de ciment à 28 jour $\bar{\sigma}_{c28}=55$ MPa

Classe de ciment à 28 jour ' $\sigma_{c28}=48$ MPa

Mv réelle en g/ml

- Donner sur les granulats :

Qualité des granulats

Forme des granulats

Propreté (ES): sable de dune ES , sable concassé ES

-Tableaux d'analyse granulométrique des granulats : donné

Module de finesse : sable de dune MF , sable concassé MF

Dimension maximale des granulats : D_{max} en mm (gravier)

- Masse volumique réelles des granulats :

MVr (sable de dune (g/cm^3)), (sable concassé(g/cm^3))

MVr (gravier3/8(g/cm^3); gravier8/15(g/cm^3)

III-3.2. Les différentes étapes de la méthode DREUX GORISSE :

- 1/Détermination du dosage en ciment
- 2/ Détermination du dosage en eau
- 3/ contrôle des qualités de granulat (sable)
- 4/ trace de la courbe granulaire OAB
- 5/trace de la ligne de partage
- 6/ Détermination du dosage des granulats
- 7/ Densité théorique du béton frais

III-4 Partie application :

Pour l'étude expérimentale, partie formulation, nous nous sommes basés sur les travaux de l'année précédente faites pour la préparation d'un mémoire de Master [23]. Pour un gain de temps et pour accélérer notre travail expérimental, qui vise l'étude de l'effet de l'évaporation rapide sur les propriétés mécaniques du béton ordinaire dans une zone chaude..



Figure III. 4: Outillages et appareillage des mesures au niveau du laboratoire de Génie Civil - université d'Adrar

III.4.2 - Caractérisation des matériaux :

Dans cette partie les matériaux utilisés sont

A-Ciment :

Nous avons utilisé le ciment Portland composé (STGCEM II/ B 42,5), conforme à la norme algérienne (NA 442), il est livré dans des sacs de 50Kg. La composition chimique de ciment suite dans le tableau III.3



Figure III. 5: Ciment (STG) utilisé dans la confection des bétons

Tableau III. 3: *Composition chimique de ciment.*

Analyse chimique	Valeur d'analyse en (%)
SiO ₂	29.5
Al ₂ O ₃	8.46
Fe ₂ O ₃	3.71
CaO	46.51
MgO	1.39
SO ₃	2.27
Na ₂ O	1.46
K ₂ O	1.72
Cl'	0.0142
LOI	5.20
Free lime	0.37
Gypse	3.63
Total additive	34.03

B - granulats :

Nous adoptons pour la formulation du béton, trois classes granulaires de gravier :

Gravier 3/8 et 8/15, 15/25 de COUSSAN. et deux classes de sables : sable de dune **BOUDA** et sable concassé de **COUSSAN** .



Figure III. 6.: Pèse de Graviers concassé 3/8, 8/15 et 15/25 de COUSSAN.



Figure III. 7: Pèse du sable (sable de dune, SD, BOUDA)

C-Eau de gâchage :

L'eau qui est utilisée dans ce cas est l'eau de robinet, de l'université D'ADRAR

III .4.3-Confection du mélange :

Pour la confection du mélange du béton, on utilise plusieurs matériels et fournitures afin d'avoir un composant bien (homogène) (balance, récipient, moule cylindrique, moule prismatique, appareillage de malaxage, spatules, huile de coffrage...etc.), aussi les autres matériaux. Pèse

La figure suivante présente l'Appareillage de malaxage pour malaxer les composants du béton.



a- Malaxage du béton

b- Béton Ordinaire dans une brouette

Figure III. 8: Opération prè-coulage du béton

III.4.4-Fabrication des éprouvettes :

La confection des éprouvettes avec reprise se fait comme suite :

Nous avons rempli 18 moules cylindrique de surface (15*30) cm²

*Figure III. 9: Remplissage des moles*

La figure ci-dessus illustre le coulage du béton dans les moules cylindriques (15*30) après sa lubrification.

III.5. Comparaison de la variation des poids en fonction de temps

La conservation des éprouvettes fait Just après le remplissage des moules, dans l'ambient du laboratoire et à l'extérieur du laboratoire.

On prend les mesures de la température et de l'humidité à l'extérieur et à l'intérieur puis à chaque 20 minutes on pèse le poids des éprouvettes pour une heure. Cette opération est faite pour trois cas de béton, ferme, plastique et très plastique et les résultats sont consignés dans les tableaux 4, 5,6,7,8 et 9. Les résultats trouvés sont présentés sur les graphes ci-dessous.

A-Beton ferme

T=13C⁰ H =36% l'intérieur laboratoire

Tableau III. 4 : poids des éprouvettes conservées à l'intérieur

Temps(min)		00-20	20-40	40-60
P1 (kg)	Intérieur de laboratoire	20.045	20.00	19.265
P2 (kg)		19.805	19.795	19.795

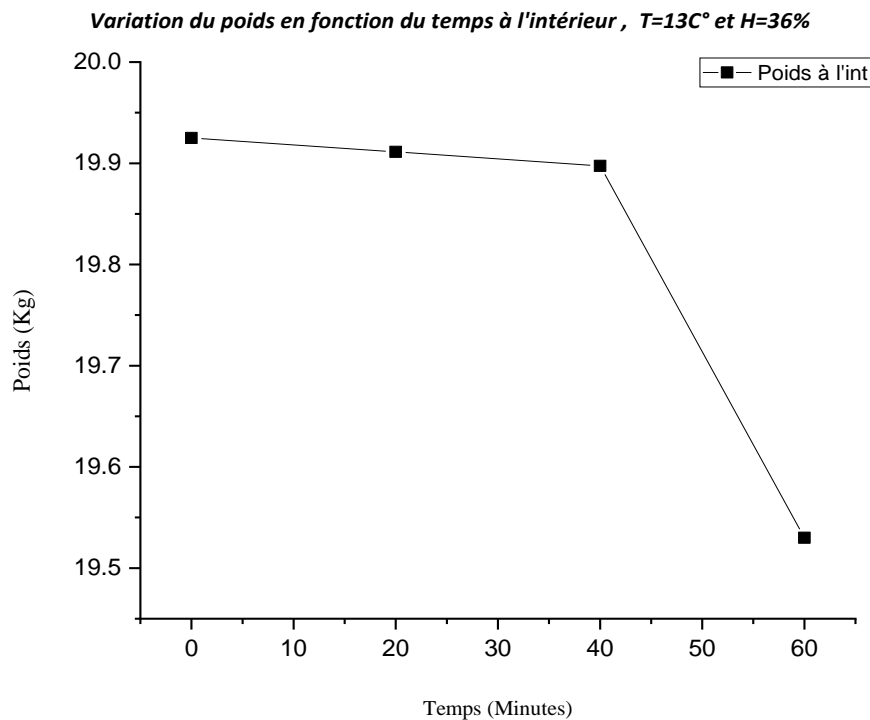


Figure III. 10 : Variation du poids avec le temps à l'intérieur

T=21.6C⁰ H =18% l'extérieur laboratoire

Tableau III. 5 : poids des éprouvettes conservées à l'extérieur

Temps(min)		00-20	20-40	40-60
P1(kg)	Extérieur de laboratoire	20.00	19.880	19.720
P2 (kg)		19.960	19.805	19.705

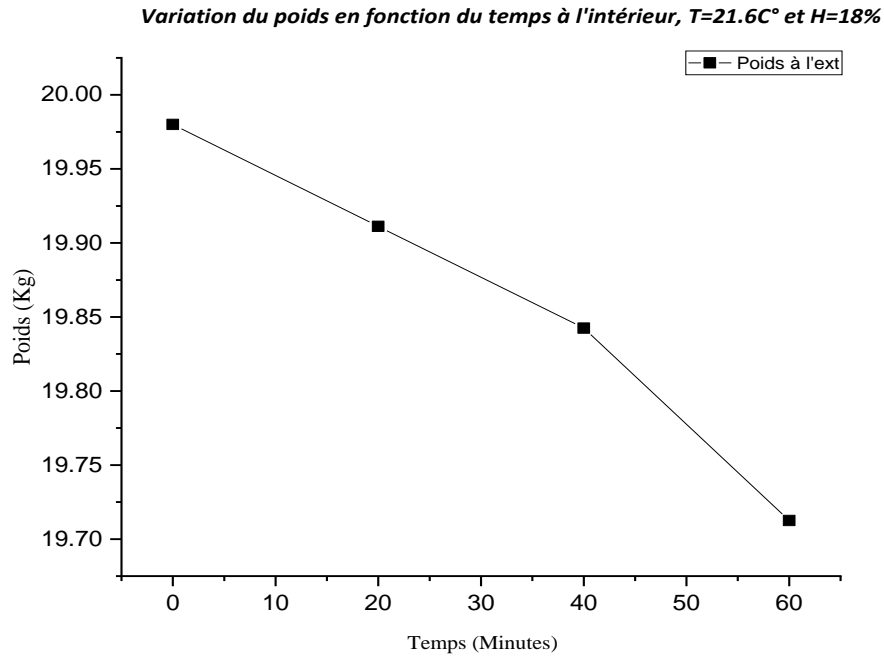


Figure III. 11 : Variation du poids avec le temps à l'extérieur

III.5.1-nterprétation :

Les figures 10 et 11, montrent une diminution dans le poids des éprouvettes dès les premiers vingt minutes et faire à mesure le poids se commence à diminuer rapidement, surtout pour les éprouvettes exposées au climat de l'extérieur, dans les derniers vingt minutes. Cette diminution considérable dû notamment au changement rapide du climat.

C-Béton plastique

T=22.4C° H =16% l'intérieur laboratoire

Tableau III. 6 : poids des éprouvettes conservées à l'intérieur

Temps (min)		00-20	20-40	40-60
P1 (kg)	Intérieur de laboratoire	20.750	20.652	19.878
P2 (kg)		20.699	20.505	19.896

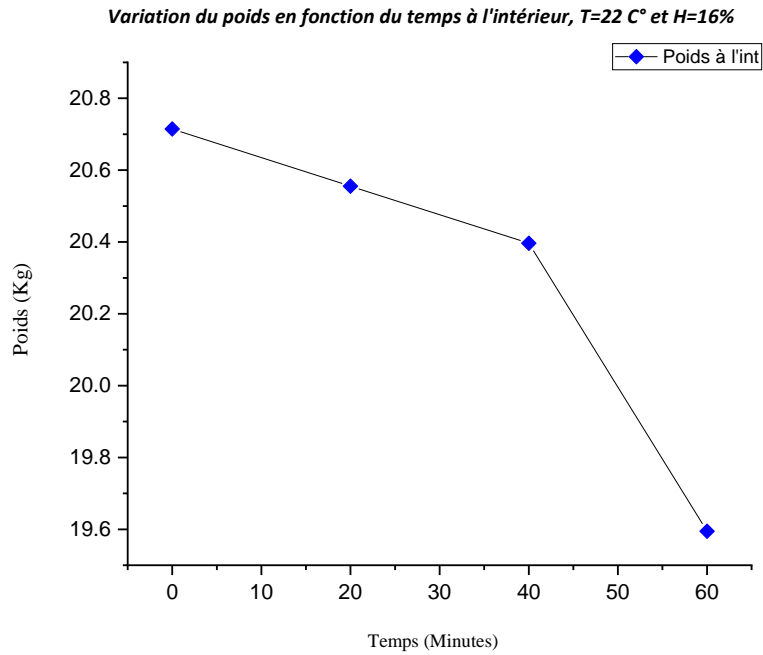


Figure III. 12 : Variation du poids avec le temps à l'intérieur

T=23C° H =16% l'extérieur laboratoire

Tableau III. 7 : poids des éprouvettes conservées à l'extérieur

Temps(min)		00-20	20-40	40-60
P1 (kg)	Extérieur de laboratoire	20.865	20.562	19.603
P2 (kg)		20.564	20.231	19.586

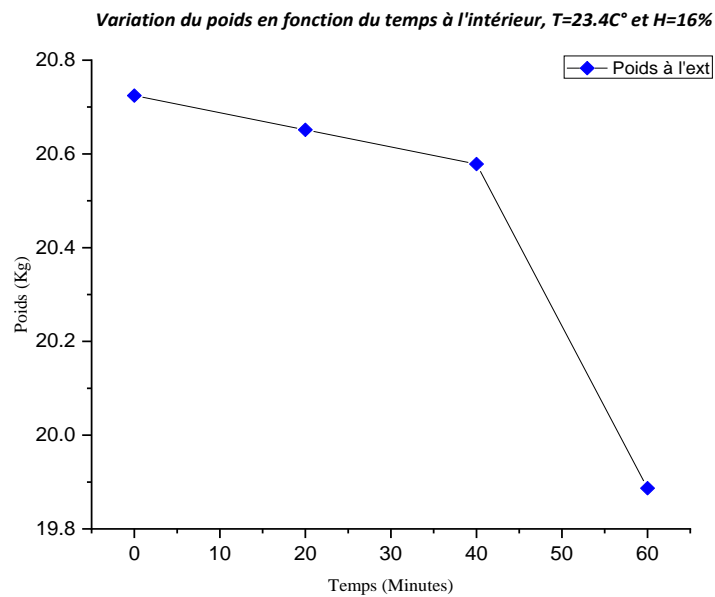


Figure III. 13 : Variation du poids avec le temps à l'extérieur

III.5.2-Interprétation :

D'après les figures 12 et 13, on constate qu'il n'y a pas une grande différence de perte de poids des éprouvettes dans les quarante minutes, mais pour les restes minutes un chute de poids remarquable pour les deux cas, car l'écart entre deux températures est faible avec une humidité constante.

B-Béton Très plastique :

T=13C° H =36% l'extérieur laboratoire

Tableau III. 8 : poids des éprouvettes conservées à l'intérieur

Temps(min)		00-20	20-40	40-60
P1 (kg)	Intérieur de laboratoire	20.420	20.405	20.385
P2 (kg)		20.705	20.695	20.670

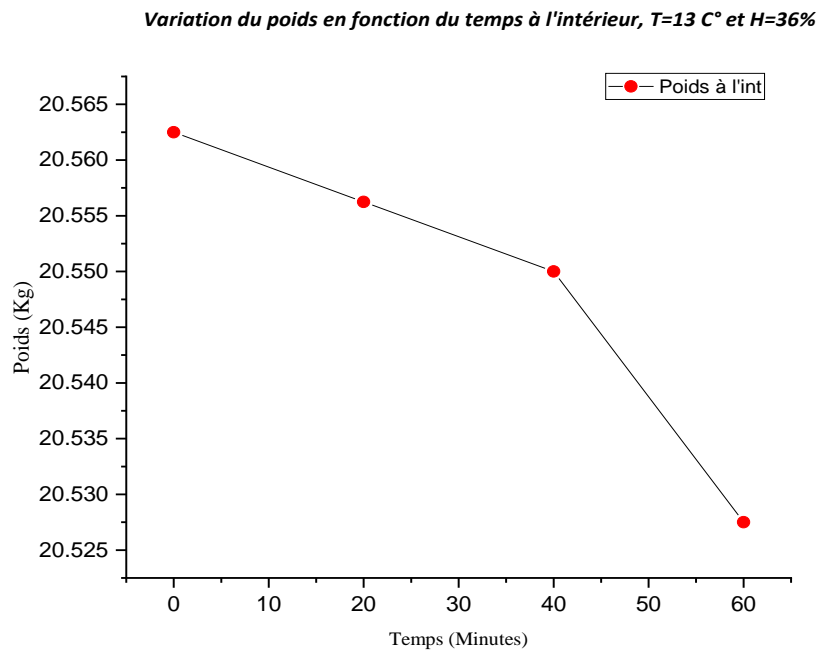


Figure III. 14 : Variation du poids avec le temps à l'intérieur

T=21C° H =18%

Tableau III. 9 : poids des éprouvettes conservées à l'extérieur

Temps(min)		00-20	20-40	40-60
P1 (kg)	Extérieur de laboratoire	20.250	19.830	19.400
P2 (kg)		19.400	19.680	18.990

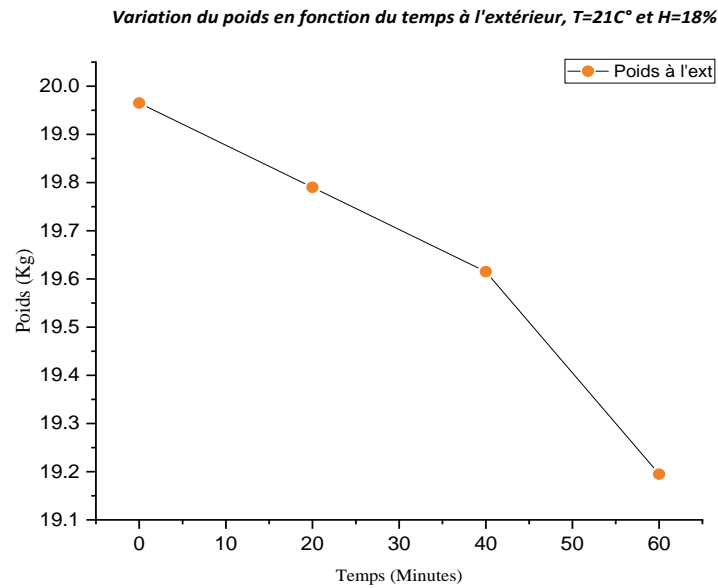


Figure III. 15 : Variation du poids avec le temps à l'extérieur

III.5.3-Interprétation :

La variation du poids représentée sur la figure 14, et 15 dans ce cas, pour les éprouvettes placées à l'intérieur du laboratoire est lente (de 20.5625 à 20.550) par rapport aux éprouvettes placées à l'extérieur (de 19.95 à 19.60), à cause des différentes conditions climatiques entre les deux milieux, ce repère du changement reste le même pour les toutes les minutes restantes.

III.5.4-Discussions de résultats

Pour les trois cas le poids est toujours varié rapidement pour les éprouvettes conservées à l'extérieur que les autres conservées à l'intérieur, ce qui traduit par l'évaporation rapide de l'eau de l'éprouvettes, ainsi de l'influence des conditions climatiques sur la prise du béton surtout dans milieu à une élévation rapide de la température. Outre dans la présence d'une humidité élevée c'est-à-dire un climat humide l'évaporation est lente (figure 10 et figure 14).

Notons que d'autre phénomène est intervenu dans l'évaporation de l'eau surtout de la couche superficielle, comme le ressuage. Cela influe négativement sur le béton surtout dans les régions chaudes soit d'un côté de la rigidité (les procédures de l'hydratation incomplet, durcissement rapide...etc), soit d'un côté d'esthétique (présence des fissures sur les grandes surfaces).

III.6. Conclusion

Ces résultats expérimentaux montrent que la température élevée parmi les importantes causes de l'évaporation d'eau de béton et cette dernière a une relation proportionnelle avec l'élévation de la température. Pour cela il est mieux d'éviter le coulage dans les heures les plus chaudes et en veillant à stocker à l'ombre les granulats. Après le coulage, le béton doit être protégé pour éviter l'évaporation rapide de l'eau contenue dans le béton.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principale de notre travail est d'étudier l'influence de l'évaporation rapide sur les propriétés mécaniques du béton. Pour cela nous avons adapté les démarches suivantes.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté une description générale du matériau béton et précisé sa composition, donc les différents éléments introduits dans sa fabrication, ciment, eau, adjuvants et granulats. Puis nous avons réalisé une synthèse sur le comportement du béton. Cela a permis de donner une idée sur la complexité du béton et sa forte hétérogénéité qui est due à ses caractéristiques intrinsèques.

Dans le deuxième chapitre nous avons prescrit précisément le phénomène de l'évaporation rapide et les types de l'évaporation rapide influents sur le béton dans les différentes étapes de sa fabrication, les causes de l'évaporation rapide et la relation entre l'évaporation rapide et le retrait, cette description est une synthèse nous a permis de d'orienter notre travail de recherche vers une étude plus précise.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude expérimentale, pour établir une formulation du béton adéquate à notre objet de recherche une série des essais a été réalisée.

L'utilisation de la méthode de DREUX GORISSE nous a permis de recueillir des informations plus sur l'élaboration d'une formulation du béton et nous donne une idée sur la simplicité de cette méthode. Plusieurs éprouvettes ont été réalisées, pour nous permettre de juger les résultats obtenus suivant les différents cas.

Les mesures de l'évaporation ont été faites manuellement et nous avons observé un changement dans le poids des éprouvettes durant les premières heures ;

On peut dire que l'évaporation augmente lorsque la température monte et que les conditions extérieures ne sont pas convenables (température, vent et..., ...etc) ;

Dans une région chaude ainsi qu'un milieu chaud le béton se commence à évaporer dès que sa mise en place, même s'il n'est pas encore démoulé ;

Nous pouvons dire que le bétonnage dans une région chaude demande certaines précautions pour éviter l'excès de l'évaporation comme (l'utilisation de produit de cure, l'utilisation d'une

bâche, paillasons humides, films plastiques, surtout pour les grandes surfaces, le bétonnage soit au soir quand la température commence à diminuer ...etc).

Notons que les mesures de l'évaporation demandent un appareillage sophistiqué avec acquisition pour une mesure plus précise.

Notons aussi que les conditions actuelles de (COVID19), nous ont empêché de terminer le programme expérimental qui consiste d'établir plusieurs essais avec des différents types de granulats dans des temps différents durant un mois ;

En fin nous souhaitons que ce travail trouve une continuité pour que les résultats sur l'évaporation rapide soient bien jugés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Jean Festa, Georges Dreux : « Nouveau guide de béton et de ses constituants », édition Eyrolles, France, 2006.
- [2] : TAYEB HAMMANI Karima, BOUYAHIA Cherifa : « Influence des effets de température et de conservation sur la résistance mécanique du béton. » Mémoire Master, l'université Ahmed Draia Adrar, 2018.
- [3] : Van Thai NGUYEN : « Comportement des bétons ordinaire et à hautes performances Soumis à haute température : application à des éprouvettes de grandes dimensions. » THÈSE DE DOCTORAT, université de Cergy-pontoise ,2013
- [4] : Zine El abidine Rahmouni1, Nadia Tebbal et Hassan Haroun abdellah :« Influence de la nature des granulats sur le comportement rhéologique du béton à hautes températures » Université de M'sila, Algérie, 2014.
- [5] : BIGA Moulouda, SAFOUNI Fatiha : « l'influence des dimensions des granulats sur le retrait du béton. » Mémoire Master, université ADRAR ,2015.
- [6] : S-Laldji « Caractéristiques fondamentales du béton. » Cours-ETS, hiver 2015
- [7] : Bella N, Asroun A, Benabdelkader B, Tidjar B. « Efficacité des solutions de bétonnage par temps chaud, approche par la méthode des plans d'expériences » séminaire Internationale ,Faculté des sciences technologiques, Université de Béchar, Algérie , Algérie Novembre2011.
- [8] : 2009, قسم الهندسة المدنية –كلية الهندسة-جامعة عدن «اعمال الخرسانة وظروف الجو الحار» :عبد الله بن دحمان
- [9] :« Bétonnage par temps chaud »<https://www.betonsfeids.lu> 19/04/2020.
- [10] :« Bétonnage par temps chaud »<https://www.infociments.fr> 19/04/2020.
- [11] : G.S. Hasanain, T.A. Khallaf and K. Mahmood « water Evaporation from fresh placed concrete surfaces in hot weather » Civil Engineering Department King Abdulaziz University Jeddah,Saudi Arabia. Dec 1984.
- [12] HALA IMANE.BOUCHRA SAMYA : « L'effet du vent chaud sur les propriétés mécanique du béton dans les zones arides cas Adrar» Mémoire de master Université Ahmed Draia Adrar ,2019.

- [13] : « Bétonnage par temps chaud » Avril 2018
- [14]: Manal Al-Fadhala, Kenneth C. Hover« Rapid evaporation from freshly cast concrete and the Gulf environment » Cornell University, Department of Civil Engineering, Hollister Hall, Ithaca, NY 1485, US; 20 August 2000.
- [15] : Pathologie Le retrait des bétons www.betons-lemagazine.fr,18/04/2020
- [16] : Elanga-Poaty Mbemba-Kiele. « Influence du vent et de la cure sur le comportement des bétons autrès jeune âge ». Matériaux. Université de Nantes; Ecole Centrale de Nantes (ECN), 2010. Français.
- [17]: De Larrard,« Structures granulaires et formulation des bétons », traduit de l'anglais par LECOMTE A, études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées, Paris,2000.
- [18]www.univ-chlef.dz/uhbc/.../Itim%20Ahmed.pdf 18/09/2020.
- [19] Bazant Z. P. et Kaplan M. F., « Concrete at High Temperatures: Material Properties and Mathematical Models », Pearson Education, 1996.
- [20] Sliwinski J., Leonard R., Tracz T., « Influence of High Temperature on the Residual Permeability of High Performance Concrete (in Polish) », Proc. Of 2nd Conf. Dni Betonu, Polski Cement, Wisła 2004.
- [21] Kalifa, P. et Menneteau F. D., « Mesures de pression, température et perte en masse dans les bétons à hautes températures », Rapport BHP 2000.
- [22] Phan L. T., Carino N. J., « Codes provisions for high strength concrete strength–temperature relationship at elevated temperature », National institute of standards and technology, Materials and structures, vol. 36, N°256, p.91-98, 2003.
- [23]: Abbou Zahra Messaoudi Safia «formulation de beton a base de matériaux locaux d'Adrar (koussane) » Mémoire de master Université Ahmed Draia Adrar ,8/7/2019.