REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie civil

Thème

Evaluation de l'effet de ciment et de l'humidité relative sur les propriétés des bétons ordinaires.

Présenté par :

AGGOUN Sara

BOULESBAA Khaoula

Proposé et Dirigé par :

Dr : BOUCHERIT Dalila

Mr : HAMADACHE Lounas

Promotion Juin 2019

Remerciements

On tient à remercier en premier Dieu de nous avoir donné le savoir, la volonté et surtout la patience pour réaliser ce modeste travail.

On adresse nos remerciements à notre promotrice Madame ***BOUCHERIT DALILA*** *de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé pour la réalisation de ce travail.*

Nos sincères remerciements vont également à notre encadreur Monsieur ***HAMaDACHE LOUNAS*** *responsable de laboratoire de développement de la construction et Monsieur* ***GHEZALI MALAK*** *et toute l'équipe qui nous ont aidés et fournit tous les moyens pour que nous puissions effectuer notre stage pratique dans les meilleures conditions. Nous n'oublions jamais l'aide qui nous a été fournie par cette équipe.*

Nous saisissons cette occasion pour exprimer toute notre reconnaissance pour tous les enseignants du département de Génie Civil de l'université de Médéa.

Enfin, que toutes celles et ceux qui, de près ou de loin nous ont généreusement offert leurs encouragements à l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde sympathie.

Merci.

Dédicace

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

Je dédie ce travail à mes parents qui m'ont donné la vie, qui se sont sacrifiés pour mon bonheur et ma réussite, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnée durant mon chemin d'études. Aucune dédicace ne saurait exprimer à sa juste valeur le profond respect que je vous porte.

A mon frère Rafik.

A ma sœur Sérine.

A ma grand-mère, mes tantes, mes oncles et toute ma famille.

A mes chers amis Isma, Farouk, Khadidja, Nour el houda, Djedjigua et tout ce qui j'aime et tout ce qu'ils m'aiment.

AGGOUN Sara

Dédicace

Je dédie ce travail :

Aux êtres qui me sont les plus chers au monde ma mère,

A mon père,

Qui n'ont jamais cassé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères Oussama et Youcef

A mon cher oncle Mohammed, ma chère cousine Ikram et à toute ma famille.

A mes amis sans exception

A mon cher binôme, AGGOUN Sara

En fin je remercie Dieu de m'aide à réaliser mon rêve de devenir ingénieur.

A tous ceux que j'aime Merci !

BOULESBAA Khaoula

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles et abréviations

INTRODUCTION GENERALE……...……1

CHAPITRE 1 : Revue bibliographique

1.1. Introduction……...…..3

1.2. Béton……...…....3

1.2.1. Définition……..…...3

1.2.2. Les différents types de béton……..…..3

1.2.3. Composition……...…….....4

1.2.3.1. Ciment…….....4

1.2.3.2. Granulats……...5

1.2.3.3. Eau de gâchage……....6

1.2.3.4. Adjuvants……..…7

1.2.3.5. Additions……..7

1.2.4. Propriétés du béton à l'état frais……....9

1.2.4.1. L'ouvrabilité……..…9

1.2.5. Propriétés du béton à l'état durci…….……10

1.2.5.1. La résistance à la compression…….....10

1.2.5.1.1. Facteurs influençant à la résistance à la compression……...10

1.2.5.2. La résistance à la traction……..……..21

1.2.5.2.1. Facteurs influençant à la résistance à la traction…….……22
1.2.5.3. L'absorption capillaire……...….24
1.2.5.4. La porosité……..……24
1.2.5.5. La conductivité thermique……..24
1.2.5.6. Le retrait……..……25
1.2.5.6.1. Facteurs influençant sur le retrait……..…...28

CHAPITR 2 : Matériaux et techniques expérimentales

2.1. Introduction……..……39
2.2. Matériaux utilisés……..……39
2.2.1. Ciments…….……..39
2.2.2. Granulats…….……40
2.2.2.1 Sable…….……40
2.2.2.2 Gravier…….……40
2.2.3. Adjuvant……40
2.2.4. Eau……...……..41
2.3. Caractérisation des matériaux……..41
2.3.1 Essai sur le ciment……41
2.3.1.1 Mesure de la Finesse……...41
2.3.1.2 Consistance normale……...……42
2.3.1.3 Temps de prise……42
2.3.1.4 Essai de résistance à la traction par flexion……43
2.3.1.5 Essai de résistance à la compression……44
2.3.1.6 La chaleur d'hydratation……44
2.3.2 Essai sur le sable……...45

2.3.2.1 Essai d'équivalent de sable:(NF P 18-598) [104]……45

2.3.2.2 Essai au bleu de méthylène……..45

2.3.3 Essai sur le gravier ……...……46

2.3.3.1 Analyse granulométrique……..46

2.3.3.2 La masse volumique apparente……47

2.3.3.3 La masse volumique absolue……...47

2.3.3.4 Essai d'Aplatissement……..48

2.4 Formulation des bétons……...52

2.4.1 Composition……...52

2.4.2 Préparation et conservation des éprouvettes…….....55

2.4.2.1 Préparation des éprouvettes ……...55

2.4.2.2 Conservation des éprouvettes……...55

2.5 Essai sur le béton……56

2.5.1 Les essais à l'état frais……...56

2.5.1.1 Essai d'affaissement (slump test)- Norme NF EN 12350-2……...56

2.5.1.2 La masse volumique –Norme NF EN 12350-6[23]……...57

2.5.2 Les essais à l'état durci……...57

2.5.2.1 La résistance à la compression -Norme NA 427 /1989[110]……..57

2.5.2.2 La résistance à la traction……58

2.5.2.3. L'essai d'absorption capillaire [111]……...……58

2.5.2.4. La conductivité thermique [112]……...…….59

2.5.2.5. La perte en masse……59

2.5.2.6. Variations dimensionnelle –Norme NF P 18-427 [88]……..……60

CHAPITRE 3 : Résultats et interprétations

3.1. Introduction……...…61

3.2. L'ouvrabilité……..…61

3.3. La chaleur d'hydratation……62

3.4. La résistance à la compression……...62

3.4.1. Effet de type de ciment sur la résistance à la compression……..……..62

3.4.2. Effet de dosage en ciment sur la résistance à la compression……..63

3.5. La résistance à la traction par flexion à 28 jours……..……64

3.5.1. Effet de type de ciment sur la résistance à la traction par flexion……...….64

3.5.2. Effet de dosage en ciment sur la résistance à la traction……..64

3.6. L'absorption capillaire…….……..65

3.7. La conductivité thermique…….……67

3.7.1. L'effet de type de ciment sur la conductivité thermique……67

3.7.2. L'effet de dosage en ciment sur la conductivité thermique…….....68

3.8. La perte en masse……..……69

3.8.1. Effet de type de ciment sur la perte en masse…….……69

3.8.2. Effet de dosage en ciment sur la perte en masse……..……70

3.8.3. Effet de l'humidité relative sur la perte en masse……...…….72

3.9. La variation dimensionnelle……...…….74

3.9.1. Effet de type de ciment sur la variation dimensionnelle……..…75

3.9.2. Effet de dosage en ciment sur la variation dimensionnelle……77

3.9.3. Effet de l'humidité relative sur la variation dimensionnelle……79

Conclusion générale……...……...81

Références bibliographiques

Annexe

الملخص

الخرسانة هي أكثر مواد البناء استخدامًا منذ أكثر من قرن. بعد الإعداد وأخذها، يعرف تطورات الأبعاد المختلفة للأصل المادي مثل الانسحاب.

يهدف العمل الحالي إلى دراسة الخواص الميكانيكية (قوة الشد والضغط)؛ الخواص الفيزيائية (الامتصاص والانكماش) والحرارية (الناقلية) تحت تأثير نوع الاسمنت والجرعة وتغير الرطوبة النسبية للبيئة. لإجراء هذه الدراسة قمنا بتثبيت ثلاثة أنواع من الاسمنت (سريع، شامل ومتين) ثم حددنا نوع الاسمنت (متين) وغيرنا الجرعة (350 كلغ / م ^{3}، 380 كلغ/ م ^{3}، 420 كلغ/ م ^{3}). في كل الخرسانة، يتم إعداد ثلاث سلاسل للتعرض لثلاثة ظروف مختلفة لقياس الرطوبة؛ (0 ٪، 50 ٪ و100 ٪)

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، انكماش، الرطوبة، كمية الاسمنت، نوع الاسمنت.

Résumé

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé depuis plus d'un siècle. Après sa mise en place et sa prise, il connaît diverses évolutions dimensionnelles d'origine physique comme le retrait.

Le présent travail a pour objet d'étudier les propriétés mécaniques (résistance à la traction et à la compression) ; physiques (absorption et retrait) et thermique (conductivité) des bétons sous l'effet de type et dosage de ciment et la variation d'humidité relative de l'environnement. Pour réaliser cette étude nous avons fixé trois types de ciment (SARIE, CHAMIL et MATINE), puis nous avons fixé le type de ciment (MATINE) et varié le dosage (350 kg/m^3, 380 kg/m^{3,} 420 kg/m^3). Bour chaque béton, trois séries sont préparés pour les exposés aux trois conditions hygrométriques différentes ; (0%, 50% et 100%)

Mots-clés : Béton, Retrait, Humidité relative, Dosage en ciment, Type de ciment.

Abstract

Concrete is the most used building material for over a century. After setting up and taking it, it knows various dimensional evolutions of physical origin as the shrinkage.

The present work aims to study the mechanical properties (tensile and compressive strength); physical (absorption and shrinkage) and thermal (conductivity) of concretes under the effect of cement type and dosage and the relative humidity variation of the environment. To carry out this study are fixed ; three types of cement (SARIE, CHAMIL and MATINE), then we fixed the type of cement (MATINE) and varied the dosage (350 kg / m3, 380 kg / m3, 420 kg / m3).for eash concrete, Three series are prepared to keept concrete under three differents hygrometric conditions; (0%, 50% and 100%)

Keywords: Concrete, shrinkage ,Relative humidity, Cement dosage, Cement type.

Liste des figures

Figure 1-1 : Influence de la nature du ciment sur l'évolution des résistances en compression du béton [28] ……..11

Figure 1-2 : Evolution de la résistance à la compression du béton en fonction de la finesse du ciment [28] ……..…….....11

Figure 1-3 : Evolution de la résistance à la compression du béton en fonction de la finesse du ciment [29]……..……..12

Figure 1-4 : Développement de la résistance de bétons confectionnés avec différents ciments pour un dosage de 335 kg/m^3 [32]…….13

Figure 1-5 : Développement de la résistance de bétons de rapport E/C de 0,49 confectionnés avec différents ciments [33]…….**.....**13

Figure 1-6 : Influence de la dimension maximale du granulat sur la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosages en ciment [8]……14

Figure 1-7 : Résistance en compression de deux bétons : un béton avec fluidifiant et un béton témoin sans adjuvant [37]…….…….15

Figure 1-8 : Influence d'un accélérateur et d'un retardateur de prise sur l'évolution de la résistance du béton [38]…….…….**....**16

Figure 1-9 : Influence du rapport E/C sur l'évolution de la résistance à la compression du béton [39]…….…...…16

Figure 1-10 : Relation entre la résistance à la compression à 7 jours et le rapport E/C d'un béton confectionné avec un ciment portland à durcissement rapide [8]……..…18

Figure 1-11 : Influence du rapport G/C sur la résistance à la compression du béton à 7 jours [8]……..…….18

Figure 1-12 : Relation entre la résistance à la compression de cylindres de béton (10×30 cm) et le volume de granulats pour un rapport E/C constant de 0,5 [47]……19

Figure 1-13 : Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire [50]……20

Figure 1-14 : Développement de la résistance d'un béton mesurée durant 20 ans sous condition de conservation humide [51]……..……20

Figure 1-15 : Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances [52]…….……..……21

Figure : 1-16 : Auto-dessiccation de la pâte de ciment en court d'hydratation, d'après WITTMANN F.H [74]……..…26

Figure : 1-17 : Relation entre le retrait et le temps d'exposer aux différentes humidités relatives [79]…….....28

Figure : 1-18 :L'effet de la période de la cure sur le développement du retrait dans le temps [80]……29

Figure 1-19 : Effet de la cure sur le retrait [82]……..……..30

Figure : 1-20 : Influence de dosage des granulats sur le rapport retrait de béton/retrait de la pâte ciment [79]…….31

Figure : 1-21 : Effets des granulats sur le retrait [78]……32

Figure : 1-22 : Effet de dosage de ciment sur retrait plastique [79]……...33

Figure : 1-23 : Effet de rapport E/C sur le retrait plastique [85]…….……...34

Figure 1-24: Effet du rapport E/C et de la teneur en granulat sur le retrait [88]……..…….…34

Figure 1-25 : Relation entre le retrait ultime et le volume de la pâte [87]…….…….35

Figure : 1-26 : Résultats de retrait des bétons contiennent 2% des adjuvants réducteurs de retrait
[85]……..36

Figure : 1-27 : Largeur maximal des fissures en fonction de pourcentage des adjuvants réducteurs de retrait à 42 jours [85]……..……..36

Figure : 1-38 : Effet du pourcentage des armatures sur le retrait [99]…….……..38

Figure 2-1 : Les types des ciments……...…….39

Figure2-2 : SKY 841……40

Figure 2-3: Essai de la finesse et le perméabilimétre de Blaine……42

Figure2-4 : Appareil de Vicat……...……43

Figure 2-5 : Dispositif de l'essai de traction par flexion……..……..43

Figure 2-6 : Dispositif de l'essai de compression……..…….……44

Figure 2-7 : Dispositif de la chaleur d'hydratation……...
……44

Figure 2-8 : L'essai d'équivalent de sable…….……..…….**.....**45

Figure 2-9 : L'essai de bleu de méthylène…….46

Figure 2-10 : Dispositif de l'analyse granulométrique ……..…..46

Figure 2-11 : Dispositif de l'essai de masse volumique apparent …….……..….47

Figure 2-12 : Dispositif de l'essai de masse volumique absolue……..……....…47

Figure 2-13 : Dispositif de l'essai d'aplatissement ……...…...……48

Figure 2-14 : Courbe granulométrique des sables……...……..49

Figure 2-15 : Courbe granulométrique des graviers…….....51

Figure 2-16 : Les étapes de préparation des éprouvettes……...55

Figure 2-15 : La conservation des éprouvettes…….....56

Figure 2-18 : Dispositif de l'essai d'affaissement……...…….56

Figure 2-19 : Dispositif de l'essai La résistance à la compression……..……58

Figure 2-20 : Dispositif de l'essai La résistance à la traction par flexion……..…58

Figure 2-21 : L'essai d'absorption……..…….…….59

Figure 2-22 : Dispositif de l'essai de la conductivité thermique…….……..59

Figure 2-23 : Dispositif de mesure de masse…….……60

Figure 2-24 : Mesure de retrait……...……..…59

Figure 3-1 : La chaleur d'hydratation de trois ciments……....62

Figure 3-2: Effet de type de ciment sur la résistance à la compression…….……..…63

Figure 3-3 : Effet de dosage en ciment sur la résistance à la compression…….….63

Figure 3-4: Effet de type de ciment sur la résistance à la traction par flexion à 28 jours.....64

Figure 3-5: Effet de dosage en ciment sur la résistance à la traction par flexion à 28 jours……..…….65

Figure 3-6 : Effet de type et dosage de ciment sur l'absorption capillaire à 100% Humidité.……...……...66

Figure 3-7 : effet de type et dosage de ciment sur l'absorption capillaire à 50% Humidité……...67

Figure 3-8 : effet de type et dosage de ciment sur l'absorption capillaire à 0% humidité.……...…68

Figure 3-9: La conductivité thermique des différents types de ciment…….……...69

Figure 3-10: La conductivité thermique des différents dosages en ciment……..70

Figure 3-11: Effet de type de ciment sur la perte en masse à 100% humidité…...……..71

Figure 3-12: Effet de type de ciment sur la perte en masse à 50% humidité……...71

Figure 3-13: Effet de type de ciment sur la perte en masse à 0% humidité…….71

Figure 3-14: Effet de dosage en ciment sur la perte en masse à 100% humidité…….72

Figure 3-15: Effet de dosage en ciment sur la perte en masse à 50% humidité……...72

Figure 3-16: Effet de dosage en ciment sur la perte en masse à 0% humidité…….73

Figure 3-17: Effet de l'humidité relative sur le ciment MATINE dosé à 350 kg/m^3……..74

Figure 3-18: Effet de l'humidité relative sur le ciment CHAMIL dosé à 350 kg/m^3……..74

Figure 3-19: Effet de l'humidité relative sur le ciment SARIE dosé à 350 kg/m^3….....75

Figure 3-20: Effet de l'humidité relative sur le ciment MATINE dosé à 380 kg/m^3……..75

Figure 3-21: Effet de l'humidité relative sur le ciment MATINE dosé à 420 kg/m^3……..76

Figure 3-22: Effet de type de ciment sur la variation dimensionnelle à 0% humidité……77

Figure 3-23: Effet de type de ciment sur la variation dimensionnelle à 50% humidité……77

Figure 3-24: Le retrait de séchage des différents types de ciment……..78

Figure 3-25: Effet de type de ciment sur la variation dimensionnelle à 100% humidité……...……78

Figure 3-26: Effet de dosage ciment sur la variation dimensionnelle à 0% humidité……....79

Figure 3-27: Effet de dosage ciment sur la variation dimensionnelle à 50% humidité……...….79

Figure 3-28: Le retrait de séchage des différents dosages de ciment MATINE……..80

Figure 3-29: Effet de dosage ciment sur la variation dimensionnelle à 100% humidité……....80

Figure 3-30: Effet de l'humidité relative sur le retrait du béton avec un ciment MATINE dosé à 350 kg/m^3……..…….81

Figure 3-31: Effet de l'humidité relative sur le retrait du béton avec un ciment CHAMIL dosé à 350 kg/m^3……...……81

Figure 3-32: Effet de l'humidité relative sur le retrait du béton avec un ciment SARIE dosé à 350 kg/m^3……...……...82

Figure 3-33: Effet de l'humidité relative sur le retrait du béton avec un ciment MATINE dosé à 380 kg/m^3……..…….82

Figure 3-34: Effet de l'humidité relative sur le retrait du béton avec un ciment MATINE dosé à 420 kg/m^3……..**.....**82

Liste des tableaux

Tableau 1-1: L'effet de dosage en ciment sur le retrait [77]…….…….....33

Tableau 1-2: Résultats des fissures de retrait à 42 jours [99]…….…….38

Tableau 2-1 : Les types des ciments ……...……..…….……..39

Tableau 2-2 : Les types des sables ……...……40

Tableau 2-3 : Les types des graviers……..……..……40

Tableau 2-4 : Les caractéristiques de SKY 841……..…..……41

Tableau 2-5 : Sable fraction 0-1……..…….……48

Tableau 2-6 : Sable fraction 1-4…….……..49

Tableau 2-7 : Gravier fraction 3-8……...……...50

Tableau 2-8 : Gravier fraction 8-15……..……...50

Tableau 2-9 : Gravier fraction 15-25…….…..…….50

Tableau 2-10 : Les propriétés des ciments……...……51

Tableau 2-11 : Les caractéristiques des ciments…….....…..…...52

Tableau 2-12 : Formulation de béton fabriqué avec le ciment MATINE avec un dosage en ciment de 350 kg/m^3.…….…..….52

Tableau 2-13 : Formulation de béton fabriqué avec le ciment CHAMIL avec un dosage en ciment de 350 kg/m^3.……..……53

Tableau 2-14 : Formulation de béton fabriqué avec le ciment SARIE avec un dosage en ciment de 350 kg/m^3. ……53

Tableau 2-15: Formulation de béton fabriqué avec le ciment MATINE avec un dosage en ciment de 380 kg/m^3.……54

Tableau 2-16 : Formulation de béton fabriqué avec le ciment MATINE avec un dosage en ciment de 420 kg/m^3.……...……..54

Tableau 3-1: L'ouvrabilité de différents bétons……..……...…..61

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

Aff	Affaissement
Al_2O_3	Alumine
ASTM	American Society for Testing and Materials
BAP	Béton autoplaçant
BHP	Béton de Haute Performance
$CaCO_3$	Carbonate de Calcium
CaO	Oxyde de Calcium
$Ca(OH)_2$	Hydroxyde de Calcium
CO_2	Dioxyde de Carbone
d	Dimension minimale des grains
D	Dimension maximale des grains
DTU	Document Technique Unifié
E/C	Eau/Ciment
E/(C+FS)	Eau/(Ciment+ Fumée de Silice)
E/L	Eau/ Liant
f_{cj}	Résistance en Compression
f_{tj}	Résistance à la traction
Fe_2O_3	Oxyde de Fer
G/C	Gravier/Ciment
G/S	Gravier/Sable
HR	Humidité Relative
pH	Potentiel Hydrogène
SiO_2	Dioxyde de Silicium

SRA	Adjuvant réducteur de retrait
SSB	
°C	Degré Celsius

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde depuis plus d'un siècle, il est irremplaçable dans le domaine de construction pour des raisons techniques, économiques et par sa facilité de mise en œuvre. Il est connu pour ses propriétés de la résistance, c'est un matériau durable.

En effet, malgré sa bonne durabilité, le béton subit de profondes transformations dès sa mise en œuvre, pendant sa prise et son durcissement et se développent au cours du temps. Ces changements dépendent de plusieurs paramètres inertes et externes tel que la composition du béton, la qualité de ses constituants ainsi que les conditions de conservation et d'exposition.

Après sa mise en place et sa prise, il connait d'autres diverses évolutions dimensionnelles d'origine physique comme la variation dimensionnelle (le retrait et le gonflement). Ce phénomène est d'autant plus important qu'il est responsable de nombreuses pathologies sur les ouvrages en béton lorsque leur déformation entravée n'est pas maîtrisée.

L'objectif de cette étude consiste à étudier l'influence de type et dosage de ciment ainsi que l'humidité relative sur la variation dimensionnelle du béton avec un rapport Eau/Ciment et ouvrabilité constants.

Cette étude s'articule autour de trois parties différentes ; revue bibliographique, matériaux et techniques expérimentales et résultats et interprétations présentées sous forme de chapitres.

- **Le premier chapitre** se compose de deux parties, dont la première est consacrée à la revue bibliographique sur le béton, ses composants et ses différentes propriétés à l'état frais et l'état durci. La deuxième partie présente les définitions des différents types de retrait et les facteurs qui influent sur leur développement.

- **Le deuxième chapitre** présente les différentes étapes de notre travail au sein de laboratoire de développement de la construction CDL qui appartient au groupe LAFARGE. Les propriétés des matériaux utilisés ainsi que les différentes formulations et essais réalisés sont présentés dans ce chapitre.

- **Le troisième chapitre** est consacré à interprétation des résultats des différents essais réalisé sur les bétons.

A la fin, on termine ce travail par une conclusion générale dont laquelle on résume les principaux résultats trouvés et le but de cette étude et quelques recommandations proposées pour les futurs travaux.

CHAPITRE 1 :

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. INTRIDUCTION

Les structures de génie civil sont soumises durant toute leur durée de service à des déformations liées au séchage et à l'hydratation de ciment. Ces déformations conduisent à la création de contraintes pouvant mener à sa fissuration, et influes sur la durabilité et les performances du béton. L'une des principales déformations est le retrait.

Ce chapitre présente une revue bibliographique sur le retrait de béton, il est divisé en 2 parties:

- Dans la première partie de ce chapitre, on présente une généralité sur le béton ordinaire, ses compositions et ses différentes propriétés à l'état frais et l'état durci.
- Dans la deuxième partie, on définit le retrait du béton et ses différents types ainsi que les différents facteurs influant sur le retrait.

1.2. Béton

1.2.1. Définition

Le béton est un matériau de construction composé d'un mélange de granulat, de sable, et d'eau aggloméré par un liant hydraulique (le plus souvent du ciment) qui sert de colle . On y ajoute éventuellement des adjuvants et d'autres ingrédients pour modifier ses caractéristiques.

1.2.2. Les différents types de béton

1.2.2.1. Béton ordinaire

Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base : ciment, granulat, eau, avec un rapport E/C qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée.

Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situé entre 20 MPa et 50 MPa [1].

1.2.2.2. Béton autoplaçant (BAP)

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'´état frais, qui sont le résultat d'une formulation spècifique. Cette dernière doit pouvoir concilier deux propriétés a` priori contradictoires : une très grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation (stabilité). L'Association Française de Génie-Civil définit dans ses recommandations provisoires les BAP comme des bétons «très fluides, homogènes et stable» [2].

1.2.2.3. Béton de haute performance (BHP)

C'est un béton aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (supérieure à 50 MPA), et un rapport pondéral E/C inférieur à 0,40. Sa propriété essentielle est la grande résistance en compression qui dépasse largement celle des bétons ordinaires. Ceci est obtenu grâce à sa faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants [3].

1.2.2.4. Béton de fibre

C'est un béton dans lequel sont incorporées des fibres synthétiques ou naturelles, ce qui permet suivant l'ouvrage, de supprimer le treillis soudés traditionnel. Parmi les caractéristiques du béton fibré, on peut citer : sa résistance à la traction, à la fissuration et au choc [4].

1.2.2.5. Béton léger

La norme NF EN 206-1 [5], définit le béton légers comme ayant une masse volumique après séchage entre 800 et 2100 kg/m^3. Parmi ces bétons, on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique d'une habitation (isolation thermique) et même comme éléments porteurs de charges qui permettent d'alléger la construction.

1.2.2.6. Béton lourd

C'est un béton dont la masse volumique apparente est supérieure à 2600 kg/m^3, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées, compte tenu des faibles dosages en eau [6].

1.2.2.7. Béton compacté au rouleau (BCR)

On appelle Béton Compacté au Rouleau (BCR) un béton raide, d'affaissement nul composé de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants, dont la mise en place nécessite un compactage externe pour être bien consolidé. Le BCR présente une grande résistance et une bonne durabilité donc il est bien adapté aux charges des équipements lourds [7].

1.2.3. Composition

1.2.3.1. Ciment

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous forme d'une poudre minérale fine s'hydratant en présence d'eau, il forme une pâte faisant prise qui durci progressivement. Grâce à ses caractéristiques, cet élément permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide, obtenu principalement par la pulvérisation du clinker et du sulfate de

calcium hydraté, le ciment fut découvert par un maçon de Leeds, Joseph Aspdin en Angleterre [8].

Tous les ciments courants sont à base de clinker portland, le clinker est le produit qui sort du four et qui est sous forme de granules aux dimensions centimétriques. Pour le fabriquer, il faut mélanger les quatre oxydes (CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3), qui se trouvent couramment dans les calcaires et les argiles [9].

La norme européenne NF 197-1 [10], donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq principaux types à savoir :

- CEM I: Ciment Portland (CPA).
- CEM II : Ciment Portland composé (CPJ).
- CEM III : Ciment de haut-fourneau (CHF).
- CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ).
- CEM V : Ciment composé (CLC).

Les ciments courants sont classés aussi en fonction de leur résistance mécanique à la exprimé en MPa à 28 jours ; 32.5N, 32.5R, 42.5N, 42.5R et 52.5N, 52.5R.

Les classes « R », rapides présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées.

Le choix du type de ciment et son dosage dépendent à la fois des performances recherchées (résistance mécanique, résistance aux agents agressifs) et de la nature des autres composants [11].

1.2.3.2. Granulats

Les granulats sont des matériaux inertes qui, aggloméré par un liant, constituent le squelette du béton [12]. Ils peuvent provenir des dépôts présentant une large plage de dimension, allant des plus petits jusqu' aux gros éléments (entre 0 et 125 mm) [8].

Généralement, les granulats (sable et graviers) occupent environ les trois quarts du volume totale du béton. Pour cela, il n'est pas étonnant que leurs propriétés affectent les performances du béton : ouvrabilité, résistance, durabilité,…etc. Donc on ne peut pas confectionner un bon béton avec des granulats dont les propriétés sont médiocres [8].

La forme la plus souhaitable se rapprochant de la sphère et les mauvaises formes sont: aiguilles et plats, qui nécessitent une quantité d'eau plus élevée et peut provoquer des défauts d'aspect [6].

Les granulats peuvent être naturels, artificiels, ou recyclés à partir de matériaux précédemment utilisés en construction [13].

La norme XP P18-540 [14], précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles :

- Filler 0/D : pour D<2mm et ayant au moins 70% de grains passant au tamis de 0.63mm.
- Sablon 0/D : pour D≤1mm et avec moins de 70% de grains passant au tamis de 0.63mm.
- Sable 0/D : lorsque : 1mm<d≤6.3mm.
- Graves 0/D : lorsque : D>6.3mm.
- Gravillons d/D : lorsque : d≥1mm et D≤125mm.
- Ballast d/D : lorsque : d≥25mm et D≤50mm.

a. Fillers

Le filler est une matière minérale, finement divisée destinée à remplir les vides laissés par un empilement granulaire de graviers, gravillons et sables. Le terme filler se rapporte à la petite taille des grains qui le constitue. La nature chimico-minéralogique du filler peut varier, il s'agit généralement de calcaire broyé, les cendres volantes, la fumée de silice, ou une combinaison de ces matériaux peut être utilisée comme filler. Selon la norme NF EN 12620 [15], les fillers sont des granulats de taille inférieure à 0,063mm.

b. Sable

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80µm et 05µm ; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient d'une classification à une autre, ce 'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3mm et dont le passant à 80µm n'excède pas 30%.

Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm, les fines [16].

Le sable est dit :

- Naturel : lorsqu'il est issu de roches meubles ou massives et ne subissant aucun traitement autre que mécanique (sable de mer, sable d'oued, sable de concassage et de dune).
- Artificiel : lorsqu'il provient de la transformation à la fois thermique de roches ou de minerais (sable d'argile expansée, sable de laitiers granulés ou concassés, sable de briques…, etc.).
- Recyclé : lorsqu'il provient de la démolition d'ouvrages [11].

c. Gravier

Les graviers ont des origines semblables à celles des sables, ils proviennent de la désagrégation des roches. La dimension maximale des agrégats est conditionnée, d'une part, par la distance minimale à réaliser et, d'autre part, de la distance minimale entre les différents armatures de l'ouvrage.

La fraction 3/8 est considérée comme sable concassé [8].

1.2.3.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage doit être propre, elle ne doit pas contenir de matière en suspension au-delà des tolérances réglementaires suivantes :

- 2 g/l pour les bétons à haute résistance
- 5 g/l pour les bétons à faible résistance

L'eau de gâchage ne doit pas contenir des sels dissous au-delà de :

- 15 g/l pour les bétons à hautes résistances.
- 30 g/l pour les bétons à faibles résistances [6].

1.2.3.4. Adjuvants

Les adjuvants sont des produits incorporés au moment du malaxage du béton à une dose inférieure ou égale à 5 % en masse de la teneur en ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et/ou durci [17].

Les principaux adjuvants sont : [8]

- Les superplastifiants : ils permettent d'obtenir des bétons maniables et ouvrables par défloculation des grains de ciment. À une consistance donnée ils offrent la possibilité de réduire la quantité d'eau nécessaire à la fabrication et à la mise en place du béton, et par conséquent augmenter les caractéristiques mécaniques du béton.
- Les retardateurs de prise : ils trouvent leur utilisation dans le transport du béton sur de grandes distances, en particulier par temps chaud. Ils sont aussi utilisés pour éviter toute discontinuité lors de la reprise de bétonnage.
- Les accélérateurs de prise : ils trouvent leur utilisation dans la réalisation de scellement ou d'étanchement ainsi par temps froid.
- Les accélérateurs de durcissement : ils permettent d'obtenir de bonnes caractéristiques mécaniques à jeune âge afin de décoffrer rapidement et augmenter par conséquent la cadence de travail, en particulier en temps froid.
- Les entraîneurs d'air : ils favorisent la formation de microbulles d'air (agrégats fictifs) de façon homogène afin d'augmenter la résistance du béton aux cycles gel-dégel.
- Les hydrofuges de masse : ils permettent d'étanchéifier le béton, en colmatant les pores capillaires, ils trouvent leur utilisation dans la réalisation des réservoirs d'eau, piscines, bâche à eau [18].

1.2.3.5. Additions

Sont des matériaux minéraux finement divisés utilisés dans le béton afin d'améliorer certaines propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières [13].

- ✓ **Fumée de silice**

La fumée de silice est un sous-produit des usines de fabrication d'alliage de silicium et de ferrosilicium obtenu dans un four à arc électrique à partir de quartz de grande pureté et de charbon [8]. La fumée de silice est constituée de particules très fines, environ 100 fois plus petites que les grains de ciment (SSB= 20000 m^2/kg) [6]. La plupart ayant un diamètre compris entre 0.03 et 0.3 μm, le diamètre moyen habituel se situant en dessous de 0.1 μm [8].

- ✓ **Les cendres volantes**

Les cendres volantes sont appelées cendres pulvérisées de combustible. Elles sont recueillies à partir des installations de dépoussiérage électrostatique ou mécanique des fumées de centrale thermique de charbon. Les particules de cendres volantes sont sphériques et par conséquent avantageuses du point de vue de la demande en eau. Elles se présentent sous forme de poudre grise-noirâtre [19]. La densité est en général de 2.35 [8].

- ✓ **Le laitier granulé de haut fourneau (S)**

Le laitier granulé de haut fourneau est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidie par aspersion d'eau. C'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50%, de silice entre 25 et 35%, de l'alumine entre 12 et 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faible quantité. Tous ces éléments sont pratiquement les mêmes que ceux de clinker [6].

- ✓ **Schistes calcinés (T)**

Les schistes calcinés sont issus de roches sédimentaires ou métamorphiques obtenus à des températures de l'ordre de 800°C. En outre leurs propriétés pouzzolaniques présentent des propriétés hydrauliques lorsqu'ils sont finement broyés [6].

- ✓ **Pouzzolanes naturelles (Z)**

Les pouzzolanes naturelles sont des produits naturels issus des roches volcaniques ou des roches sédimentaires, composés essentiellement de silice $SiO_2 \geq 25\%$, alumine Al_2O_3 et oxyde ferrique Fe_2O_3, la somme des trois oxydes ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) doit être supérieure à 70% selon la norme ASTM C 618 [20].

- ✓ **Calcaire**

Les additions calcaires sont des produits secs finement divisés, obtenus par broyage et/ou sélection, provenant de gisement de roches calcaires pouvant être dolomitiques, massives ou meubles. Les fillers calcaires ajoutés au ciment doivent présenter une proportion de carbonate de calcium $CaCO_3$ supérieur à 75% en masse, une teneur en argile telle que l'absorption de bleu méthylène soit au plus de 1.2g pour 100g et une teneur en matière organique (T.O.C) au plus égale à 0.5% [6,21].

1.2.4. Propriétés du béton à l'état frais

1.2.4.1. L'ouvrabilité

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton, elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et de ferraillage [6].

a. Essai d'affaissement (slump test)- Norme NF EN 12350-2 [22]

Cet essai consiste à remplir un moule tronconique (D=20cm, d=10cm, h=30cm) en trois couches tassées par une tige d'acier de 16 mm de diamètre et d'extrémité arrondie. Le piquage est exécuté de l'ordre de 25 coups par couche. On soulève, ensuite, le moule avec précaution, puis, on mesure l'affaissement [6].

b. La masse volumique –Norme NF EN 12350-6 [23]

C'est un rapport, exprimé en Kg par m^3, de la masse d'une quantité de béton frais à son volume.

Il existe d'autres essais à l'état frais sur le béton autoplaçant :

- **Essai d'étalement (Slump flow) - Norme NF EN 12350-8 [24]**

L'essai d'étalement est l'essai normalisé le plus utilisé pour la mesure de l'ouvrabilité des bétons autoplaçants. Il consiste à remplir le cône d'Abrams de béton et à laisser s'étaler sous son propre poids. Le diamètre d'étalement mesuré renseigne sur l'ouvrabilité du béton (généralement fixées dans la fourchette de 600 à 750 mm).

- **Essai de la boite en L (L box) – Norme NF EN 12350-10 [25]**

Cet essai permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage au droit des armatures.

- **Essai de l'entonnoir en forme de V - Norme NF EN 12350-9 [26]**

Cet essai consiste à mesurer le temps d'écoulement du béton dans un espace limité, il permet aussi d'évaluer la stabilité du béton lors de l'écoulement.

- **Essai de la stabilité au tamis - Norme NF EN 12350-11 [27]**

L'essai de stabilité au tamis vise à qualifier et évaluer les bétons vis-à-vis du risque de ségrégation et de ressuage.

1.2.5. Propriétés du béton à l'état durci

1.2.5.1. La résistance à la compression

La résistance du béton est généralement considérée comme la plus importante propriété bien que, dans de nombreux cas pratiques, d'autres caractéristiques telles la durabilité et la perméabilité peuvent en fait être plus importantes. Néanmoins, la résistance projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté. De plus, la résistance du béton est presque invariablement l'élément clef lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité
[8].

1.2.5.1.1. Facteurs influençant sur la résistance à la compression

- ✓ **Type du ciment**

Le ciment est l'élément qu'a la plus grande influence sur la résistance du béton. Il intervient principalement par la composition chimique du clinker, les ajouts éventuels (laitier, cendre volante, pouzzolanes, etc.) et la finesse [28]. Différents types de ciment existent sur le marché, et le choix d'un type, est conditionné par les performances souhaitées du béton (performances mécaniques, délais de prise, durabilité, etc.). La figure 1-1 montre l'évolution des résistances en compression d'un béton gâché avec trois ciments de nature différente.

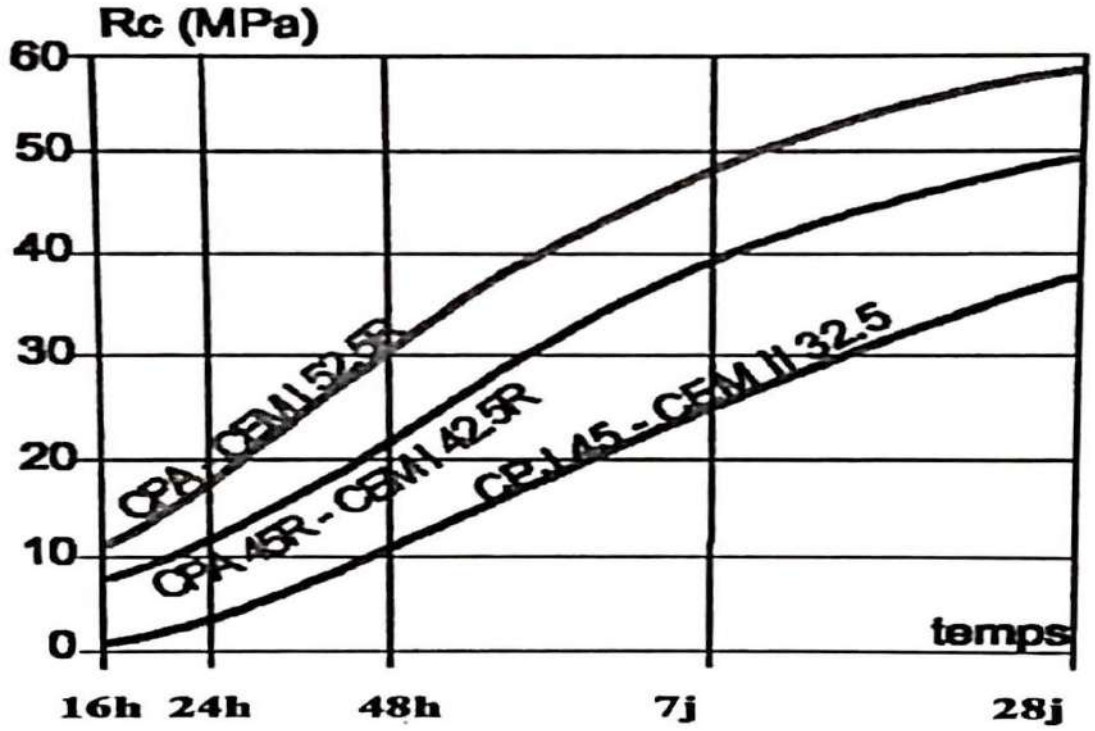


Figure 1-1 : Influence de la nature du ciment sur l'évolution des résistances en compression du béton [28].

Pratiquement, les résistances du béton croissent linéairement en fonction de la finesse de mouture du liant, surtout aux jeunes âges [28]. La figure 1-2 montre l'évolution de la résistance en compression du béton en fonction de la finesse du ciment.

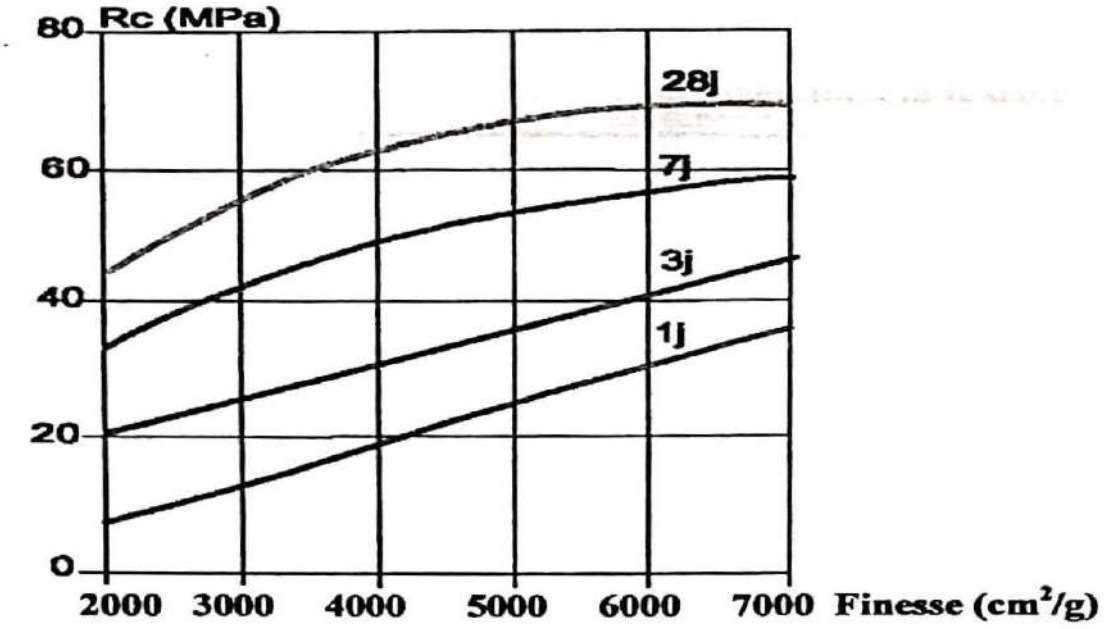


Figure 1-2 : Evolution de la résistance à la compression du béton en fonction de la finesse du ciment [28].

BENIA [29] a étudié l'effet de la finesse de mouture de trois différents types CPJ CEM II (Sour-El-Ghozlane, Ain-El-Kébira et Hadjar-Soud) sur la résistance mécanique à la compression du béton il a constaté que cette dernière croit avecf l'augmentation de la finesse des ciments utilisés (figure 1-3).

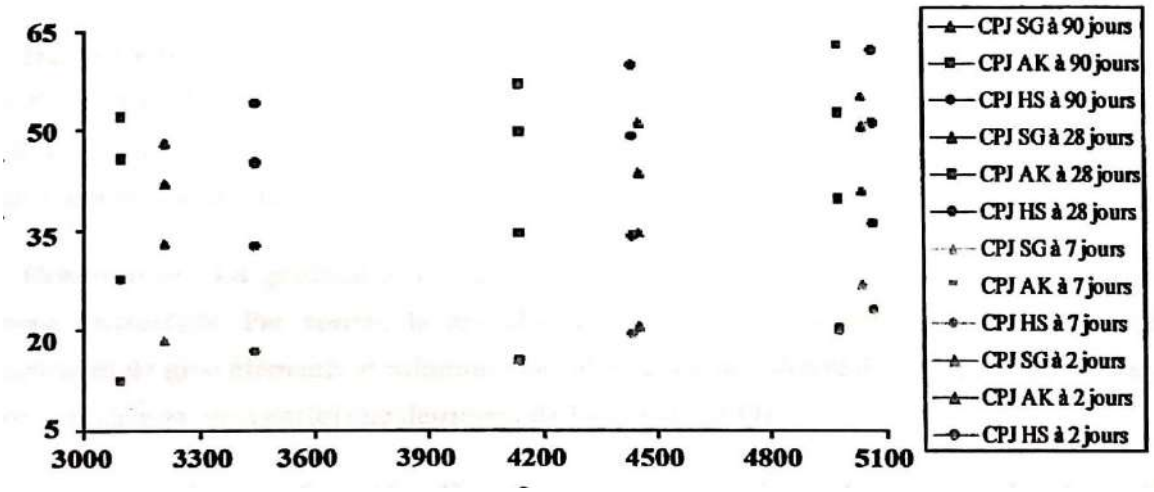


Figure 1-3 : Evolution de la résistance à la compression du béton en fonction de la finesse du ciment [29].

La qualité du ciment est traduite par sa classe de résistance, qui est un paramètre déterminant pour la résistance du béton. Plus celle-ci est élevée plus la résistance du béton l'est également. Elle est mesurée à 28 jours sur des éprouvettes de mortier normalisé. On

distingue trois classes de résistance 32.5, 42.5 et 52.5 [30]. Dans le cas d'une bonne maitrise de la production du ciment l'écart type de la résistance pour un ciment portland ordinaire fourni par la même usine est 3 MPa [31].

D'après U.S. Bureau of réclamation [32], la figure 1-4 illustre la vitesse de développement de la résistance de bétons confectionnés avec un dosage unique de différents ciments. Alors que les vitesses de montée en résistance varient considérablement, on constate peu de différence de résistance entre tous ces ciments à 90 jours. A la figure 1-5, pour un même rapport E/C, Gonnerman et Lerch [33] ont constaté dans certains cas des différences plus importantes. Or, la tendance générale montre que les ciments à vitesse de durcissement peu élevée ont une résistance finale plus élevée. Par exemple, la figure 1-4 montre un ciment de type IV qui présente la plus faible résistance à 28 jours, mais développe la deuxième plus forte résistance à 5 ans. La comparaison des figures 1-4 et 1-5 démontre que les différences entre les ciments ne sont pas facilement quantifiables.

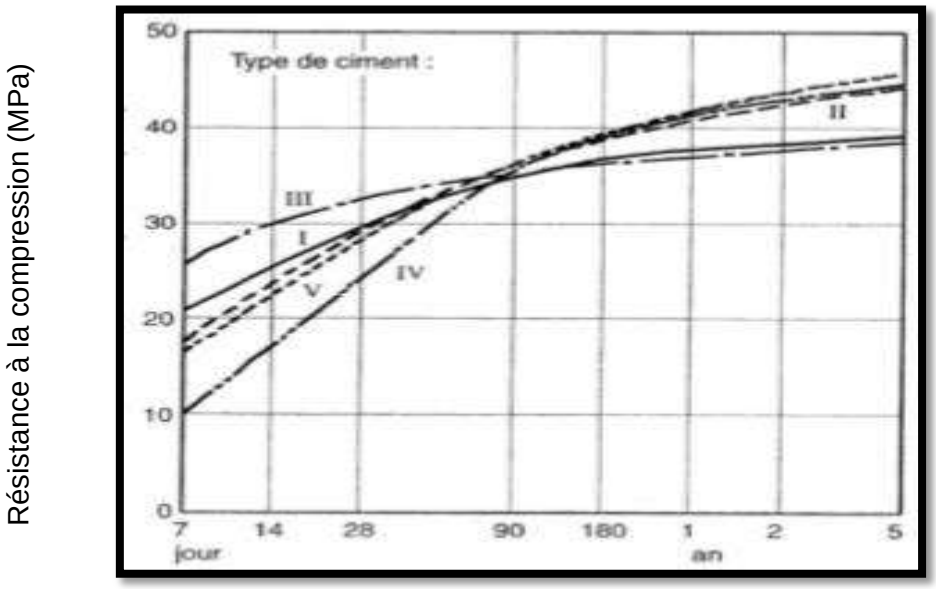


Figure 1-4 : Développement de la résistance de bétons confectionnés avec différents ciments pour un dosage de 335 kg/m^3 [32].

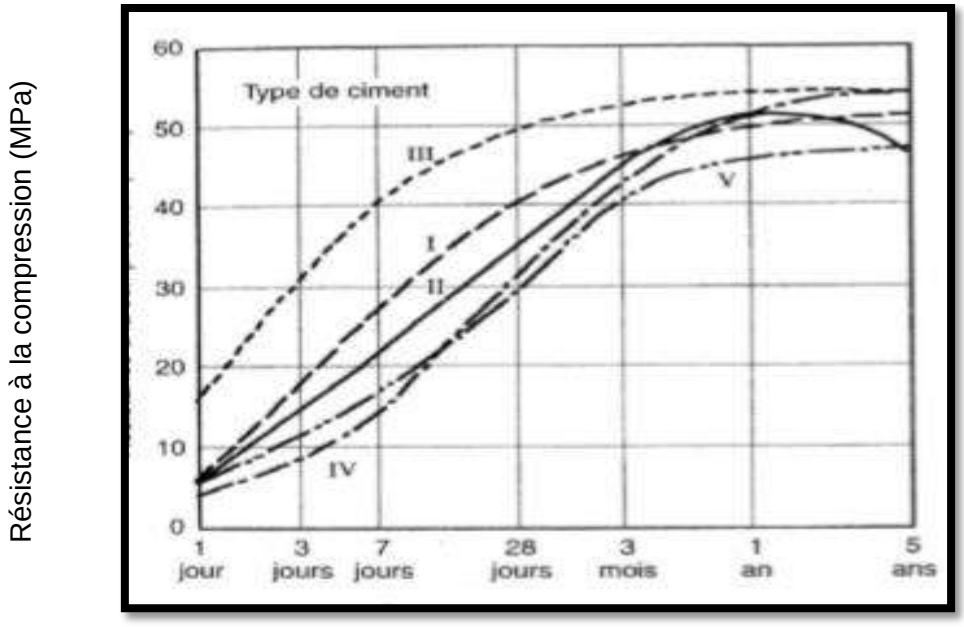


Figure 1-5 : Développement de la résistance de bétons de rapport E/C de 0,49 confectionnés avec différents ciments [33].

- ✓ **Les granulats**

Le choix des granulats est basé essentiellement d'une part sur la dureté satisfaisante et d'autre part sur l'adhésivité avec la pâte du ciment [34,6].

Il faut éviter d'employer les granulats en forme de plats ou d'aiguilles. Les granulats autres que sable, les plus recommandés sont ceux concassés assez durs, de taille moyenne, de bonne adhérence et de forme la plus cubique possible [35].

L'effet négatif de l'augmentation de la dimension maximale du granulat dans le béton s'applique à l'échelle de toutes les grosseurs, mais l'effet de la dimension des grains sur la diminution de la demande en eau est particulièrement important en dessous de 38,1 mm. Pour des dimensions supérieures, le bilan des deux effets dépend du dosage du béton [8], (figure 1-6).

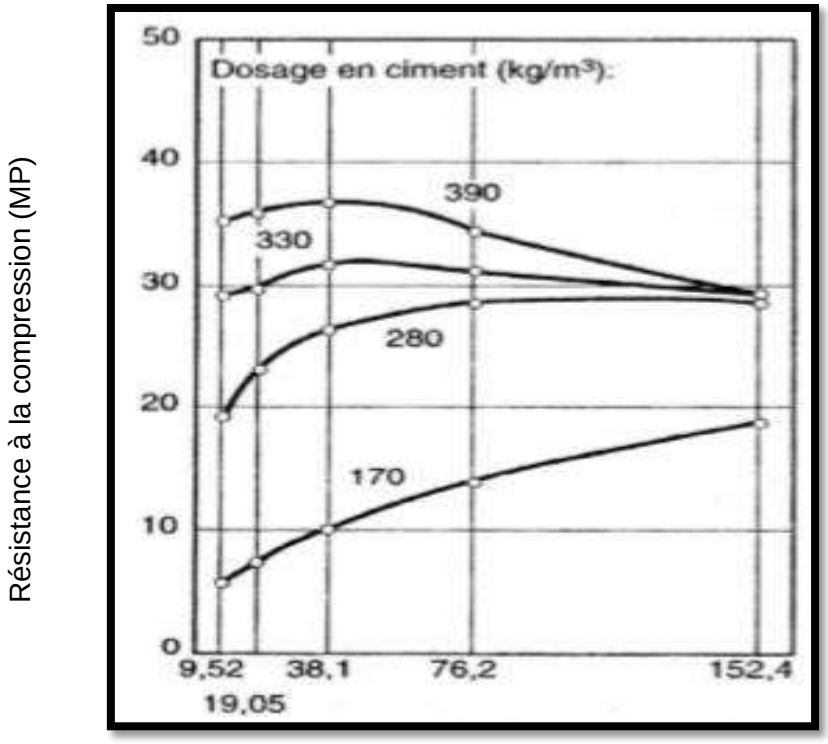


Figure 1-6 : Influence de la dimension maximale du granulat sur la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosages en ciment [8].

- ✓ **L'eau de gâchage**

La qualité de l'eau de gâchage doit être telle qu'aucune modification de la structure des matériaux ne soit possible. D'où elle doit être propre, ne contient pas des matières en suspension au-delà des valeurs suivantes [36] :

- 5 g/l pour les matières en suspension (vases, limons,etc.) ;
- 35 g/l pour les matières et sels solubles.

Les éléments critiques à surveiller dans l'eau de gâchage sont les chlorures, les sulfates, le magnésium et les matières organiques. Toute eau douteuse doit être soumise à l'analyse chimique.

- ✓ **Les adjuvants**

Un adjuvant a, en général, une fonction principale d'après laquelle il se trouve classé et défini, mais il peut présenter également certaines fonctions secondaires

La figure 1-7 illustre l'effet d'un adjuvant fluidifiant sur l'évolution de la résistance à la compression du béton.

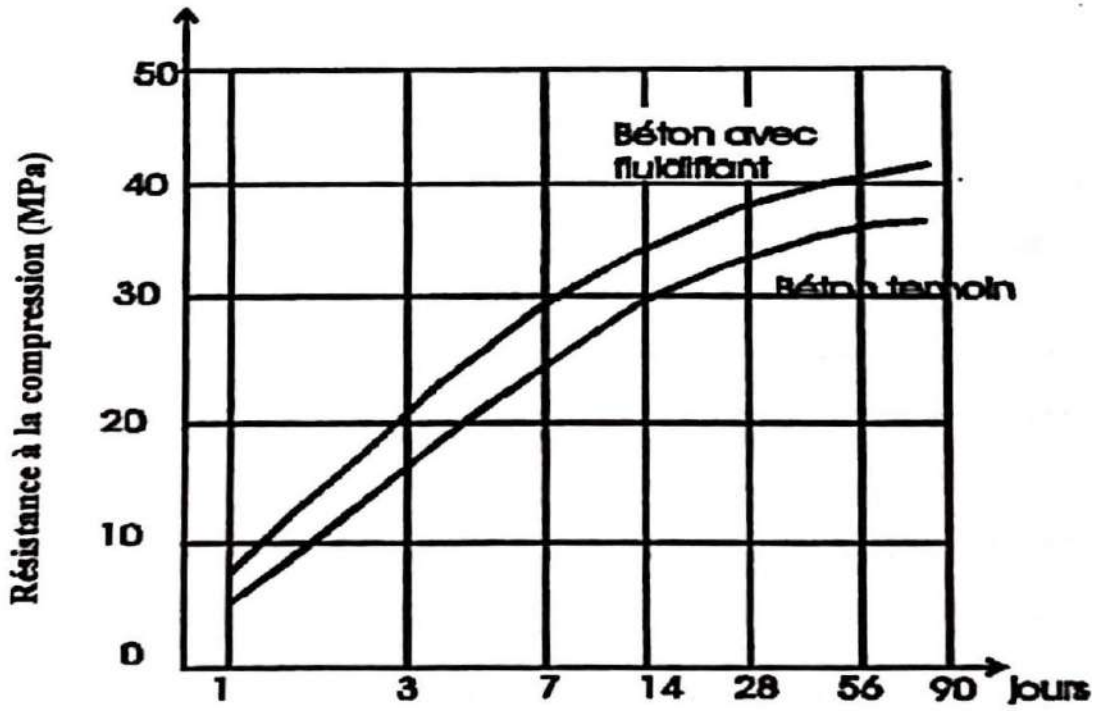


Figure 1-7 : Résistance en compression de deux bétons : un béton avec fluidifiant et un béton témoin sans adjuvant [37].

La figure 1-8 présente l'effet d'un adjuvant accélérateur de prise et d'un adjuvant retardateur de prise sur l'évolution de la résistance à la compression du béton.

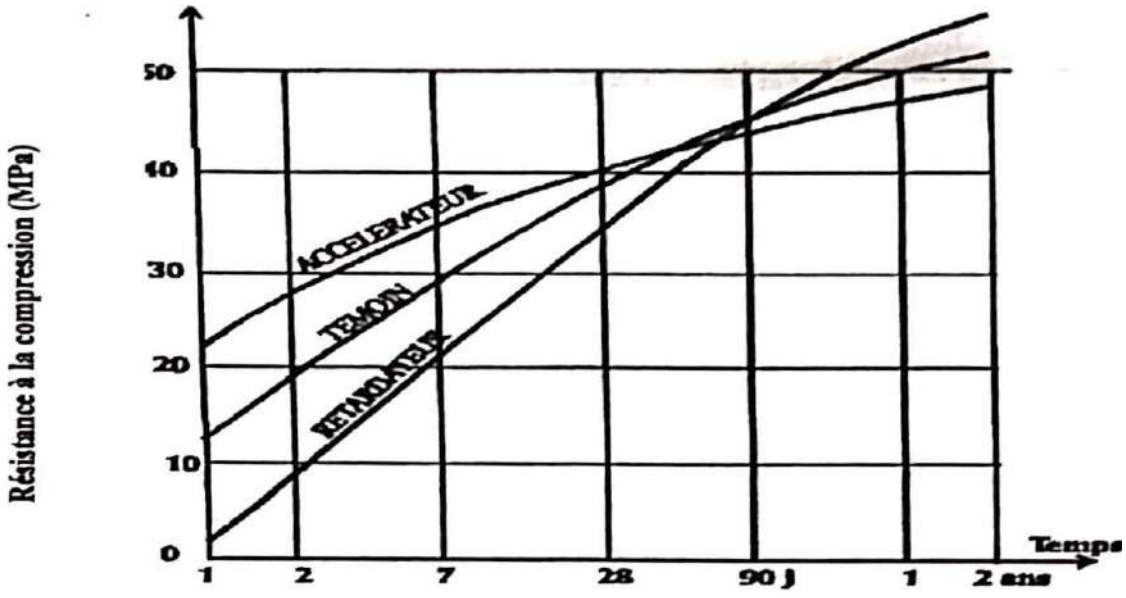


Figure 1-8 : Influence d'un accélérateur et d'un retardateur de prise sur l'évolution de la résistance du béton [38].

- ✓ **Rapport E/C**

La résistance d'un béton bien compacté, apparait comme étant inversement proportionnelle au rapport eau/ciment (figure 1-9). La résistance croit avec le dosage pondéral en ciment C, et décroit avec le dosage pondéral en eau E. C'est pourquoi le facteur E/C est déterminant pour la résistance du béton [8, 30, 35].

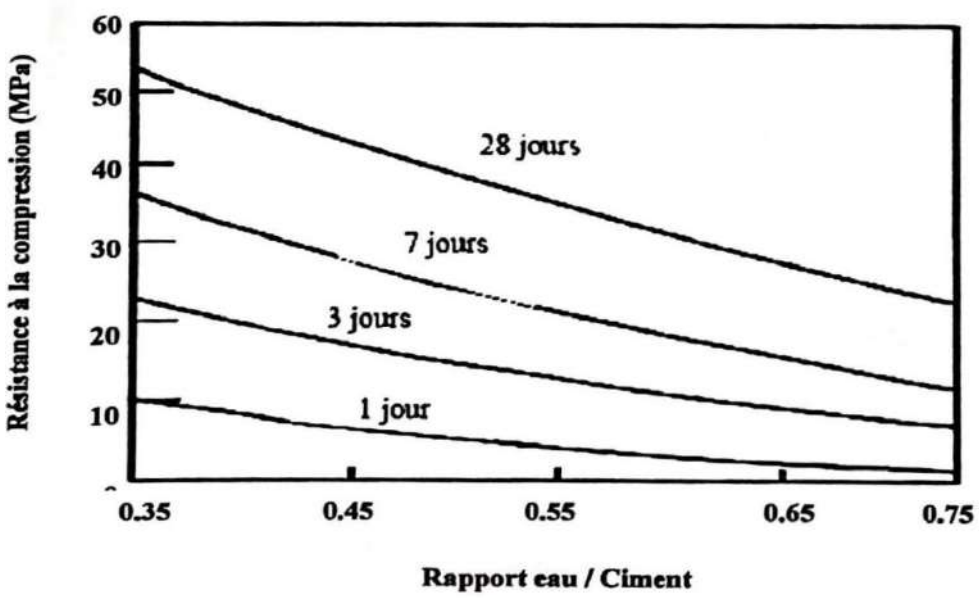


Figure 1-9 : Influence du rapport E/C sur l'évolution de la résistance à la compression du béton [39].

Pour obtenir des résistances à la compression élevées il faut augmenter le dosage en ciment et réduire la teneur en eau [28]. En revanche, les études faites par BOUKLI et A.L. [40], ont montré que pour un rapport E/C donné, les résistances à la compression ne semblent pas être affectées par le dosage en ciment (300 kg/m^3, 350 kg/m^3 et 400 kg/m^3), ceci est valable pour tous les rapports E/C examinés. Dans les conditions de l'étude, un dosage de 300 kg/m^3 reste suffisant et par conséquent économique. Le même résultat a été confirmé par BELOUADAH [41].

La figure 1-10 montre que la courbe représentant la résistance en fonction du rapport E/C a approximativement la forme d'une hyperbole. Cette relation est valable pour n'importe quel béton quels que soient le type de granulat et l'âge. La résistance est d'autant plus élevée que le rapport E/C diminue. Une des propriétés géométriques d'une hyperbole (y=k/x) est que la relation existant entre y et 1/x est linéaire. La relation entre la résistance et le rapport C/E est donc approximativement linéaire pour des valeurs du rapport C/E compris entre environ 1,2 et 2,5. Cette relation linéaire, tout d'abord suggérée par Neville [42], a été confirmée par

Alexander et Ivanusec [43] et par Kakizaki et col [44]. Cette relation est plus facile à utiliser que la courbe représentant le rapport eau/ciment, particulièrement lorsqu'une interpolation est nécessaire.

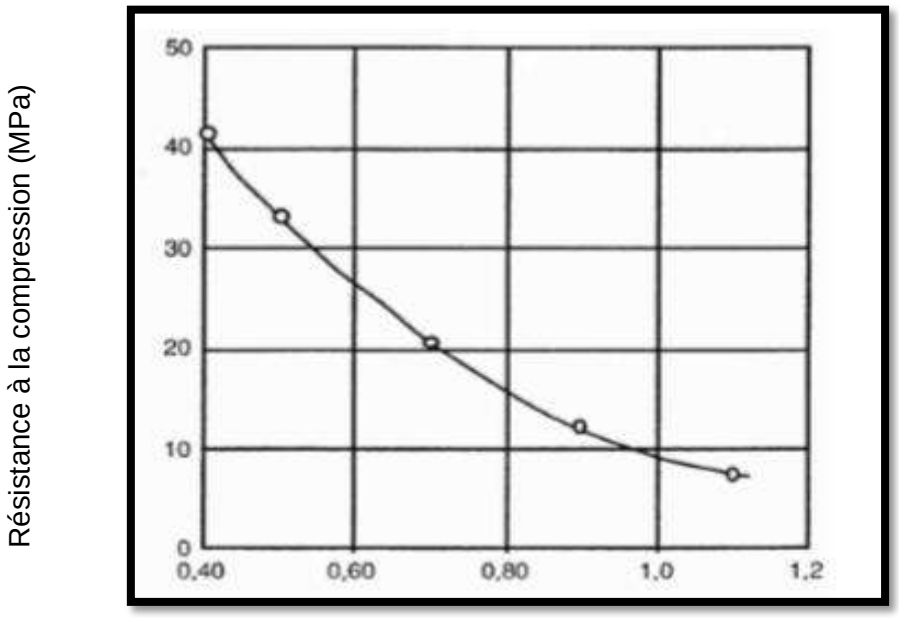


Figure 1-10 : Relation entre la résistance à la compression à 7 jours et le rapport E/C d'un béton confectionné avec un ciment portland à durcissement rapide [8].

Le rapport E/C conditionne aussi la porosité de la matrice cimentaire du béton durci, qui est un paramètre qui influe beaucoup sur la durabilité du béton [45].

- ✓ **Rapport granulat/ciment (G/C)**

La forte teneur en ciment des bétons, affecte la résistance moyenne ou très élevée, c'est-à-dire dépassant 35 MPa. Il n'y a aucun doute que le rapport granulat/ciment est un facteur de deuxième importance à la résistance, mais pour un rapport eau/ciment constant, il a été montré qu'un béton plus faiblement dosé, était plus résistant [8,46]. La figure 1-11, montre que pour un rapport E/C constant, un mélange pauvre en ciment conduit à une plus grande résistance.

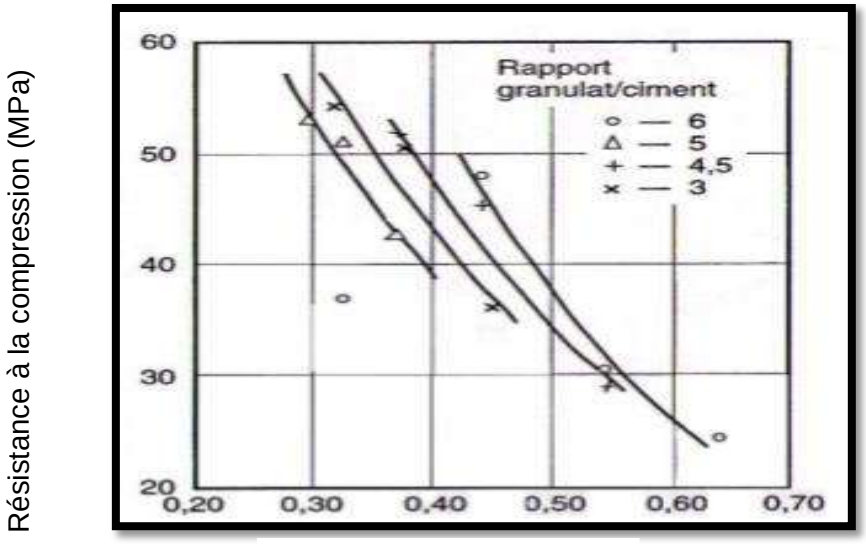


Figure 1-11 : Influence du rapport G/C sur la résistance à la compression du béton à 7 jours [8].

Les études portant sur l'influence de la teneur en granulats sur la résistance des bétons, pour une qualité de pâte de ciment donnée, indiquent que, lorsque le volume des granulats (exprimé en pourcentage du volume total) augmente de 0 à 20 %, il y a une diminution graduelle de la résistance à la compression alors que, entre 40 et 80 %, on constate une augmentation [47]. L'allure générale de ce comportement est représentée à la figure 1-12. Cette tendance se vérifie quel que soit le rapport eau/ciment [48].

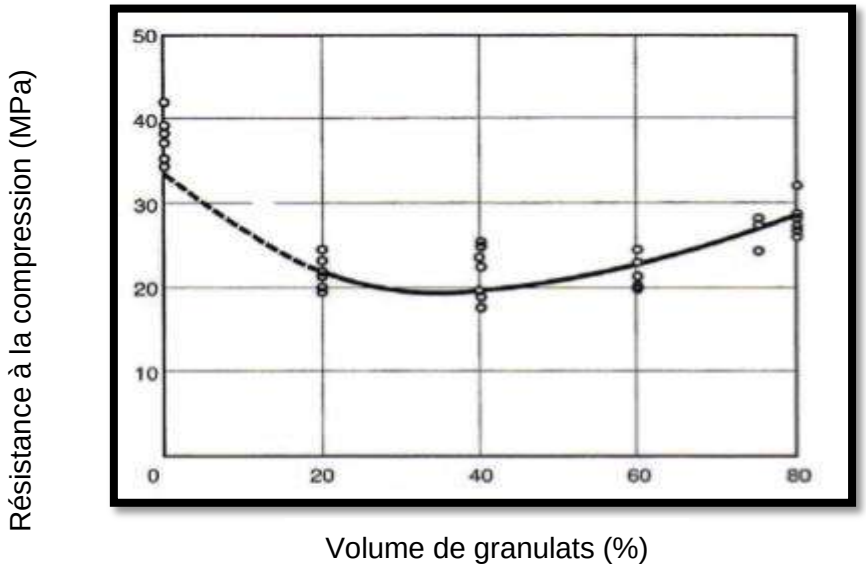


Figure 1-12 : Relation entre la résistance à la compression de cylindres de béton (10×30 cm) et le volume de granulats pour un rapport E/C constant de 0,5 [47].

Stock et col [47], ont aussi publié quelques expériences originales dans lesquelles ils ont réalisé une série de bétons avec différents volumes de granulats de même granulométrie, liés par la même matrice. Ils ont évité la ségrégation dans les mélanges fluides par une mise en rotation des moules après mise en place du matériau. Malheureusement, les essais de résistance à la compression sur les éprouvettes cubiques ont donné des résultats assez dispersés. Il est à noter que l'effet du granulat, qui n'est pas monotone, peut être modifié par une augmentation de l'air occlus quand l'ouvrabilité diminue [49].

- ✓ **Influence de l'âge**

Meyer [50], a montré que l'augmentation de la résistance (exprimée en pourcentage de la résistance à long terme) des bétons à faible rapport E/C est plus rapide que celle des bétons ayant un rapport E/C plus élevé (figure 1-13). Ceci s'explique par le fait que les grains de ciment sont plus près les uns des autres et que le réseau de gel continu s'établit plus rapidement.

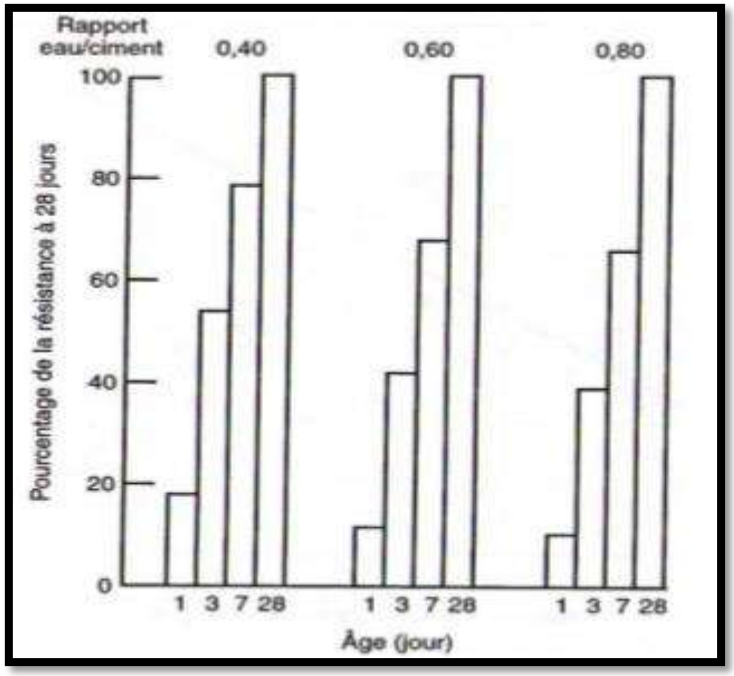


Figure 1-13 : Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire [50].

La figure 1-14 présente l'évolution de la résistance en fonction du temps pour des bétons de rapports E/C de 0,40, 0,53 et 0,71 confectionnés avec un ciment de type I en 1948 et conservés constamment dans l'eau [51].

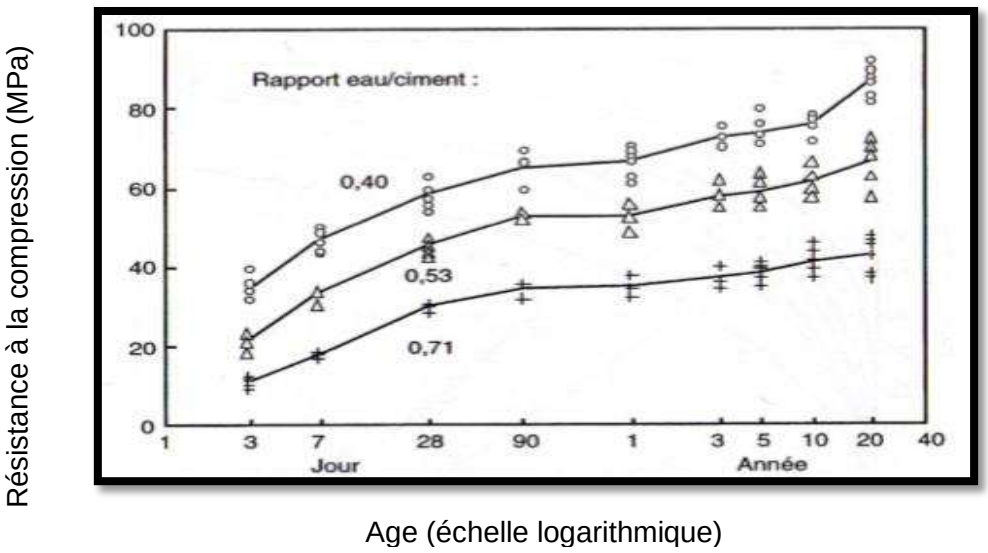


Figure 1-14 : Développement de la résistance d'un béton mesurée durant 20 ans sous condition de conservation humide [51].

- ✓ **Influence de la température**

L'influence de la température de fabrication puis de mûrissement du béton sur ses résistances à court et à long terme a fait l'objet de plusieurs études au cours des soixante dernières années. De façon générale, toutes ces études ([52], [53], [54], [55], [56], [57]) ont montré que : plus la température de fabrication et/ou de mûrissement est élevée, plus la résistance à court terme est élevée. Alors qu'à long terme, l'influence de la température est inversée, c'est à-dire que plus la température initiale est élevée, moins bonnes sont les résistances.

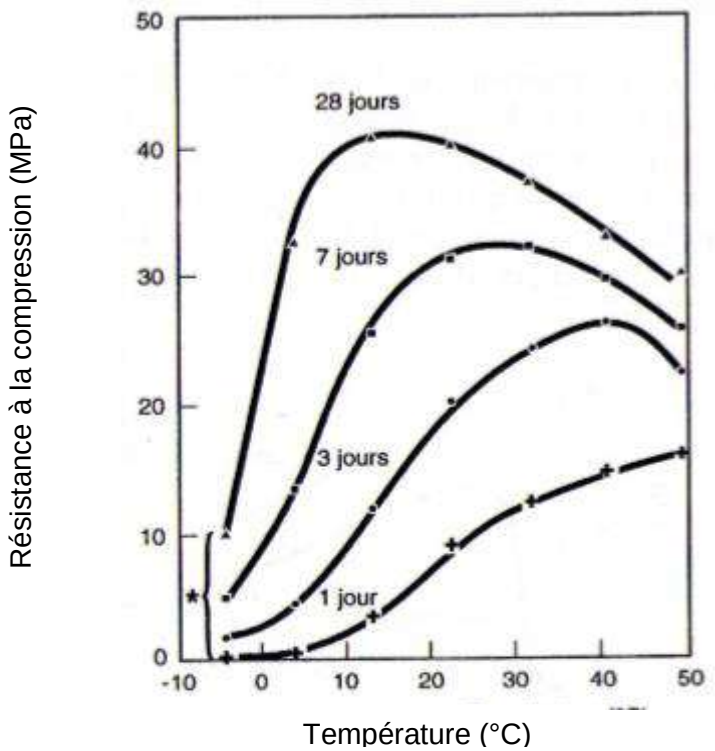


Figure 1-15 : Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances [52].

1.2.5.2. La résistance à la traction

La résistance à la traction unie axiale (ftj) est le second paramètre caractérisant le béton après la résistance à la compression (fcj). On peut l'obtenir expérimentalement avec trois types d'essais [58] :

a. Essais de traction par flexion- Norme NF P 18-407 [59]

Pour effectuer nos essais de traction par flexion, on a procédé à l'essai sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (10 x 10 x 40 cm^3) mûries à l'eau, La résistance à la traction t 28 f obtenue à 28 jours provient de la moyenne des résultats sur trois échantillons. L'appareil utilisé est une presse hydraulique de flexion dont la capacité maximale est de 150kN en cisaillement.

L'expression des résultats pour exprimer la contrainte de rupture en traction par flexion, sera donnée par la relation ft=1.8F/axa (en MPa), où F est la charge de rupture, et a le coté de la base en mm.

b. Essai par fendage-Norme NF P 18-408 [60]

L'essai brésilien il consiste à rompre un cylindre entre les plateaux d'une presse de compression suivant deux génératrices opposées. Le contact des plateaux de la presse avec

l'éprouvette est réalisé par l'intermédiaire de réglettes de contre-plaqué de 5 mm d'épaisseur et de largeur égale au 1 /10 du diamètre de cylindre.

c. Essai de traction direct Norme NF P 18-408 [61]

Cet essai est réalisé sur des éprouvettes cylindriques, cubiques et consiste à appliquer à chacune des extrémités de l'éprouvette un effort de traction parfaitement centré afin d'éviter l'apparition d'un moment de flexion parasite.

1.2.5.2.1. Facteurs influençant sur la résistance à la traction

Le comportement mécanique du béton à la traction est moins étudié que la compression car d'une part le béton est conçu essentiellement pour résister à la compression, et d'autre part, dû à son comportement quasi fragile [62].

- ✓ **Type de granulats**

Comme les trois quarts du volume d'un béton sont occupés par les granulats, il n'est pas étonnant que la qualité de ces derniers revête une grande importance. Non seulement les granulats peuvent limiter la résistance du béton, mais selon leurs propriétés, ils affectent la durabilité et les performances structurelles du béton.

La contrainte à partir de laquelle se développent les fissures dépend en grande partie des propriétés des gros granulats : elle est plus faible lorsque les granulats présentent une surface lisse contrairement à ce que l'on obtient avec des granulats concassés de surface rugueuse, sans doute parce que l'adhérence est influencée par les propriétés de surface, et par la forme des granulats [63].

Les propriétés des granulats influencent aussi la charge de fissuration et la charge de rupture lorsque le béton est sollicité en flexion et en compression. Dans le cas des bétons à haute performance, la forme et la texture du granulat influencent relativement moins la résistance de rupture à la compression que la résistance à la traction [7], la première étant beaucoup plus dépendante de la résistance à la compression des granulats. Pour des bétons de laboratoire, l'utilisation de granulats dont la surface est lisse conduit à des résistances à la compression d'environ 10 % inférieures à celles obtenues avec des granulats de surface rugueuse [64]. L'influence du type de gros granulats sur la résistance du béton est fonction du rapport E/C. Pour des rapports E/C inférieurs à 0,40, les résistances obtenues peuvent être majorées de près de 40 % lorsque des granulats concassés sont utilisés plutôt que des graviers roulés.

- ✓ **Dosage en granulats**

Il n'y a aucun doute que le rapport G/C est un facteur de deuxième importance quant à la résistance, mais, pour un rapport E/C constant. Dans certain cas, une partie de l'eau peut être absorbée par le granulat : plus il y a de granulats, plus la quantité d'eau absorbée par ces derniers est importante, ce qui contribue à réduire le rapport E/C réel du béton. Dans d'autres cas, une plus forte teneur en granulats contribue à diminuer le retrait et le ressuage, ce qui diminue les désordres dans les liaisons granulats et pâte de ciment. L'explication la plus probable provient toutefois du fait que la teneur totale en eau par mètre cube de béton est plus faible dans un béton faiblement dosé en ciment que dans un béton fortement dosé.

Les études portant sur l'influence de la teneur en granulats sur la résistance des bétons, pour une qualité de pâte de ciment donnée, indiquent que, lorsque le volume des granulats (exprimé en pourcentage du volume total) augmente de 0 à 20 %, il y a une diminution graduelle de la résistance à la compression alors que, entre 40 et 80 %, on constate une augmentation. L'influence du volume des granulats sur la résistance à la traction est pratiquement identique à celle observée sur la résistance à la compression [65].

La liaison entre les granulats et la pâte de ciment est un facteur important pour la résistance des bétons, spécialement celle à la traction. La liaison est engendrée en partie par l'imbrication des granulats et de la pâte de ciment hydraté due à la rugosité de la surface des granulats. Une surface plus rugueuse, comme les granulats concassés, génère une meilleure liaison en raison de l'imbrication mécanique.

- ✓ **Forme des granulats**

Les granulats concassés ont une rugosité supérieure à celle des granulats roulés, ce qui favorise l'adhérence entre la pâte de ciment et le granulat et ainsi donne une meilleure résistance ; le gain en compacité des formes arrondies étant contrecarré par la mauvaise adhérence des granulats roulés (sphérique). Cependant les formes très anguleuses chez les granulats concassés « poinçonnent » la pâte de ciment en présence de chargement externe et les granulats roulés sont préférables de ce point de vue. Une angularité accentuée demande aussi beaucoup d'eau pour être maniable. Ainsi pour le BHP le granulat idéal doit être concassé, propre, de forme cubique, à angularité réduite et contenant le moins possible de particule plates ou allongées du fait de la faible résistance au plan de fissuration de ces dernières [66, 67].

- ✓ **Influence de la température**

La plupart des observations de l'évolution de la résistance à la traction en fonction de la température sont réalisées par fendage après le refroidissement [68]. Des essais de traction

directe, après l'expansion à haute température et refroidissement ont été réalisés par Noumowé [69].

1.2.5.3. L'absorption capillaire

L'absorption est la tendance du béton de prendre l'eau en absence d'une pression hydraulique externe. Ceci est censé se produire presque totalement dans les pores capillaires en dehors du gel. L'eau liquide est triée dans ces pores par la tension superficielle, juste comme l'eau se lèvera dans un capillaire de verre. L'absorption est le mécanisme principal par lequel le béton sec ou partiellement sec prenne l'eau. Si l'eau contient des produits chimiques nocifs, ceux-ci pénètrent également dans le béton [70, 71].

1.2.5.4. La porosité

La porosité est une propriété volumétrique représentant le contenu des pores qui ne sont pas nécessairement interconnectés. La porosité du béton et de la pâte de ciment hydraté gouverne de nombreuses propriétés du béton, comme les caractéristiques mécaniques, la perméabilité (eau, ions, gaz) et la durabilité. Plus la porosité diminue, plus les propriétés mécaniques augmentent et plus la perméabilité diminue [72].

1.2.5.5. La conductivité thermique

La conductivité thermique λ ([$W.m^{-1}.K^{-1}$] ou [$J.s^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$]) est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors des transferts thermique : c'est-à-dire la capacité d'un milieu à diffuser la chaleur sans mouvement macroscopique de matière, cette diffusion étant assurée de proche en proche par le transfert d'énergie d'un atome à son voisin. La conductivité thermique représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et de temps sous un gradient de température de 1 $K.m^{-1}$[73].

1.2.5.6. Le retrait

C'est un phénomène de raccourcissement qui accompagne la prise de ciment d'un élément de béton libre de toute sollicitation mécanique externe. Cette variation de volume est causée

par la réduction du volume de béton par l'évaporation de l'eau de gâchage. Mais il existe plusieurs types de retrait, qui peuvent avoir lieu simultanément ou successivement.

a. Le retrait plastique

L'hypothèse généralement admise est que le retrait plastique est engendré par la dépression capillaire qui se développe lorsque des ménisques se forment dans les capillaires du béton frais [74].

Au début, l'eau de gâchage n'est pas encore liée aux constituants des ciments ; elle n'est retenue que physiquement et mécaniquement. Donc une partie de l'eau de gâchage départ plus ou moins facilement, soit par évaporation, soit par absorption du support (coffrage en bois trop sec) ou par des granulats poreux également non humidifiés (cas du béton de granulats légers). Un point caractéristique de ce retrait particulier est qu'il se produit pendant un temps limité. La déformation apparaît dès que la surface exposée est exempte d'eau de ressuage. En atmosphère calme (vent faible), le début de la période de retrait plastique coïncide avec le début de prise qui est aussi la fin du ressuage [70].

Ce retrait est d'autant plus important que pour les éléments de structure présentant un rapport surface / volume important, les éléments où la prise est lente (une température ambiante basse, un excès d'eau de gâchage ou l'utilisation d'adjuvant retardateur), et dans le cas où la dessiccation est forte (une hygrométrie sèche, l'action du vent et une température du béton élevée).

b. Retrait d'auto-dessiccation

Retrait d'auto-dessiccation désigne la contraction, isotherme, observée sur une éprouvette de béton en cours d'hydratation et protégée de tout échange d'eau avec le milieu extérieur. Ce retrait augmente lorsque le rapport E/C diminue, il peut dépasser 10-4 en déformation linéaire après quelques jours de conservation [70].

Ce retrait provient d'un phénomène (d'auto – dessiccation) de la patte de ciment au cours de son hydratation, le volume des hydrates formés est plus petit que le volume de l'eau du ciment initial. Cette diminution de volume représente environ 18% du volume de ciment anhydre consommé par l'hydratation .Elle engendre la création de vides gazeux à l'intérieure de la porosité de la patte de ciment, donc la création de ménisques et de tractions capillaires interne, comme s'il s'agissait d'une dessiccation avec départ d'eau à l'extérieure. Ce phénomène

prend de l'importance avec les bétons à hautes et à très hautes performances quand les rapports E/C sont de l'ordre de 0,3 (Figure 1-16).

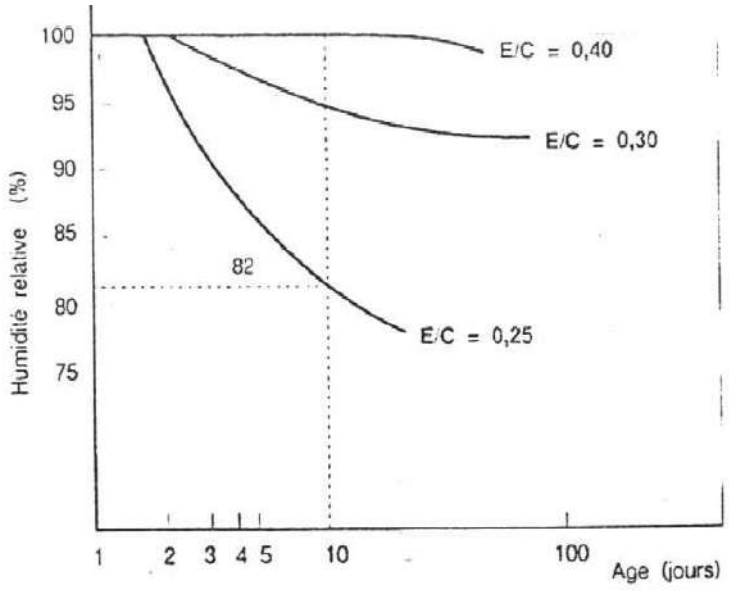


Figure : 1-16 : Auto-dessiccation de la pâte de ciment en court d'hydratation, d'après WITTMANN F.H [74].

c. Retrait de dessiccation (retrait de séchage)

La déformation de retrait de dessiccation est la réponse mécanique d'un matériau soumis au séchage. Le retrait de dessiccation est provoqué par un départ de l'eau libre du béton lorsqu'il est mis au contact avec un milieu dont l'humidité relative est inférieure à celle du matériau. Du fait de la faible perméabilité du matériau, un retrait de dessiccation différentiel est provoqué par le gradient hydrique existant entre l'intérieur et la surface de la pièce du au séchage [75].

Le retrait de dessiccation se développe lentement parce qu'il dépend de la diffusion hydrique dans le béton. Le retrait de dessiccation est à l'origine de gradients hydriques qui créent des fissures de la surface. L'ouverture des fissures induites par le séchage varie essentiellement suivant l'intensité de retrait et la géométrie de la structure. Plus les fissures seront profondes et plus leur espacement sera grand. Si ces fissures pénètrent jusqu'à l'armature, elles deviennent un risque pour la durabilité et elles peuvent réduire la vie d'un élément s'il est située dans un environnement agressif [75].

d. Retrait thermique

Il est dû à des baisses de température provenant soit du ciment lui-même lors de l'hydratation aux premiers âges suivie de son refroidissement, soit des variations climatiques du milieu qui peuvent être plus ou moins importantes et plus ou moins rapides. Lors de l'élévation de la température, on peut avoir une expansion thermique.

En général, le retrait thermique total qui s'additionne à un éventuel retrait hydraulique est important que l'expansion thermique.

Ce retrait est donné par la formule : $R_{th}=\alpha\Delta\theta$.

Avec $\Delta\theta$= différence de température.

α : coefficient de dilatation thermique (varie de 7 à 14 µ/m°C).

Les fissures observées sur les ouvrages massifs ou même à partir d'une épaisseur de 10 à 20 cm sont le plus souvent des fissures de retrait thermique [76,77].

e. Retrait par carbonatation

Le retrait par carbonatation nous signifions la réaction de CO_2 avec le ciment hydraté. En présence d'humidité, CO_2 forme acide carbonique qui réagit avec $Ca(OH)_2$ produit lors de l'hydratation du ciment pour former du ciment $CaCO_3$, cette réaction est appelée carbonatation.

Ce retrait atteint une valeur maximale lorsque le béton est en état d'équilibre dans un environnement où l'humidité relative (HR) est de 50%. Mais pas à 100% ou 25%. Dans le cas dernier, il y a de l'eau insuffisante dans les pores de la patte du ciment pour former de l'acide carbonique. De l'autre côté. Quand les pores sont pleins de l'eau la diffusion de CO_2 dans la patte est très lente [77].

1.2.5.7. Facteurs influant sur le retrait

- ✓ **Humidité relative de l'environnement**

Lors de séchage du béton la première eau à être évaporé n'engendre aucun changement de volume, on estime qu'il s'agit de l'eau libre contenue dans des pores capillaires de grandes dimensions. A mesure que le séchage progresse, le retrait devient plus important (figure 1-17).

D'après Joisel [77] à 100% d'humidité relative, il n'y a pas de retrait (ni de gonflement, à condition d'utiliser un liant parfaitement stable).Selon Joisel [77], le retrait serait proportionnel à :

$$(1\text{-}n)^{0,7}$$

Avec n : degré hygrométrique moyen (n serait donc égal respectivement à 0,5; 0,6 et 1 dans une atmosphère à 50%, 60% et 100% d'humidité relative respectivement) [78].

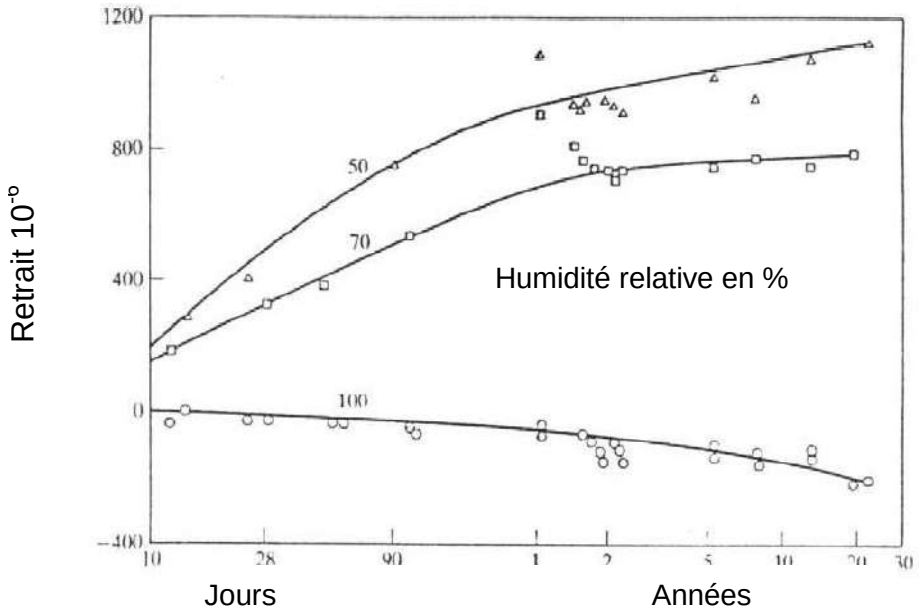


Figure : 1-17 : Relation entre le retrait et le temps d'exposer aux différentes humidités relatives [79].

D'après LERCH [77] :<<toutes choses égales par ailleurs, la perte d'eau du béton passe de 1 à 10 pour un vent croissant de 0 à 40 Km/h, de 1 à 9 pour une humidité relative,

tombant 90 à 10% et de 1 à 7 pour des températures de béton et de l'aire allant de –10 à +38°C >>.

Brooks et Al - Quarra [80] ont trouvé que le retrait à 68% d'humidité relative égal 1,6 le retrait déterminé à 80% d'humidité relative.

- ✓ **La période de cure**

La cure permet de conserver l'humidité et la température du béton, et protéger le béton frai contre l'évaporation rapide d'eau, et donc favorise l'hydratation du ciment et le développement de la résistance du béton dans le temps.

De LARRARD a trouvé [81], a trouvé, qu'une cure non surveillé conduit à la fissuration superficielle du béton, notamment dans les dalles.

La figure ci-dessous (figure 1-18) montre l'influence de la période de la cure sur l'évolution de retrait dans le temps.

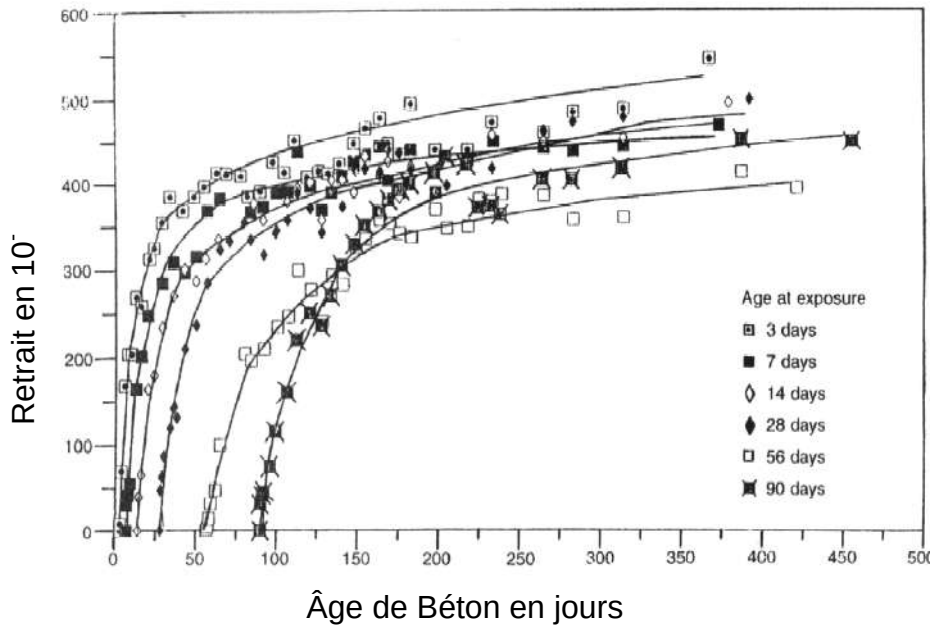
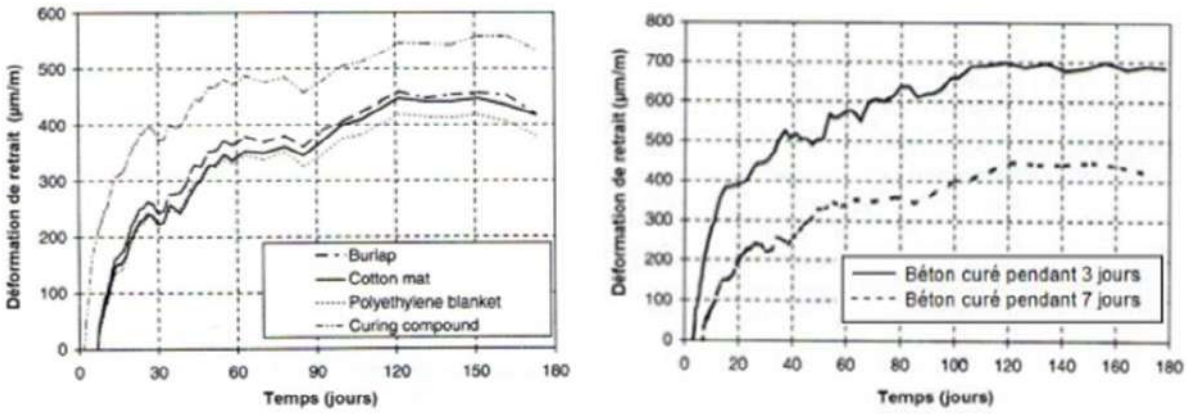


Figure : 1-18 :L'effet de la période de la cure sur le développement du retrait dans le temps [80].

Huo et Wong [82] ont montré que les techniques de la cure ont une influence considérable sur le retrait de béton de haute performance (Figure 1-19). L'application de la cure après le

démoulage pourrait aider à retenir l'humidité dans le béton, de cette façon la probabilité de fissuration du béton sous l'effet de retrait de séchage diminue. Quand le béton est bien protégé les particules du ciment continuent à réagir avec l'eau ce qui développe la résistance du béton contre la contraction et par conséquence les potentielles des fissures ou de microfissures diminuent [16].



(a) (b)

Figure 1-19 : Effet de la cure sur le retrait [82].

(a) – Effet de technique

(b) – Effet de la période

- ✓ **Type et classification des granulats**

Le retrait du ciment dû au séchage ne représente qu'une partie de celui du ciment pur parce que les particules de granulat non seulement diluent la pâte, mais la renforcent contre la contraction. Le béton de schiste expansé entraîne un retrait un tiers plus important que celui du granulat courant. La grenaille de fonte provoque d'un autre côté un retrait un tiers plus faible que celui du béton ordinaire [77]. Les propriétés élastiques des granulats déterminent, d'une manière générale, le degré de contrainte offert. Le retrait dépend aussi de la forme des granulats (les granulats concassés donneraient un retrait un peu plus élevé celui des granulats roulés) [83], un granulat plus gros permet l'emploi d'un mélange contenant moins de ciment et par suite sujet à un moindre retrait.

Le retrait des granulats eux-mêmes peut jouer un rôle extrêmement important dans la détermination du retrait du béton, comme dans le cas de certains grés à grains fins (ardoises, basaltes).

Les bétons qui contiennent du quartz, du calcaire, du gravit ou du feldspath présentent un faible retrait [77].

Selon Neville et J. Brooks [79] le retrait du béton sh_c dépend de retrait de la pâte de ciment sh_p et de pourcentage des granulats g (figure 1-20).

$$sh_c=sh_p(1-g)^n$$

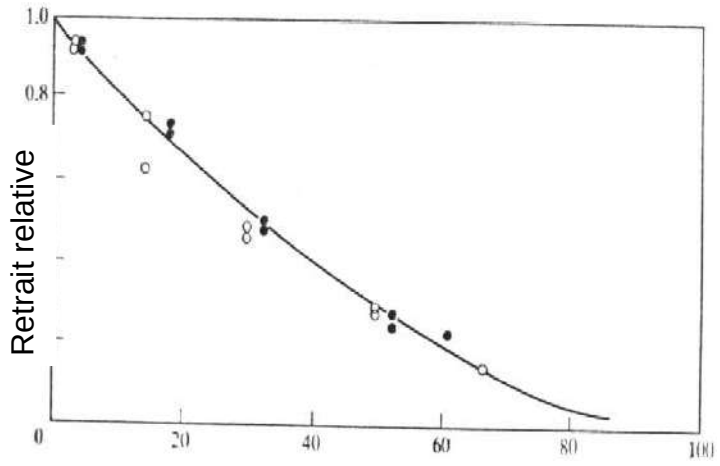
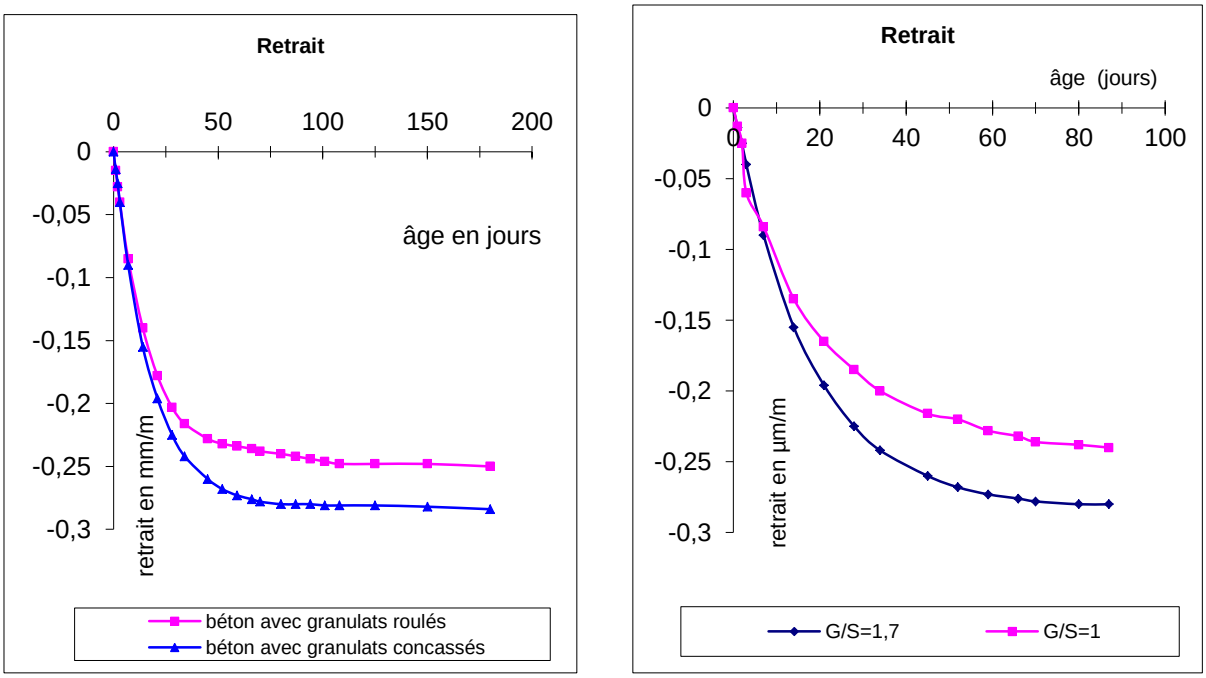


Figure : 1-20 : Influence de dosage des granulats sur le rapport retrait de béton/retrait de la pâte ciment [79].

Le retrait du béton dépend aussi du rapport Gravier/Sable (G/S), et de type des granulats (granulats granitiques concassés – granulats sélico-calcaires roulés), comme il est montré dans la figure 1-21



(a) **(b)**

Figure : 1-21 : Effets des granulats sur le retrait [78].

(a)- effet de type des granulats (granulats concassées granitique - granulats sélico- calcaires roulés).

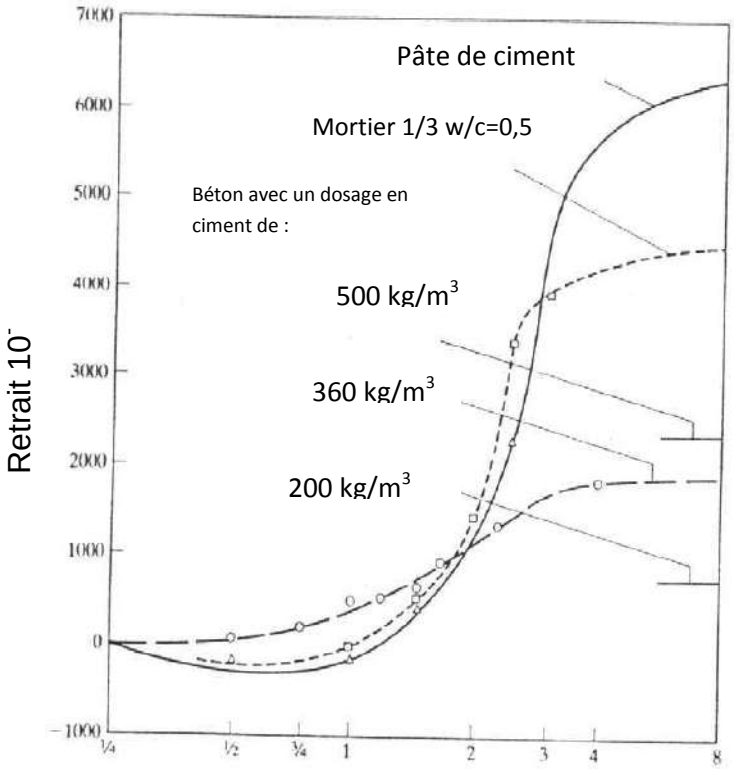
(b) - effet du rapport Gravier/Sable.

✓ Teneur en eau et en ciment (rapport E/C)

La teneur en eau probablement le facteur le plus important parmi les paramètres qui dépend de la composition du béton exerçant une influence sur le retrait de béton, une teneur plus élevée en ciment augmente le retrait du béton ; la relation entre les retraits de la pâte de ciment pure, du mortier et du béton est de l'ordre d'environ 5, 2, et 1 pour les matériaux donnés, cependant, et pour une teneur uniforme en eau, le retrait du béton varie peu pour un large écart de teneurs en ciment ; un mélange plus riche présente un rapport eau /ciment plus faible, et ces facteurs se compensent mutuellement [84].

Tableau 1-1: L'effet de dosage en ciment sur le retrait [77].

Temps	7 jours	28 jours	360 jours	1000 jours
Pâte pure (4*5*16 cm)	800	1300	1850	1900
Mortier 1/3 (4*4*16 cm)	350	650	800	850
Béton 0/20 mm dosé à 350 kg/m^3 - (7*7*28 cm)	130	270	420	450



Temps depuis le début de retrait heures

(Échelle logarithmique)

Figure : 1-22 : Effet de dosage de ciment sur retrait plastique [79].

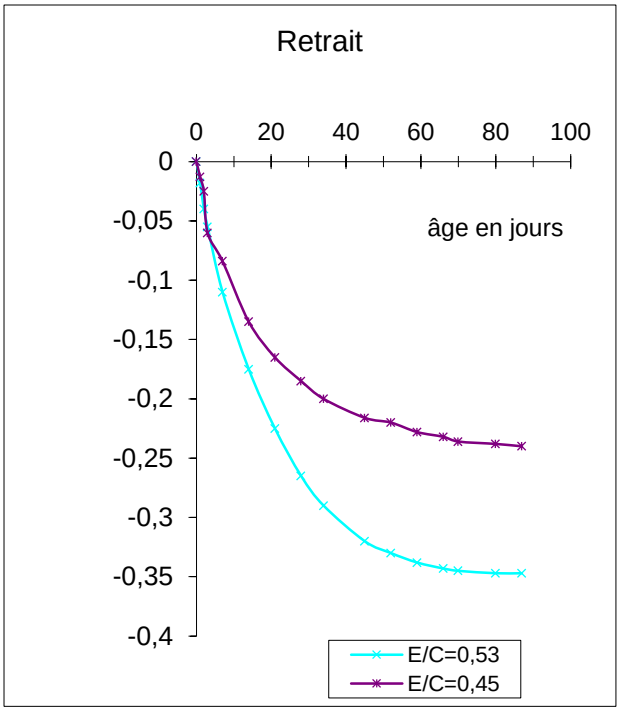


Figure : 1-23 : Effet de rapport E/C sur le retrait plastique [85].

Brooks [86] a montré que le retrait d'une pâte de ciment hydraté est proportionnel au rapport E/C lorsque celui-ci reste compris entre 0,20 et 0,60 alors que pour de faibles valeurs (cas de BHP), le retrait endogène est plus élevé. En plus, le retrait du béton augmente avec l'augmentation du volume de la pâte de ciment (Figures 1-24et 1-25). Pour un même rapport E/C, il existe une relation linéaire entre les deux [86, 87, 88].

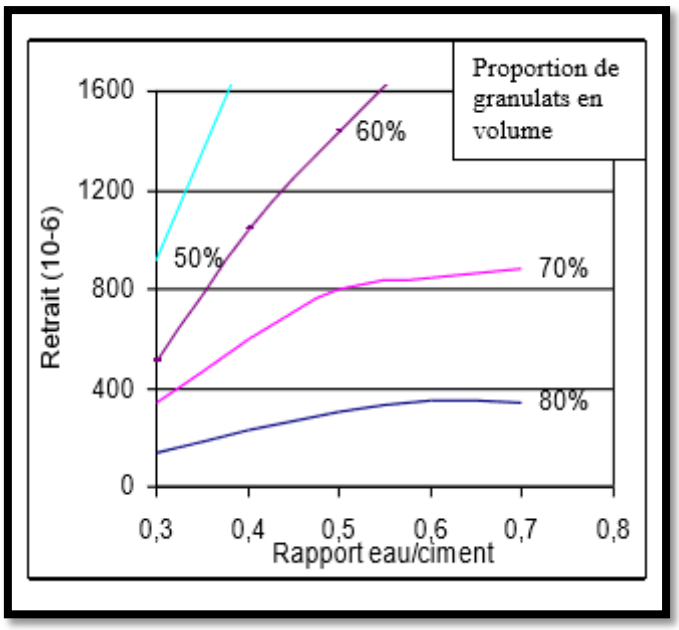


Figure 1-24: Effet du rapport E/C et de la teneur en granulat sur le retrait [88].

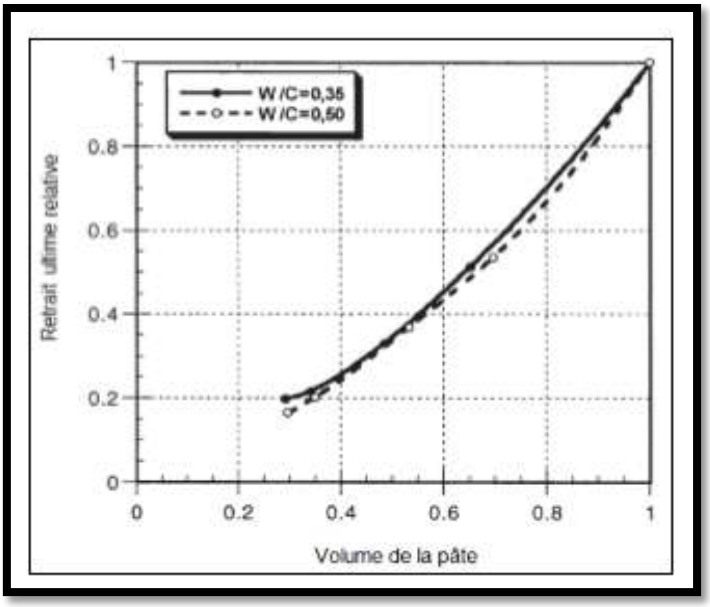


Figure 1-25 : Relation entre le retrait ultime et le volume de la pâte [87].

Selon Zhang et al [89], le retrait endogène augmente avec la diminution de rapport E/C, et avec une teneur croissante de fumée de silice (FS). Les déformations du retrait endogène des bétons à faible rapport E/L et qui contiennent du FS se développent rapidement, même à un jeune âge. Le retrait total à très faible rapport E/(C+FS) exposé à 65% d'humidité relative après une cure humide initiale de 7 jours ne semble pas être dû au retrait de séchage mais au retrait endogène.

- ✓ **Effet des adjuvants**

On définit les adjuvants comme étant des produit, qui ajoutés au béton en faible quantité, permettent d'améliorer certaines propriétés ou qualités souhaitées soit sur le béton frais, soit sur le béton durci. Les adjuvants qui augmentent les besoins en eau du ciment augmentent le retrait et qui en diminuent les besoins, diminuent le retrait. Dans la proportion souvent utilisée comme accélérateur, le chlorure de calcium peut augmenter le retrait dû au séchage dans une proportion pouvant atteindre 50 pour cent [77]. Le retrait peut être minimisé en gardant le contenu de l'eau par volume de l'unité de béton aussi bas que possible mais cette solution provoque des problèmes dans l'ouvrabilité et le coulage du béton.

Certains chercheurs [84, 85,90] ont trouvé que les réducteurs d'eau augmente le retrait, alors que d'autres [91, 92] ont montré qu'il n'y a pas un effet de réducteur d'eau sur le retrait, à condition que le pourcentage de liquide reste constant.

SHAYA et SUGITA [85, 90] ont constaté que la meilleure solution pour diminuer le retrait est d'utiliser des adjuvants réducteurs de retrait (SRA) et que l'addition de 2% de SRA réduit le retrait plastique de 20% (figures 1-26 et 1-27).

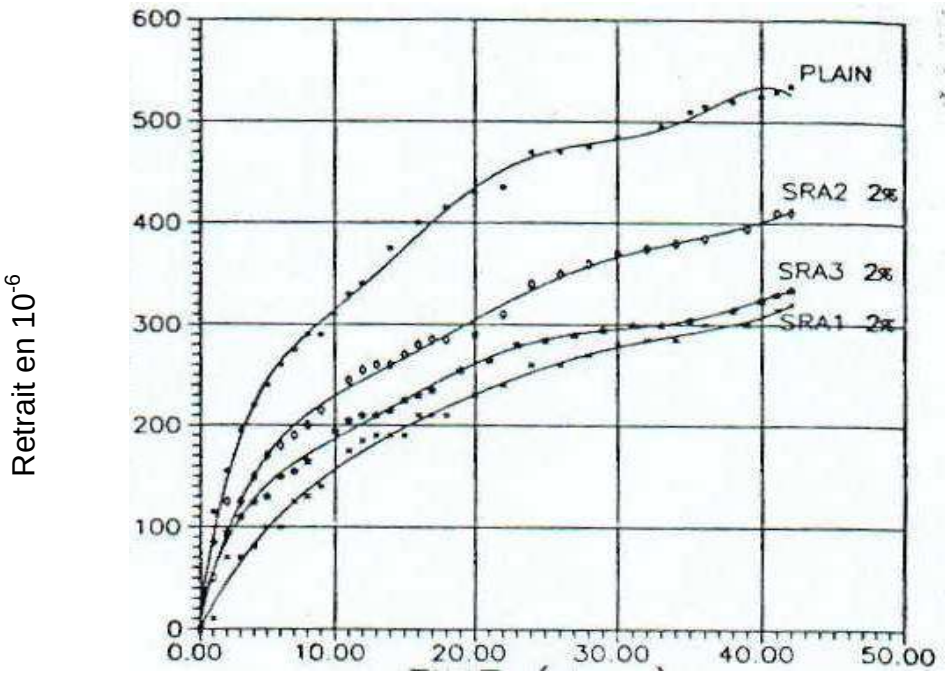


Figure : 1-26 : Résultats de retrait des bétons contiennent 2% des adjuvants réducteurs de retrait [85].

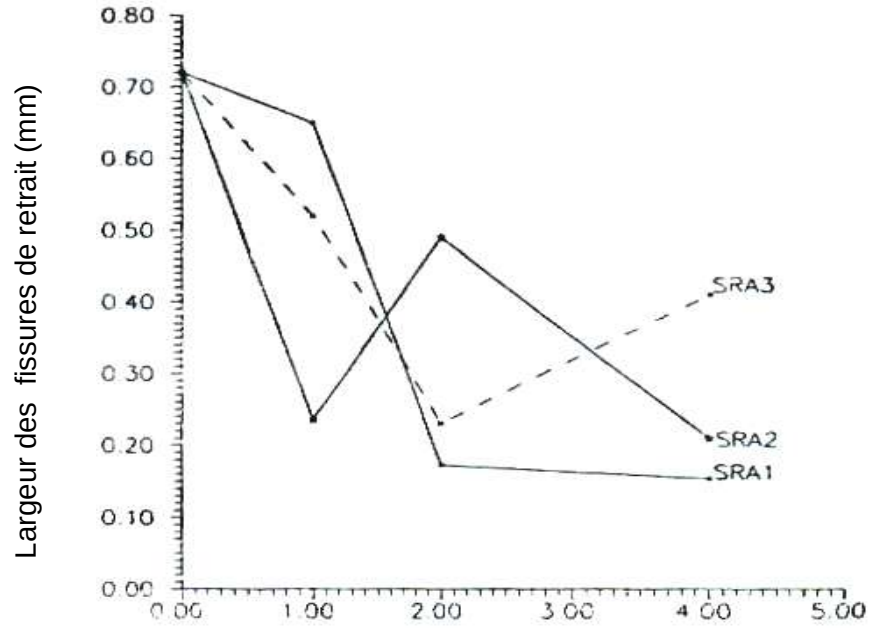


Figure : 1-27 : Largeur maximal des fissures en fonction de pourcentage des adjuvants réducteurs de retrait à 42 jours [85].

En général, un béton préparé avec un faible rapport E/C présente un fort retrait endogène. Au jeune âge le retrait endogène est retardé par la forte présence de superplastifiant [93]. L'addition de superplastifiant réduit le volume total des pores et raffine la structure des pores [94]. Erika [95] a montré que les superplastifiant augmentent le retrait endogène de 50% par rapport à un béton sans superplastifiant.

Alsayed [96] a étudié le retrait de séchage de 12 éprouvettes prismatiques de béton contrôlées pendant trois ans sous les conditions de laboratoire et sur un chantier à climat chaud et sec. Il a conclu que le plastifiant augmente la déformation de retrait de séchage de trois années, ainsi que la vitesse d'évolution de retrait de béton durant le premier mois par rapport à un béton avec superplastifiant.

- ✓ **Forme des pièces et armatures des ouvrages**

Le retrait plastique est d'autant plus grand que le rapport surface/volume de la pièce est plus élevé, le retrait avant prise d'une dalle de 2 cm d'épaisseur sera le double de celui d'une dalle de 7 cm d'épaisseur [77]. La moitié du retrait est réalisé à une semaine pour une section de 4x4 cm, alors qu'il faudrait attendre un an pour une section de 30x30 cm lorsque la pièce est armée le retrait plastique diminue beaucoup [77], l'accrochage ou l'adhérence plus ou moins grand du matériau sur son support joue un rôle également important.

Les armatures s'opposent au retrait de la pâte par exemple, 2% d'armature (par rapport à la section du béton) ont pour effet de diviser par deux ou trois le retrait [77]. Selon SHOGA et SUGITA, KRENCHEL et SHAH, MAMBERG, HAHME, SWAMY [85, 97, 98] l'addition des fibres d'acier est nécessaire non pas seulement pour renforcer le béton mais aussi pour diminuer l'épaisseur des fissures dues aux retrait.

Kovler et Bentur [99] ont trouvé que le retrait du béton non armé et celui du béton armé de rapport E/C=0,7 et de période de cure égale à un jour sont identiques pendant quelques heures, et ce avant l'apparition des fissures. Mais après la fissuration, les déformations de retrait deviennent différentes, comme il est représenté dans le Tableau 1-2.

Tableau 1-2: Résultats des fissures de retrait à 42 jours [99].

Bétons	L'épaisseur maximale des fissures (mm)
Plain non armé	0,72
SRA 2% (béton contient les adjuvants réducteurs de retrait)	0,3
SFRC 0,25 % (béton contient les fibres d'acier)	0,24
PFRC 0,5% (béton contient fibre polupropylène)	0,23

L'influence des fibres d'acier sur le développement de la contrainte et de la déformation de retrait est représenté par la figure (1-28) pour un béton de rapport E/C=0,7 et de période de cure égale un jour.

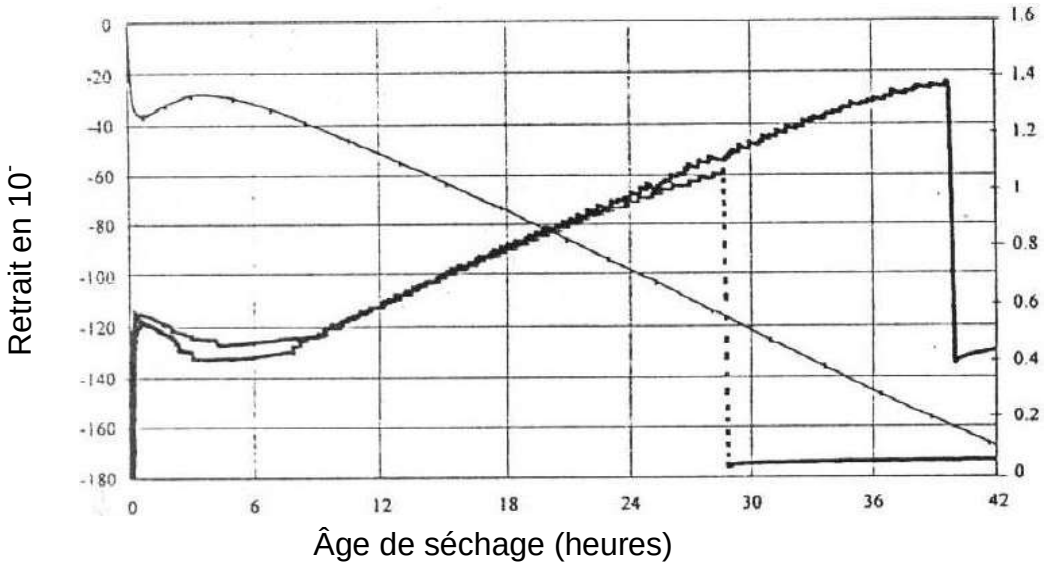


Figure : 1-28 : Effet du pourcentage des armatures sur le retrait [99].

CHAPITRE 2 :

MATERIAUX ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

2.1. Introduction

Les matériaux utilisés pour la confection des éprouvettes des bétons ainsi que les essais réalisés et les variables étudiées sont présentés dans ce chapitre.

La caractérisation physique et mécanique des matériaux est réalisée dans le Laboratoire de développement de la construction relié au groupe LAFARGE Holcim Algérie.

2.2. Matériaux utilisés

2.2.1. Ciments

Nous avons utilisé trois types des ciments portland composés provenant de Groupe LAFARGE comme l'indique le tableau (2-1).

Tableau 2-1 : Les types de ciment.

Provenance	Type de ciment
Groupe LAFARGE	CEM II /B-L 32,5 N (Chamil)
	CEM II / B-L 42,5 N (Matine)
	CEM II / A-L 52,5 N (Sarie)



Figure 2-1 : Les types de ciment.

2.2.2. Granulats

2.2.2.1. Sable

Nous avons utilisé deux types des sables présentés dans le tableau (2-2)

Tableau 2-2 : Les types des sables.

Provenance	Type de sable
Boussaada	0-1
Kef Azrou	0-4

2.2.2.2. Gravier

Trois classes granulaires ont été utilisées pour la confection des éprouvettes de béton (tableau 2-3) les graviers provient de Kef azrou sont cités dans ce tableau.

Pour éliminer les impuretés, les graviers ont été lavés plusieurs fois avant leurs utilisations.

Tableau 2-3 : Les types des graviers.

Provenance	Classe de graver
Kef Azrou	3/8
	8/15
	15/25

2.2.3. Adjuvant

L'adjuvant utilisé est MasterGlenium SKY 841 est un superplastifiant haut réducteur d'eau Fig2-2. Est un produit de BASF leur caractéristiques présenté dans le tableau (2-4) suivent.

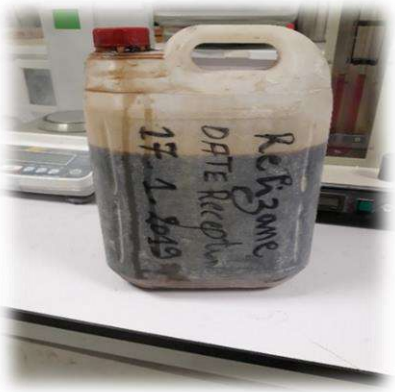


Figure 2-2 : SKY 841.

Tableau 2-4 : Les caractéristiques de SKY 84.

Aspect	Liquide
Couleur	Brun
Densité à 25 °C	1,06 ± 0,03 g/cm 3
Chlorures	<0,1%
Ph	5,5 ± 1,8
Extrait sec	26 ± 1,3%
Teneur en Nitrate	< 2%

2.2.4. Eau

L'eau utilisée est une eau potable de robinet propre.

2.3. Caractérisation des matériaux

2.3.1. Essai sur le ciment

2.3.1.1. Mesure de la Finesse

L'objectif de l'essai est de déterminer la surface totale des grains contenus dans une masse unité de poudre. Elle est exprimée en cm^2/g, conformément à la norme EN 196-6 [100].

Il s'agit de faire passer un volume d'air connu à travers une quantité de poudre de ciment. Plus la surface massique de cette poudre est importante, plus le temps t mis par l'air pour traverser la poudre est long. La surface massique est proportionnelle à la racine carrée du temps ($t^{1/2}$). Les mesures ont été effectuées conformément à la norme EN 196-6 [100] dans une salle maintenue à une température de 20°C ± 2°C et humidité relative de 65% par le perméabilimétre de Blanie (figure 2-3).



Figure 2-3: Essai de la finesse et le perméabilimétre de Blaine.

2.3.1.2. Consistance normale

La consistance de la pâte de ciment est caractérisée par sa plasticité. Pour évaluer cette consistance, l'appareil de Vicat (figure 2-4) est utilisé conformément à la norme NF P15-473 [101]. Pour cela la consistance est évaluée en mesurant l'enfoncement dans la pâte d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. La consistance normale est obtenue quand la tige s'enfonce à une distance de 6 mm ±1 de la base du moule tronconique qui contient la pâte du ciment. Ainsi la quantité d'eau nécessaire pour obtenir cette consistance est déterminée par tâtonnement successif. La consistance normale s'exprime en pourcentage de l'eau utilisée par rapport à la quantité de ciment (500g).

2.3.1.3. Temps de prise

L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance normalisée. L'appareil utilisé est de Vicat équipé d'une aiguille d'un diamètre de 1.13 mm Quand sous l'effet d'une charge de 300g. L'aiguille s'arrête à une distance de 4±1 mm du fond du moule on dit que le début de prise est atteint. Ce moment mesuré à partir du malaxage est appelé le temps de prise. Le temps de fin de prise est celui au bout duquel l'aiguille ne s'enforcie plus que de 0.5 mm conformément à la norme EN 196-3[102].



Figure 2-4 : Appareil de Vicat.

2.3.1.4. Essai de résistance à la traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction par flexion est effectuée sur des éprouvettes 40×40×160 mm par le biais de l'essai de flexion trois points comme le montre la figure (2-5) les essais sont effectués selon la norme NF P 15-471 [103].



Figure 2-5 : Dispositif de l'essai de traction par flexion.

2.3.1.5 Essai de résistance à la compression

Les essais de compression ont été effectués selon la norme NF P 15-471 [103] les demi-prismes après rupture en flexion de l'éprouvette ont été testés en compression tels que l'illustre la figure (2-6).



Figure 2-6 : Dispositif de l'essai de compression.

2.3.1.6. La chaleur d'hydratation

La présente norme européenne décrit une méthode de mesure de la chaleur d'hydratation des ciments par calorimétrie de dissolution, appelée méthode par dissolution (le hit dans LAFARGE).



Figure 2-7 : Dispositif de la chaleur d'hydratation.

2.3.2 Essai sur le sable

2.3.2.1 Essai d'équivalent de sable (NF P 18-598) [104]

Dans le cas des sables cet essai consiste à plonger un poids défini de sable dans une solution floculant. Après agitation, on laisse décanter le mélange pendant 20 minutes. Ensuite, on mesure la hauteur, dans l'éprouvette normalisée, du sédiment H1, et du sédiment + floculat H2. Le résultat:

$$E_{SV} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right) 100 \qquad E_S = \left(\frac{H'_1}{H_2}\right) 100$$

Avec :

- Es: équivalent de sable mesuré au piston.
- Esv : équivalent de sable mesuré visuellement.
- H_1 : hauteur du sable propre seulement.
- H'_1 : hauteur du sable propre seulement au piston.
- H_2 : hauteur du sable propre et élément fins.



Figure 2-8 : L'essai d'équivalent de sable.

. **2.3.2.2 Essai au bleu de méthylène**

Selon la norme EN 933-9 [105] On injecte successivement des doses élémentaire d'une solution de bleu de méthylène dans le bain aqueux contenant la prise d'essai on contrôle l'adsorption du bleu après chaque ajout ; en effectuant une tache sur un papier filtre Pour un simple contrôle de conformité, la qualité de bleu spécifiée est injectée en une seule fois.

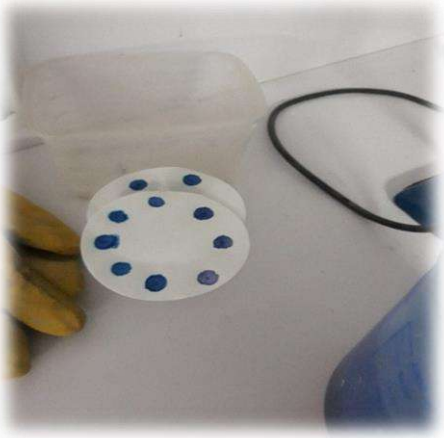


Figure 2-9 : L'essai de bleu de méthylène.

2.3.3. Essai sur le gravier

2.3.3.1. Analyse granulométrique :

Elle consiste à séparer les grains composant un granulat en classes selon leurs dimensions à l'aide d'une série de tamis, puis déterminer les pourcentages en poids des différentes Classes dans le granulat. Le choix des tamis à utiliser dépend des dimensions du granulat.

 Série principale européenne NF EN 933-1 [106] : 0.063 -0.125 -0.25 -0.5 -1 -2 -4 -8- 16 - 31.5...



Figure 2-10 : Dispositif de l'analyse granulométrique.

2.3.3.2. La masse volumique apparente

La masse volumique apparente est la masse du granulat occupant l'unité de volume, tous vides inclus. On la détermine en calculant le quotient NF P 18-555[107].



Figure 2-11 : Dispositif de l'essai de masse volumique apparent.

2.3.3.3. La masse volumique absolue

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides prouvent exister dans ou entre les grains.

Cet essai a pour but de permettre de connaitre la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons [107].



Figure 2-12 : Dispositif de l'essai de masse volumique absolue.

2.3.3.4. Essai d'aplatissement

Il consiste en une double opération de tamisage du même échantillon (4- 20 mm) de granulats d'une masse M ≥ 0,2D, en utilisant une série de tamis à maille carrées et une série de grilles à fente parallèles d'écartement E=D/2.selon la norme NF EN 933-3 [109].



Figure 2-13 : L'essai d'aplatissement.

Les résultats et courbes granulométriques sont illustrés par suite :

Tableau 2-5 : Sable fraction 0-1.

Tamis (mm)	**8**	**6,3**	**5**	**4**	**3,15**	**2**	**1,6**	**1**	**0,5**	**0,315**	**0,25**	**0,125**	**0,063**	**FT**
Poids Ret (gr)					**0**	**1**	**2**	**2**	**3**	**20**	**80**	**1153**	**1196**	**1197**
% Ret	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,08**	**0,17**	**0,17**	**0,25**	**1,67**	**6,67**	**96,08**	**99,67**	**99,75**
% Passant	**100**	**100**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**99,92**	**99,83**	**99,83**	**99,75**	**98,33**	**93,33**	**3,92**	**0,33**	**0,25**
Pourcentage de tamisat de fines (f) sur le tamis de 63 µm =**[(M1-M2)+P/M1)]*100=**										**0,21**	**%**	**Resté au fond P=**	**1,0**	G
Dans le cas d'un tamisage àsec f = 100*p/M1 =											**%**			
Le module de finesse **Mf** = 1,03														

Tableau 2-6 : Sable fraction 1-4.

Tamis (mm)	**8**		**5**	**4**	**3,15**	**2**	**1,6**	**1**	**0,5**	**0,315**	**0,25**	**0,125**	**0,063**	**FT**
Poids Ret (gr)		**6**	**7**	**35**	**168**	**405**	**505**	**645**	**780**	**848**	**880**	**970**	**1049**	**1052**
% Ret	**0,0**	**0,4**	**0,5**	**2,8**	**13,8**	**33,3**	**41,5**	**53**	**64,2**	**69,7**	**72,4**	**79,8**	**86,3**	**86,5**
% Passant	**100**	**99,5**	**99,4**	**97,1**	**86,1**	**66,6**	**58,4**	**46,9**	**35,8**	**30,2**	**27,5**	**20,1**	**13,6**	**13,4**

Pourcentage de tamisat de fines (f) sur le tamis de 63 µm =**[(M1-M2)+P/M1)]*100=** **13,5** **%** **Resté au fond P=** **3,0G**

Dans le cas d'un tamisage àsec f = 100*p/M1 =

%

Le module de finesse **Mf** = 3,06

- La courbe des deux sables

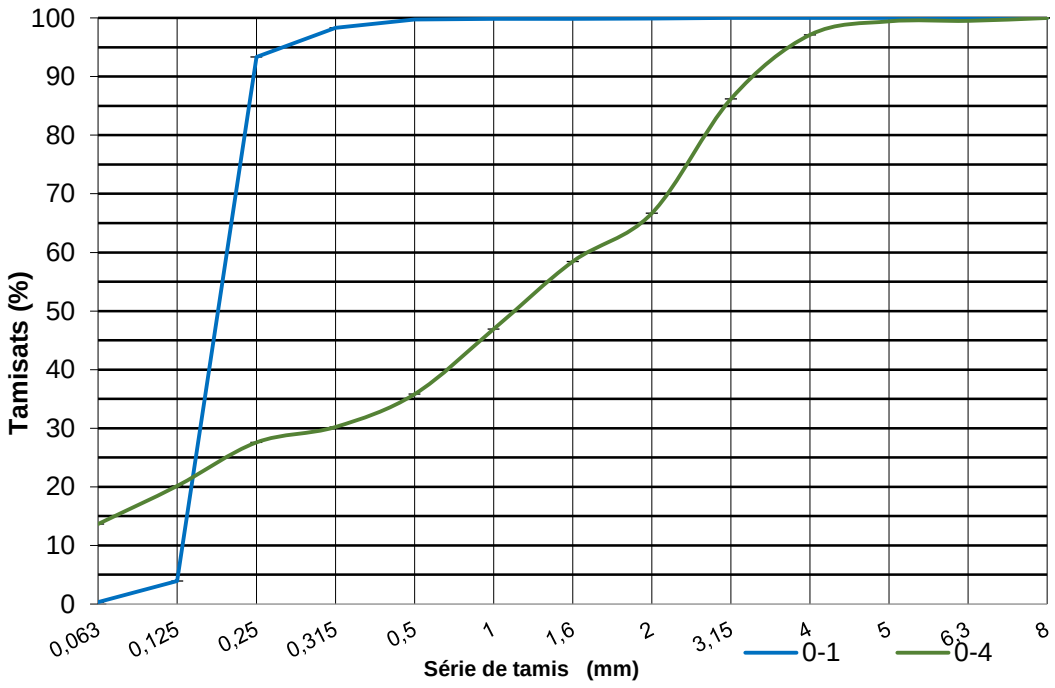


Figure 2-14 : Courbe granulométrique des sables.

Tableau 2-7 : Gravier fraction 3-8.

Tamis (mm)	31,5	25	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4	2,5	0,063	FT
Poids ret (gr)	0	0	0	0	0	0	19	271	961	1431	1564	1600	1624
% ret	0	0	0	0	0	0	1,188	16,94	60,06	89,4375	97,75	100	101,5
% Passant	100	100	100	100	100	100	98,81	83,06	39,94	10,5625	2,25	0	-1,5

Tableau 2-8 : Gravier fraction 8-15.

Tamis (mm)	31,5	25	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4	2,5	0,063	FT
Poids ret (gr)	0	0	0	119	605	1247	1941	2650	2842	2890	2921	2946	2948
% ret	0	0	0	3,967	20,17	41,57	64,7	88,33	94,73	96,33333	97,367	98,2	98,267
% Passant	100	100	100	96,03	79,83	58,43	35,3	11,67	5,267	3,666667	2,6333	1,8	1,7333

Tableau 2-9 : Gravier fraction 15-25.

Tamis (mm)	31,5	25	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4	2,5	0,063	FT
Poids ret (gr)	0	139	1203	3569	4806	4924	4943	4947	4948	4949	4954	4955	4960
% ret	0	2,78	24	71,38	96,12	98,48	98,86	98,94	98,96	98,98	99,08	99,1	99,2
% Passant	100	97,22	75,94	28,62	3,88	1,52	1,14	1,06	1,04	1,02	0,92	0,9	0,8

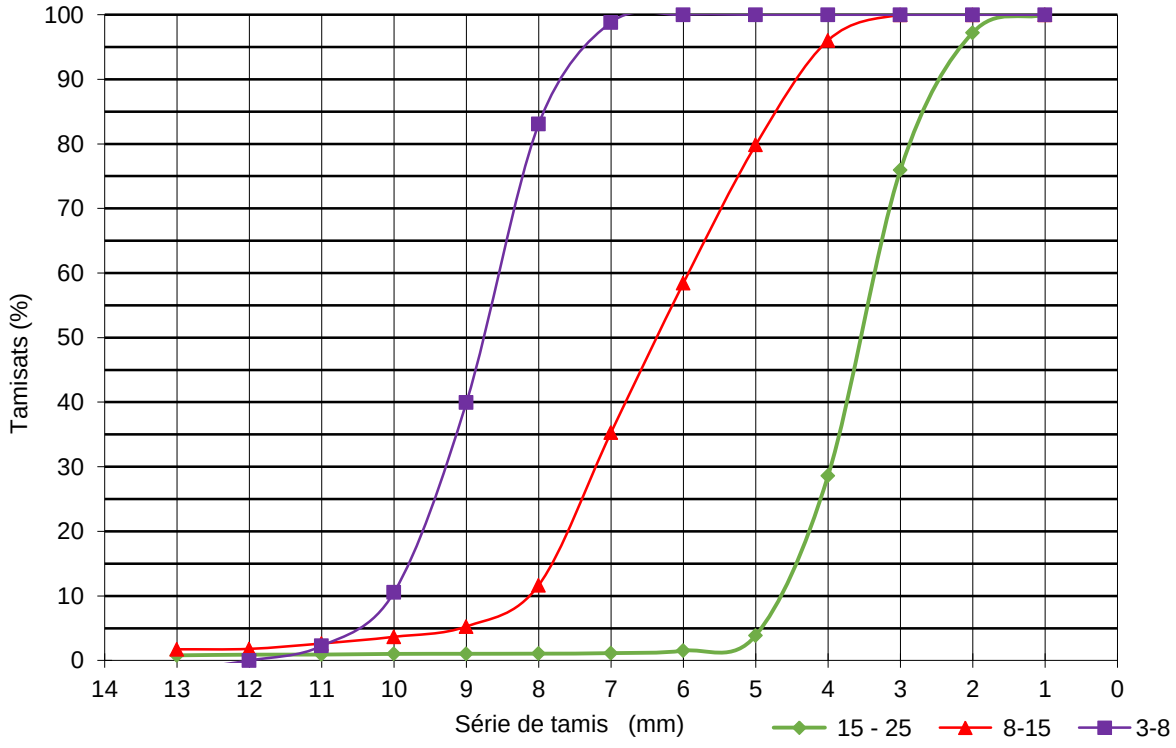


Figure 2-15 : Courbe granulométrique des graviers

- **Les résultats sur ciment**

Les résultats des essais sur les ciments sont illustrés dans le tableau suivant sauf la chaleur d'hydratation.

Tableau 2-10 : Les propriétés des ciments.

Propriétés	**CEM II 32.5**	**CEM II 42.5**	**CEM II 52.5**
Début de prise	180	170	150
Fin de prise	300	280	250
Volume d'eau (ml)	140	132.5	125
Masse de ciment (g)	500	500	500
Consistance normal (%)	28	26.5	25
Poids spécifique g/cm^3	2.8504	2.813	2.878
SSB (g/cm^2)	4200	4000	3900

Tableau 2-11 : Les caractéristiques des ciments.

	Résistance à la traction par flexion (Mpa)		
	2j	**7j**	**28j**
CEM II 32.5	2.03	5.5	6.5
CEM II 42.5	4.01	6.17	7.5
CEM II 52.5	5.3	7.41	8
	Résistance à la compression(Mpa)		
	2j	**7j**	**28j**
CEM II 32.5	10	18	335
CEM II 42.5	1913	33,3	455
CEM II 52.5	27,5	40,02	57,5

2.4. Formulation des bétons

2.4.1. Composition

Les tableaux suivent présentent les principales caractéristiques de formulation des bétons. Dans cette étude on a fixé la valeur du rapport E/C à 0,5 pour tous les bétons formulés.

La méthode de formulation est basée sur la méthode de Deux goris

Tableau 2-12 : Formulation de béton fabriqué avec le ciment MATINE avec un dosage en ciment de 350 kg/m^3.

Désignation	% CE	QTE. kg/m^3	**32** L	Teneur en eau	QTE A pesé	Provenance
Sable 0/1	-	160	5,12	2,07%	5,23	Boussaada
Sable 0/4	-	658	21,06	3,72%	21,84	Kef Azrou
Gravier 3/8	-	210	6,720	0,00%	6,72	Kef Azrou
Gravier 8/15	-	490	15,68	0,00%	15,68	Kef Azrou
Gravier 15/25	-	360	11,52	0,00%	11,52	Kef Azrou
MATINE 42,5	-	350	11,20		11,20	LCM
Adjuvant Sky841	1,00%	3,50	0,112		0,112	BASF

Eau Totale	-	176	5,63		4,74	AEP

Tableau 2-13 : Formulation de béton fabriqué avec le ciment CHAMIL avec un dosage en ciment de 350 kg/m^3.

Désignation	% CE	QTE. kg/m^3	**32** L	Teneur en eau	QTE A pesé	Provenance
Sable 0/1	-	160	5,12	2,07%	5,23	Boussaada
Sable 0/4	-	658	21,06	3,72%	21,84	Kef Azrou
Gravier 3/8	-	210	6,720	0,00%	6,72	Kef Azrou
Gravier 8/15	-	490	15,68	0,00%	15,68	Kef Azrou
Gravier 15/25	-	360	11,52	0,00%	11,52	Kef Azrou
CHAMIL 32,5	-	350	11,20		11,20	LCM
Adjuvant Sky841	1,10%	3,85	0,123		0,123	BASF
Eau Totale	-	176	5,63		4,74	AEP

Tableau 2-14 : Formulation de béton fabriqué avec le ciment SARIE avec un dosage en ciment de 350 kg/m^3.

Désignation	% CE	QTE. kg/m^3	**32** L	Teneur en eau	QTE A pesé	Provenance
Sable 0/1	-	160	5,12	2,00%	5,22	Boussaada
Sable 0/4	-	658	21,06	2,54%	21,59	Kef Azrou
Gravier 3/8	-	210	6,720	0,00%	6,72	Kef Azrou
Gravier 8/15	-	490	15,68	0,00%	15,68	Kef Azrou
Gravier 15/25	-	360	11,52	0,00%	11,52	Kef Azrou
SARIE 52,5	-	350	11,20		11,20	LCO
Adjuvant Sky841	0,90%	3,15	0,101		0,101	BASF
Eau Totale	-	176	5,63		4,99	AEP

Tableau 2-15 : Formulation de béton fabriqué avec le ciment MATINE avec un dosage en ciment de 380 kg/m^3.

Désignation	% CE	QTE. kg/m^3	**32** L	Teneur en eau	QTE A pesé	Provenance
Sable 0/1	-	160	5,12	2,12%	5,23	Boussaada
Sable 0/4	-	658	21,06	4,19%	21,94	Kef Azrou
Gravier 3/8	-	210	6,720	1,00%	6,79	Kef Azrou
Gravier 8/15	-	490	15,68	0,30%	15,73	Kef Azrou
Gravier 15/25	-	360	11,52	0,00%	11,52	Kef Azrou
MATINE 42,5	-	380	12,16		12,16	LCM
Adjuvant Sky841	0,90%	3,42	0,109		0,109	BASF
Eau Totale	-	190	6,08		4,97	AEP

Tableau 2-16 : Formulation de béton fabriqué avec le ciment MATINE avec un dosage en ciment de 420 kg/m^3.

Désignation	% CE	QTE. kg/m^3	**32** L	Teneur en eau	QTE A pesé	Provenance
Sable 0/1	-	160	5,12	2,12%	5,23	Boussaada
Sable 0/4	-	658	21,06	4,19%	21,94	Kef Azrou
Gravier 3/8	-	210	6,720	1,00%	6,79	Kef Azrou
Gravier 8/15	-	490	15,68	0,30%	15,73	Kef Azrou
Gravier 15/25	-	360	11,52	0,00%	11,52	Kef Azrou
MATINE 42,5	-	420	13,44		13,44	LCM
Adjuvant Sky841	0,85%	3,57	0,114		0,114	BASF
Eau Totale	-	210	6,72		5,61	AEP

2.4.2. Préparation et conservation des éprouvettes

2.4.2.1.Préparation des éprouvettes

Après le malaxage qui dure environ 5 minutes et un maintien de 30 minutes, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage. Le coulage est exécuté en deux couches vibrées jusqu'à la stabilisation de niveau du béton. Le but de la vibration est le remplissage parfait du moule.

A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes NF P18-422 [110].La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie.

Dans notre étude on a confectionné six éprouvettes cubiques (15×15×15) cm^3 pour l'essai de compression, six éprouvettes prismatiques (10×10×40) cm^3 pour l'essai de traction par flexion et six éprouvettes prismatique (7×7×28) cm^3 pour l'essai de la variation dimensionnelle (c'est pour chaque béton).



Figure 2-16 : Les étapes de préparation des éprouvettes.

2.4.2.2. Conservation des éprouvettes

Après la mise en moule, les éprouvettes sont conservées à l'air libre du laboratoire dans une salle à une température de 22°C. Après 24 heures, les éprouvettes des essais de compression et traction sont démoulées et conservées dans un bac contient de l'eau à une température de

20 ± 2°C.

Les éprouvettes pour le retrait sont conservées en trois façons :

- Dans un bac d'eau à une température de 20 ± 2°C.
- Dans une chambre à 50% humidité
- Endogène (couvres par ruban en aluminium)



Figure 2-17 : La conservation des éprouvettes.

2.5. Essai sur le béton

2.5.1. Les essais à l'état frais

2.5.1.1. Essai d'affaissement (slump test)- Norme NF EN 12350-2

La mise en œuvre du béton frais pour l'essai d'affaissement au cône d'Abrams est effectuée d'après la norme NF EN 12350-2 [22], La figure présente une photo de cet essai permettant d'obtenir la consistance du béton.



Figure 2-18 : Dispositif de l'essai d'affaissement.

2.5.1.2. La masse volumique –Norme NF EN 12350-6[23]

La masse volumique du béton a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 [23], à l'aide d'une balance.

Pour déterminer la masse volumique d'un béton frais, il faut suivre les étapes suivantes :

- Peser le moule cubique (15×15×15) cm^3 M_1 ;

- Remplir le moule en béton frais. Le remplissage est exécuté en deux couches ;

- Araser le haut du moule ;

- Peser le moule rempli du béton M_2 ;

- Calculer le volume du moule V.

La masse volumique est déterminée par la relation suivante :

$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

2.5.2. Les essais à l'état durci

2.5.2.1. La résistance à la compression -Norme NA 427 /1989[111]

Le principe de l'essai, selon la norme NA 427 /1989 [111], est de soumettre une éprouvette cylindrique, cubique ou à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression.



Figure 2-19 : Dispositif de l'essai La résistance à la compression.

2.5.2.2. La résistance à la traction

- **Essais de traction par flexion norme NFP 18-406[59]**

Pour effectuer nos essais de traction par flexion, on a procédé à l'essai sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (10 x 10 x 40 cm^3) mûries à l'eau.

La résistance à la traction *t* 28 *f* obtenue à 28 jours provient de la moyenne des résultats sur trois échantillons. L'appareil utilisé est une presse hydraulique de flexion dont la capacité maximale est de 150kN en cisaillement.

L'expression des résultats pour exprimer la contrainte de rupture en traction par flexion, sera donnée par la relation $\mathbf{f_t=1.8F/a^2}$ (en MPA), où F est la charge de rupture, et *a* le coté de la base en mm.



Figure 2-20 : Dispositif de l'essai La résistance à la traction par flexion.

2.5.2.3. L'essai d'absorption capillaire [112]

Les spécimens de béton sur lesquels on a effectué les essais de l'absorption d'eau sont de forme cubique de 70 mm de côté. Ils sont séchés dans une étuve jusqu'à atteindre la masse constante. Les faces latérales des spécimens ont été couvertes d'une mince couche de silicone pour assurer l'écoulement unidimensionnel, ensuite ils sont positionnés dans un récipient contenant de l'eau. Le niveau de l'eau dans ce récipient est environ de 5 mm au-dessus de la base des spécimens voir (Figure 2-21).



Figure 2-21 : L'essai d'absorption.

2.5.2.4. La conductivité thermique [113]

Principe de l'essai est dérive également de la norme NF EN 993 [113]. Les mesures sont effectuées en positionnant la sonde fil-chaud entre deux échantillons de même formulation. Avant l'essai, les éprouvettes ont été séchées 48 h à 40°C et ont été sorties une heure avant la mesure.

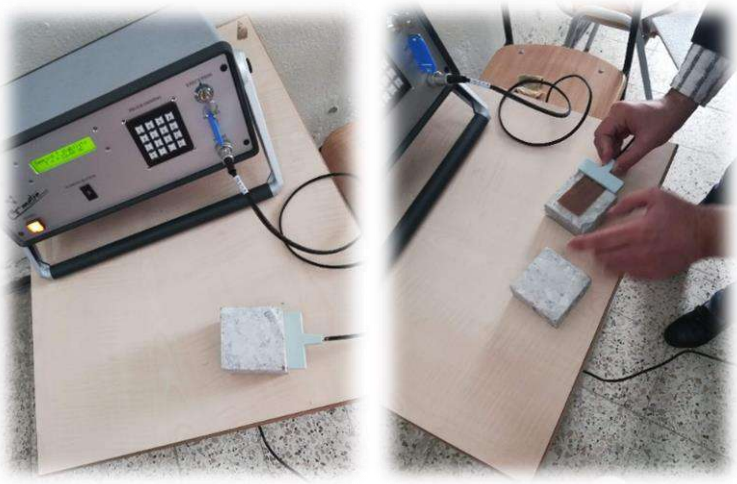


Figure 2-22 : Dispositif de l'essai de la conductivité thermique.

2.5.2.5. La perte en masse

La perte en masse permet de suivre l'évolution du poids des éprouvettes à chaque moment de mesure du retrait ou gonflement.



Figure 2-23 : Dispositif de mesure de masse.

2.5.2.6. Variations dimensionnelle –Norme NF P 18-427 [88]

L'essai consiste à mesurer la variation de la longueur entre deux faces opposées d'éprouvette prismatique (retrait et gonflement).



Figure 2-24 : Mesure de retrait.

Chapitre 2 MATERIAUX ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

CHAPITRE 3 :

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

3.1. Introduction

Dans le chapitre précèdent on a présenté les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que la formulation des bétons étudiée.

Dans ce chapitre nous allons présenter les principaux résultats obtenus sur ces bétons. Ces derniers sont présentés sous formes des graphes.

On va présenter les résultats de l'ouvrabilité, la résistance à la compression et la traction, la perte en masse et la variation dimensionnelle (retrait et gonflement). Tous les bétons formulés sont avec un dosage en eau fixe (E/C = 0,5) et une variation de pourcentage de SP.

3.2. L'ouvrabilité

Tous les bétons ont les mêmes dosages de sable, gravier et eau la différence réside dans le type et le dosage de ciment qui nécessite des dosages en SP différent pour avoir la même ouvrabilité (aff = 90 mm).

Tableau 3-1: L'ouvrabilité de différents bétons.

Béton	Température du béton (°C)		Température de l'air (°C)		Affaissement (mm)		La masse volumique (g/cm^3)	
	Initiale	Après 30 min	Initiale	Après 30 min	Initial	Après 30 min	Théorique	Fraiche
MATINE 350	17,4	17,1	16,2	16,4	90	130	2,41	2,41
CHAMIL 350	16,6	16,5	16,1	16,5	90	100	2,41	2,40
SARIE 350	17,3	17,5	17,1	17,0	100	120	2,41	2,44
MATINE 380	19,5	22,0	23,0	23,0	90	130	2,45	2,42
MATINE 420	17,1	17,3	17,0	17,2	90	130	2,51	2,44

Pour avoir la même consistance, nous avons ajouté la quantité de l'adjuvant nécessaire pour les différents dosages.

3.3. La chaleur d'hydratation

Les résultats de la chaleur d'hydratation des différents types de béton sont résumés dans la figure suivante :

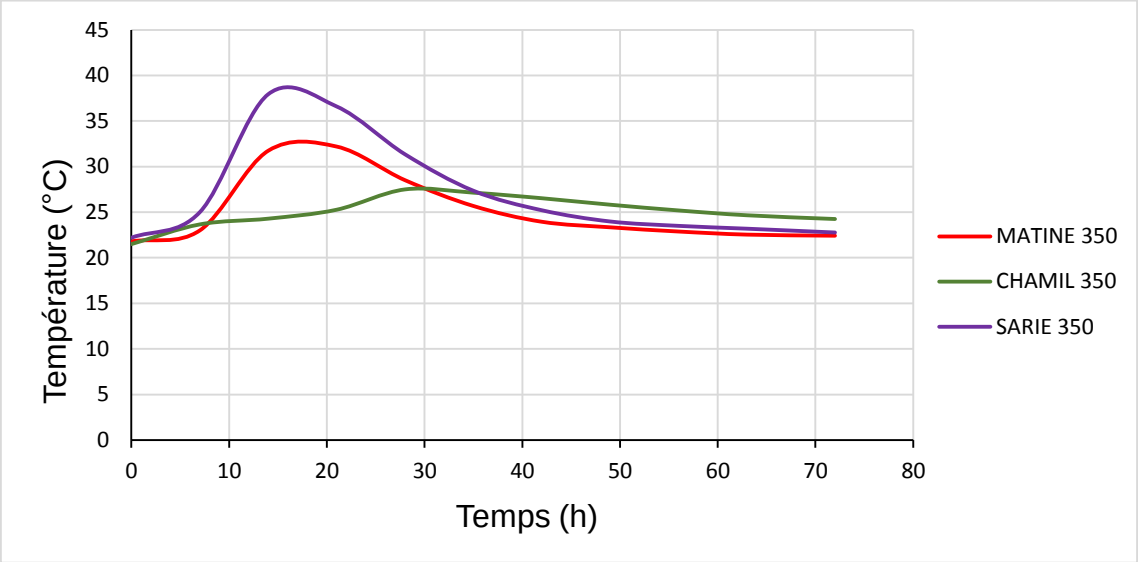


Figure 3-1 : La chaleur d'hydratation de trois ciments.

Les résultats représentés dans la figure 3-1 montrent que la chaleur d'hydratation évolue avec l'augmentation de la classe de résistance.

3.4. La résistance à la compression

3.4.1. Effet de type de ciment sur la résistance à la compression

On représente dans la figure 3-2 les résultats de la résistance à la compression de différents types de ciment.

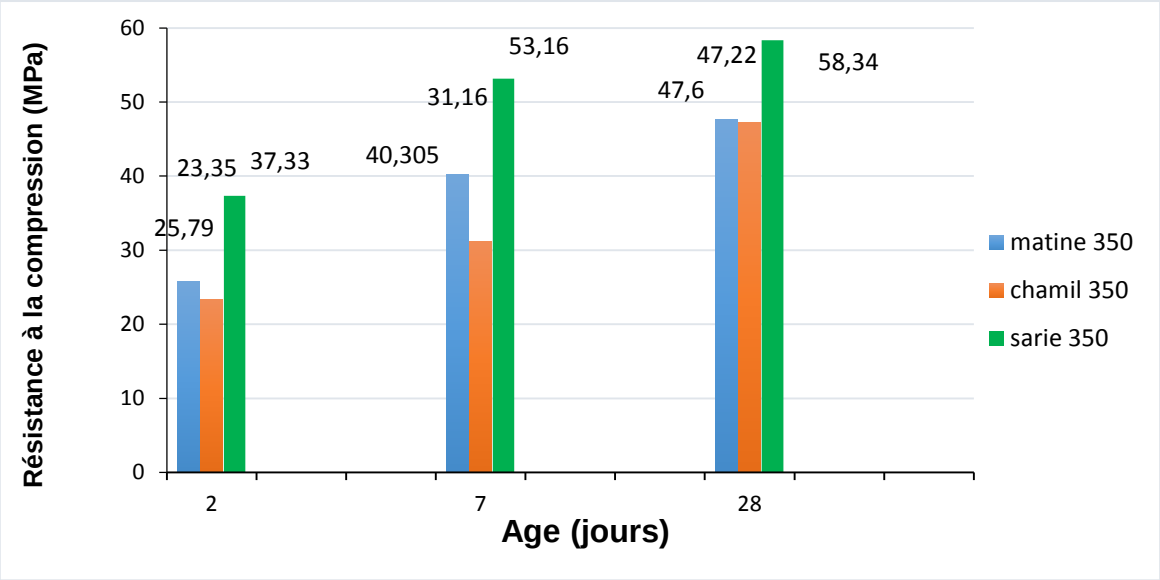


Figure 3-2: Effet de type de ciment sur la résistance à la compression.

Les résultats représentés dans la figure 3-2 montrent que la résistance à la compression du ciment SARIE donne la plus grande résistance par rapport aux deux autres types de ciment pour tous les âges, alors que les résistances de ciment CHAMIL et MATINE se converge avec l'augmentation de l'âge.

3.4.2. Effet de dosage en ciment sur la résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression de différents dosages en ciment sont présentés dans la figure ci-dessous.

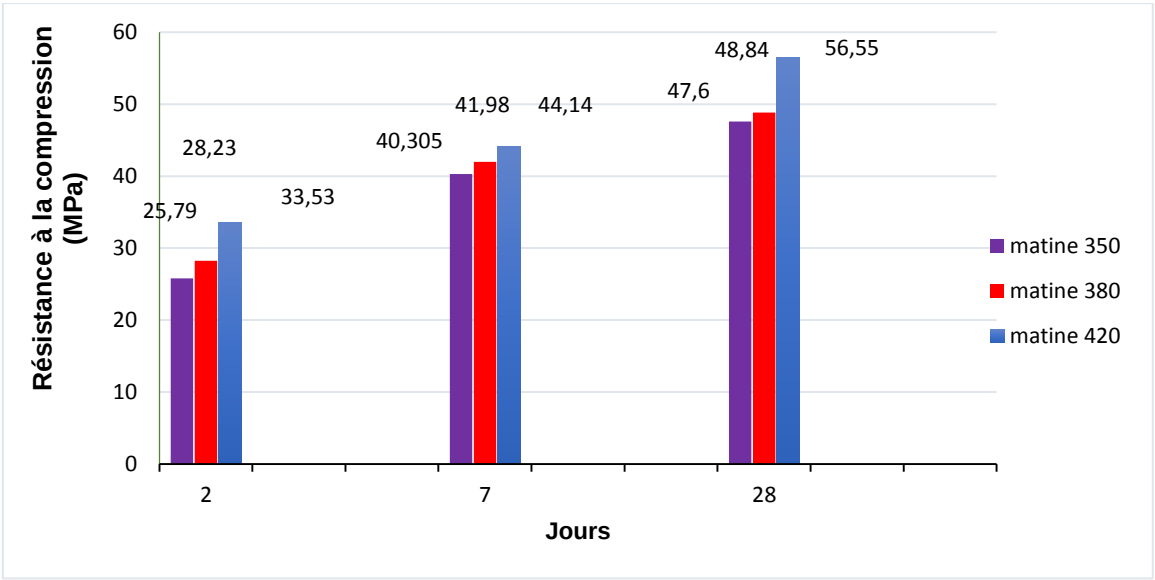


Figure 3-3 : Effet de dosage en ciment sur la résistance à la compression.

La figure 3-3 montre que la résistance à la compression varie en fonction de dosage en ciment et l'âge du béton et c'est évident car c'est le composant responsable sur le développement de la résistance (notons que le rapport E/C est constant).

3.5. La résistance à la traction par flexion à 28 jours

3.5.1. Effet de type de ciment sur la résistance à la traction par flexion

A travers les résultats de la résistance à la traction par flexion de différents types de ciment illustrés dans la figure 3-4, il semble que la résistance à la traction par flexion à 28 jours de ciment SARIE donne la plus grande résistance par rapport aux deux autres. Les deux autres ciments ont presque la même résistance. Donc le développement des résistances en traction des trois ciments ont la même tendance que celle de la résistance en compression.

On remarque aussi qu'il n'y a pas une grande différence de résistance entre le ciment MATINE et CHAMIL malgré la différence de la classe de résistance.

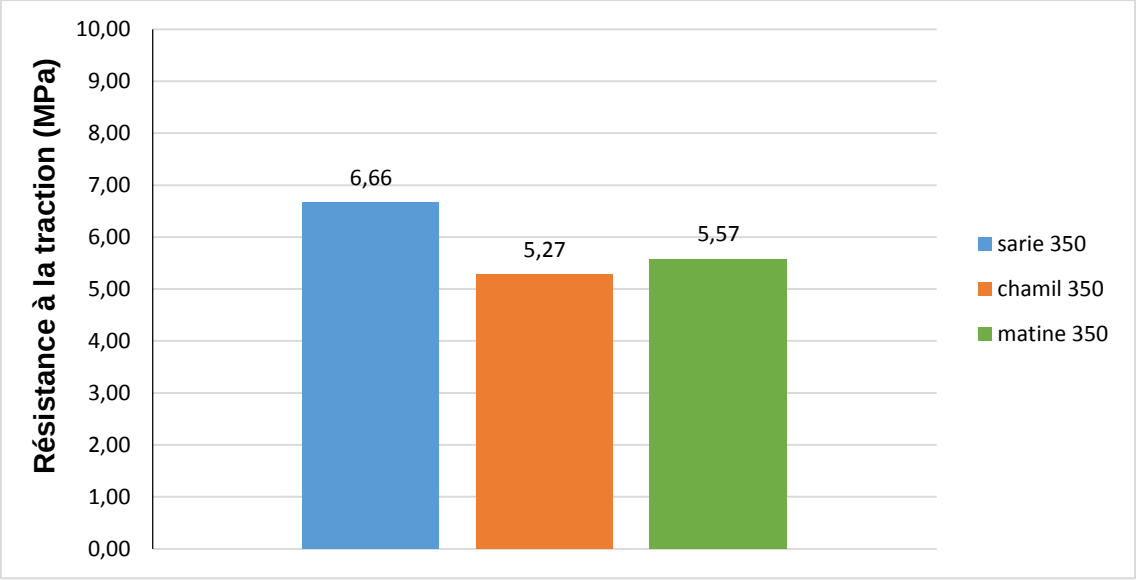


Figure 3-4: Effet de type de ciment sur la résistance à la traction à 28 jours.

3.5.2. Effet de dosage en ciment sur la résistance à la traction

Les résultats de la résistance à la traction par flexion de ciment MATINE avec différents dosages sont représentés dans la figure 3-5. Ces résultats indiquent que l'augmentation du dosage en ciment (MATINE) de 8.5% et 20% n'engendre que 2% de variation de résistance à la traction.

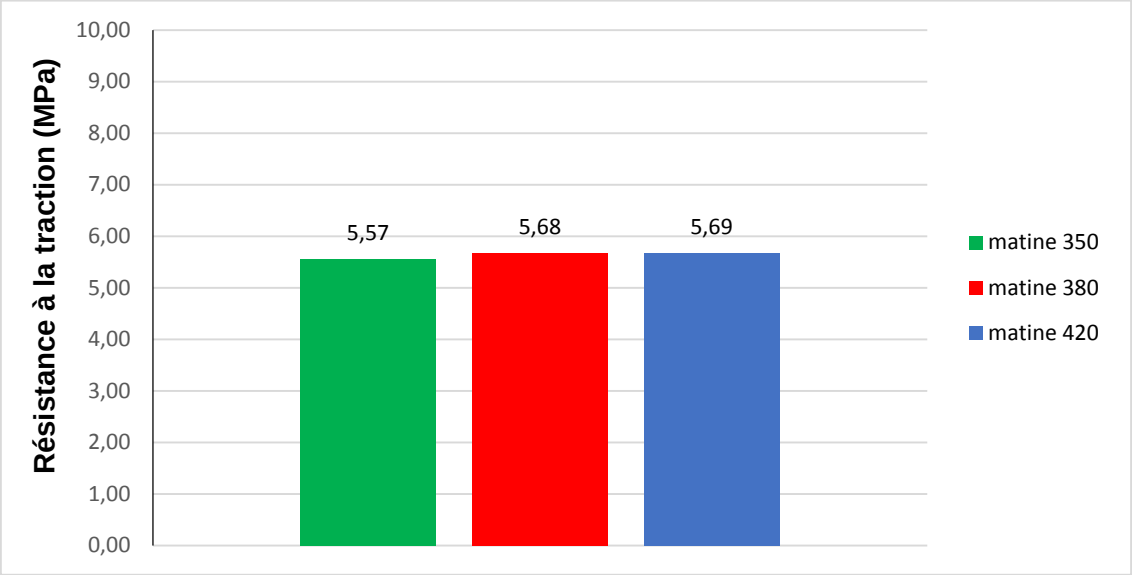


Figure 3-5: Effet de dosage en ciment sur la résistance à la traction à 28 jours.

3.6. L'absorption capillaire

Les essais d'absorption d'eau par capillarité ont été effectués à l'âge de 90 jours sur des bétons de différents types et dosages en ciment, et sous trois conditions hygrométrique différent (HR = 0%, 50% et 100%). Les résultats présentés sous forme de courbe qui exprimes la variation d'absorption d'eau dans le temps sont illustrés dans les figures 3-6_8

Sous HR = 100% ; le taux d'absorption les plus faibles sont enregistrés sur les bétons composés de ciment SARIE, CHAMIL et de dosage 350 kg/m^3, alors que la grande absorption a été observé sur le béton composé de ciment MATINE avec un dosage 380 kg/m^3. En comparaison avec les résultats obtenus sous HR =50 et 0%. On peut dire qu'il est engageable.

Lorsque HR = 50% et 0%, le ciment MATINE augmente le taux d'absorption pour les trois dosages. Le ciment SARIE et CHAMIL augmente l'absorption.

Les taux d'absorption les plus élevés ont été enregistrés sur les bétons conservé a HR = 50%.

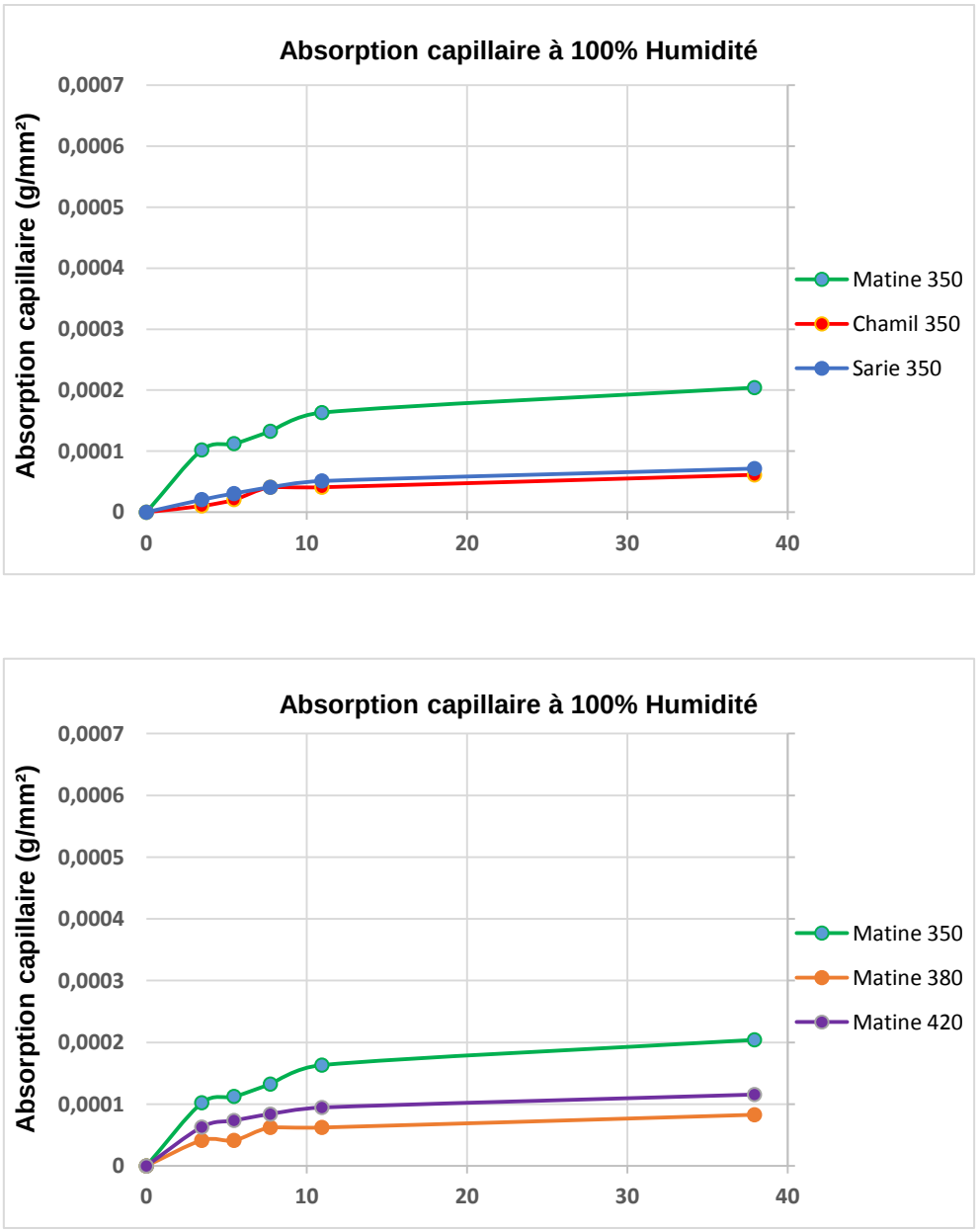
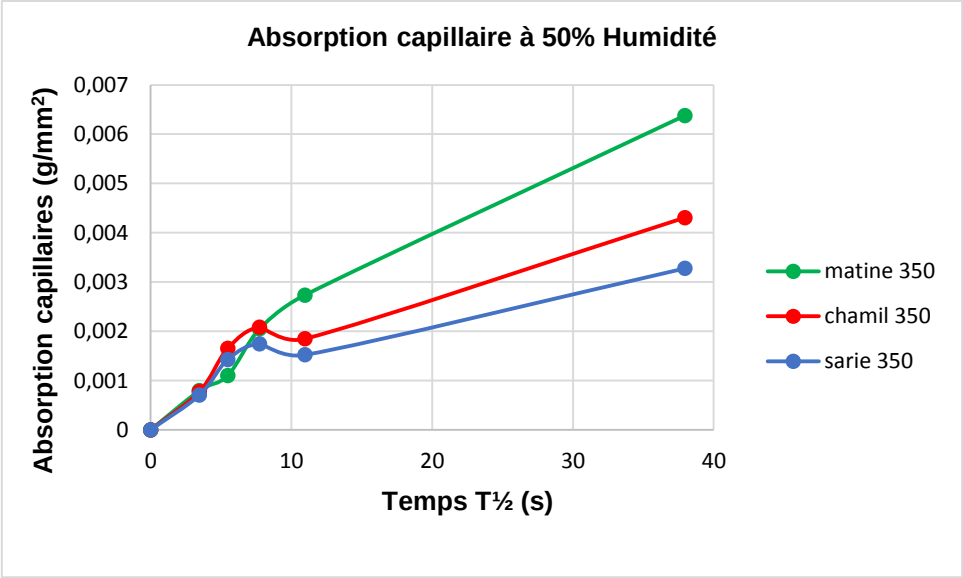


Figure 3-6 : Effet de type et dosage de ciment sur l'absorption capillaire à 100% Humidité.



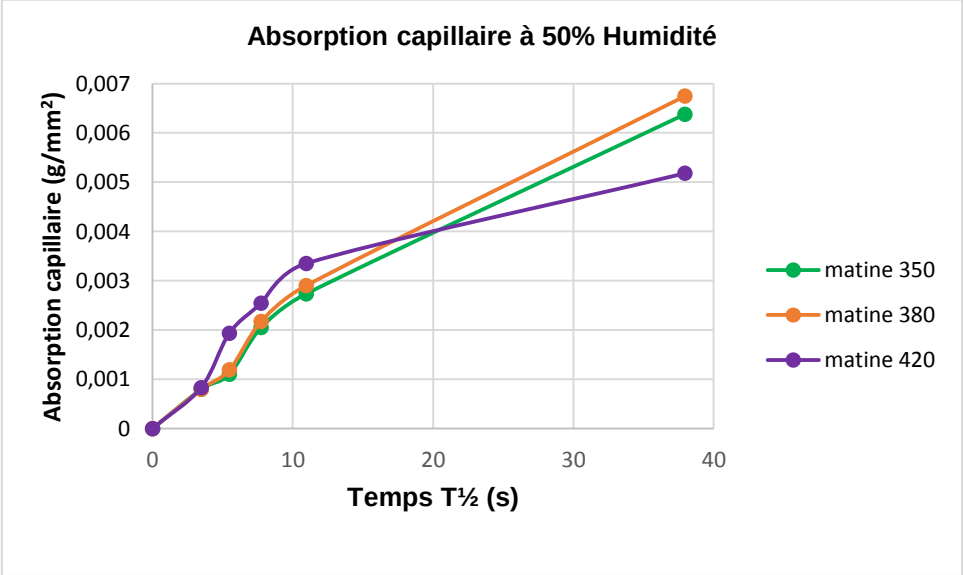
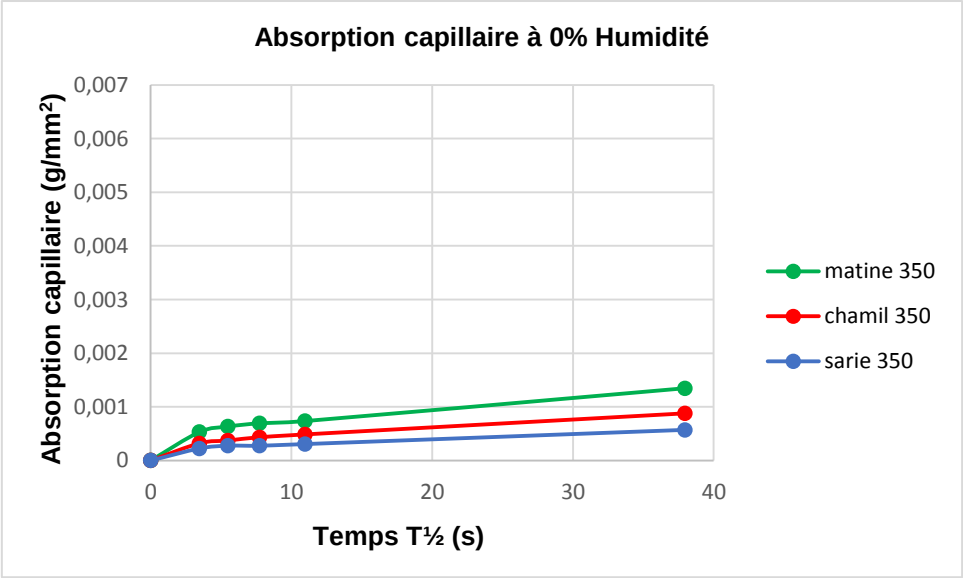


Figure 3-7 : effet de type et dosage de ciment sur l'absorption capillaire à 50% Humidité.



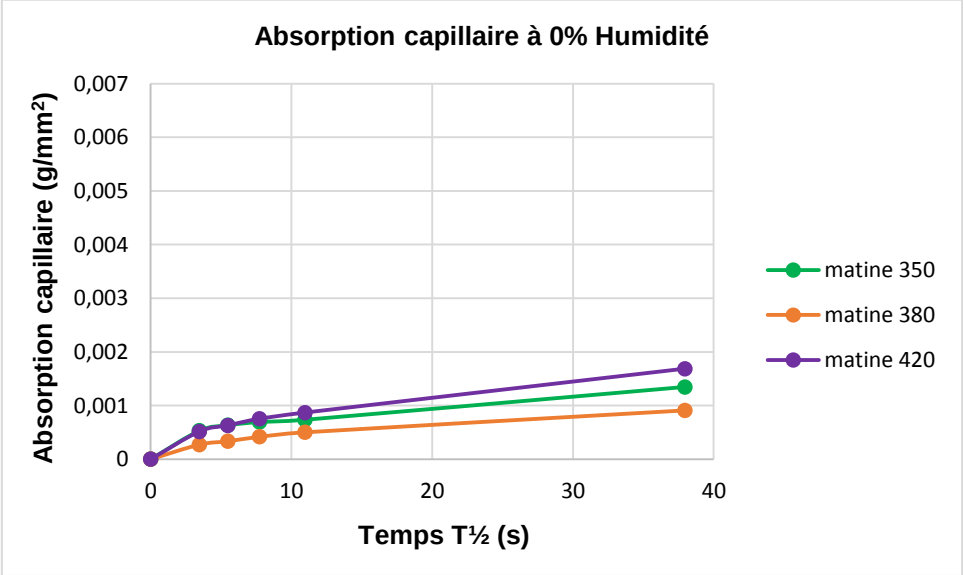


Figure 3-8 : effet de type et dosage de ciment sur l'absorption capillaire à 0% humidité.

3.7. La conductivité thermique

3.7.1. L'effet de type de ciment sur la conductivité thermique

Les résultats obtenus d'essai de la conductivité thermique réalisé sur les bétons de différents types de ciment sont présentés dans la figure 3-9.

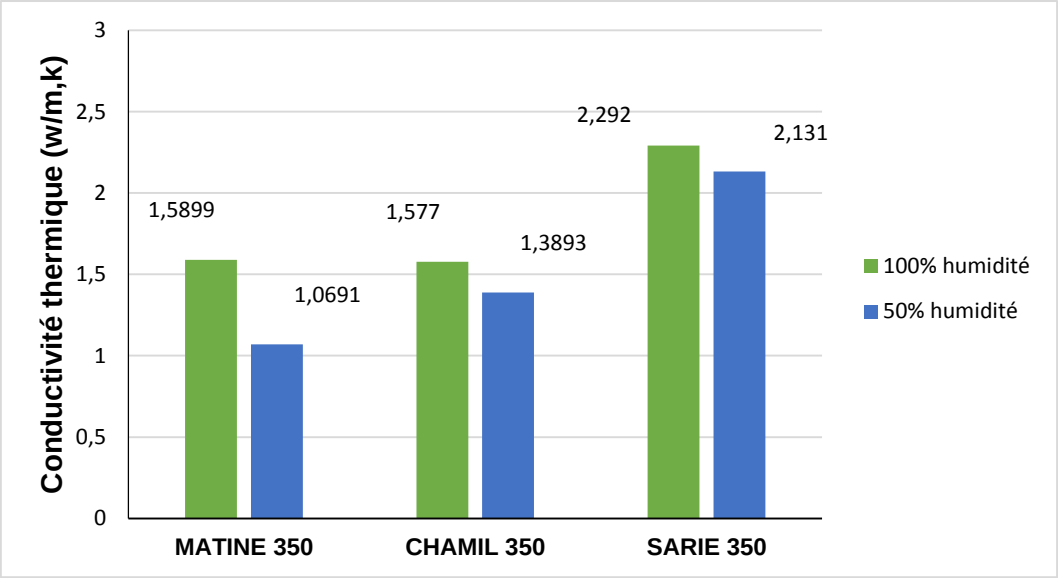


Figure 3-9: La conductivité thermique des différents types de ciment.

Sous deux conditions de conservation différentes (HR =50% et HR = 100%), le ciment SERIE augmente la conductivité thermique par rapport au MATINE et CHAMIL qui donnent même conductivité dans les milieux parfaitement humide (saturé). Par contre lorsque l'HR diminue, la conductivité du béton confectionné de ciment MATINE diminue. Cela implique que ce dernier est sensible à la variation d'humidité que le ciment CHAMIL.

3.7.2. L'effet de dosage en ciment sur la conductivité thermique

Les résultats obtenus d'essai de la conductivité thermique sur les différents dosages en ciment sont résumés dans la figure 3-10.

D'après ces résultats on remarque que lorsque l'HR = 100%, la conductivité thermique augmente avec l'augmentation du dosage en ciment. C'est évident, car l'augmentation du dosage en ciment conduit à l'augmentation de la densité, cette dernière varie linéairement avec la conductivité. Mais lorsque HR diminue à 50%, l'augmentation du dosage en ciment de 380 à 420 Kg/m^3, provoque une diminution de la conductivité, cela peut être exprimé par la diminution de la quantité d'eau par hydratation et autre par évaporation.

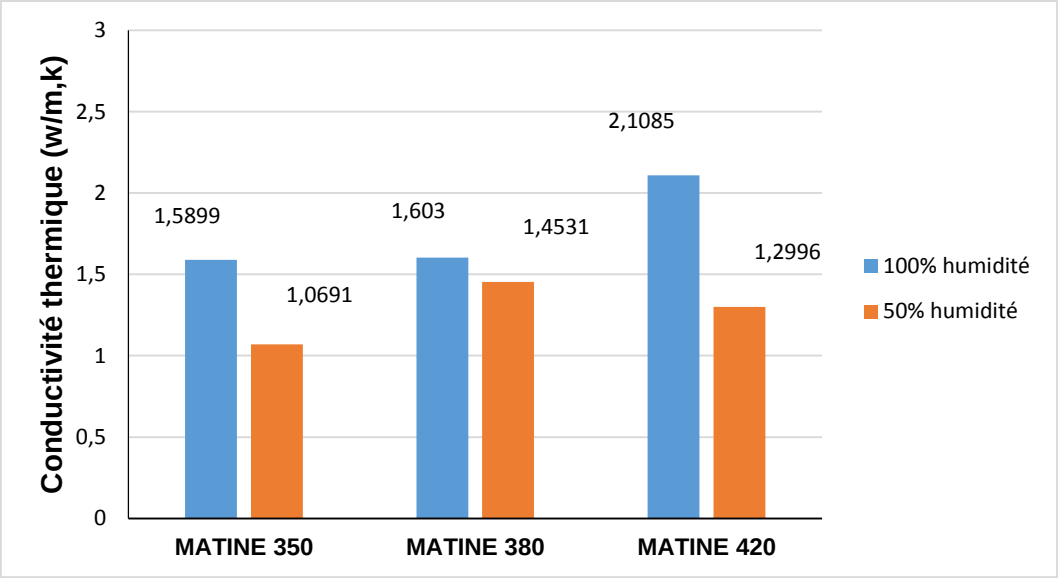


Figure 3-10: La conductivité thermique des différents dosages en ciment.

3.8. La perte en masse

3.8.1. Effet de type de ciment sur la perte en masse

La variation de la perte en masse des bétons de différents ciments conservés sous trois conditions différents (HR ; 0%, 50%, 100%) sont bien illustrées dans les figures 3.11-13. La comparaison entre les différents résultats montre que :

Sous HR = 100%, le béton composé de ciment SARIE absorbe l'eau un peu plus que les deux autres types de ciment qui ont presque le même degré d'absorption. Par contre à HR = 50%, avec le ciment SARIE la perte en masse enregistrée été faible devant celle de deux autres bétons. Pour un dosage de 350kg/m^3 le ciment CHAMIL augmente un peu la perte en masse devant MATINE.

Des faibles pertes en masse sont enregistrées sur les éprouvettes cachets (HR = 0%), on a enregistré des très faibles pertes en masse, il semble que le ciment SARIE consomme une quantité élevée d'eau au court d'hydratation.

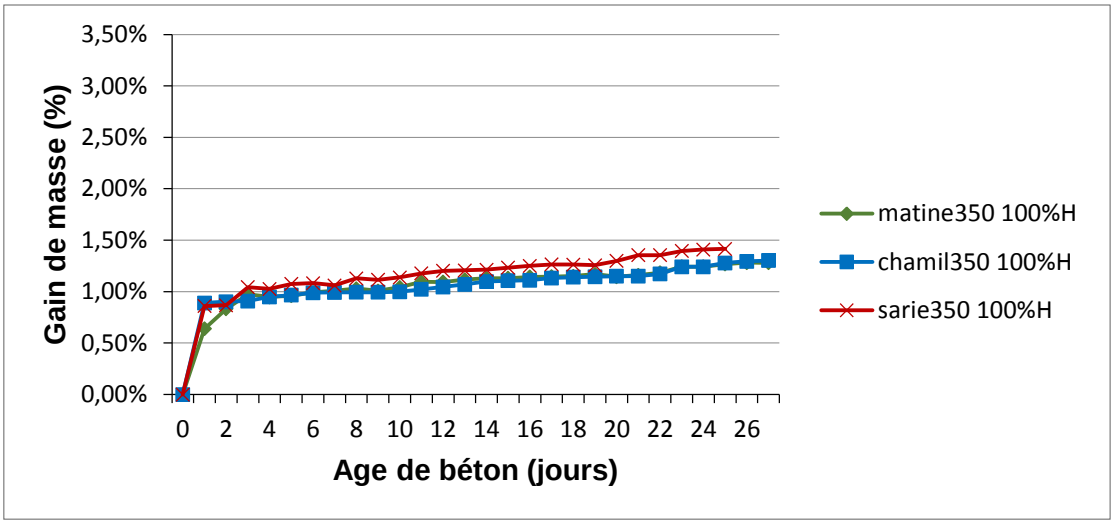


Figure 3-11: Effet de type de ciment sur la perte en masse à 100% humidité.

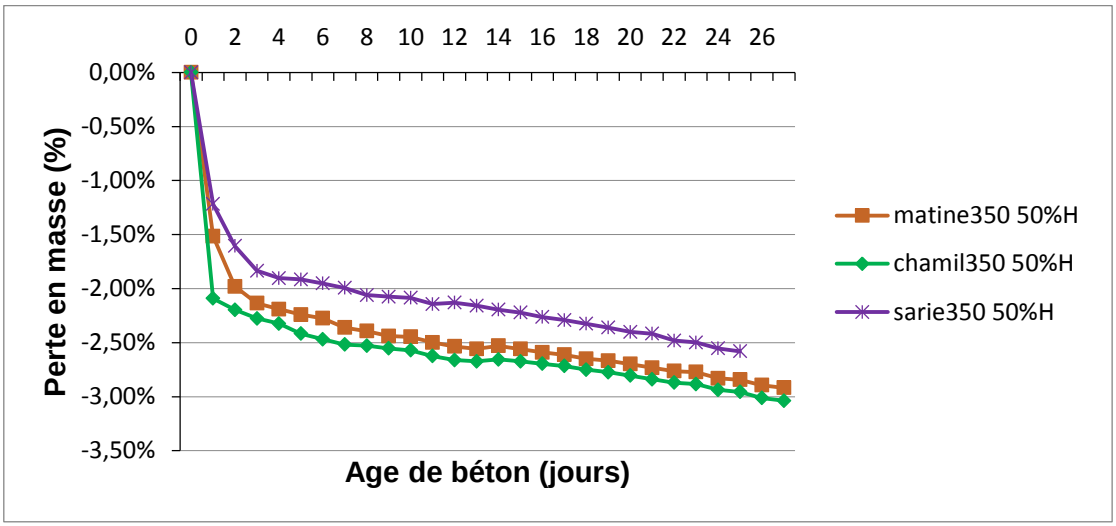


Figure 3-12: Effet de type de ciment sur la perte en masse à 50% humidité.

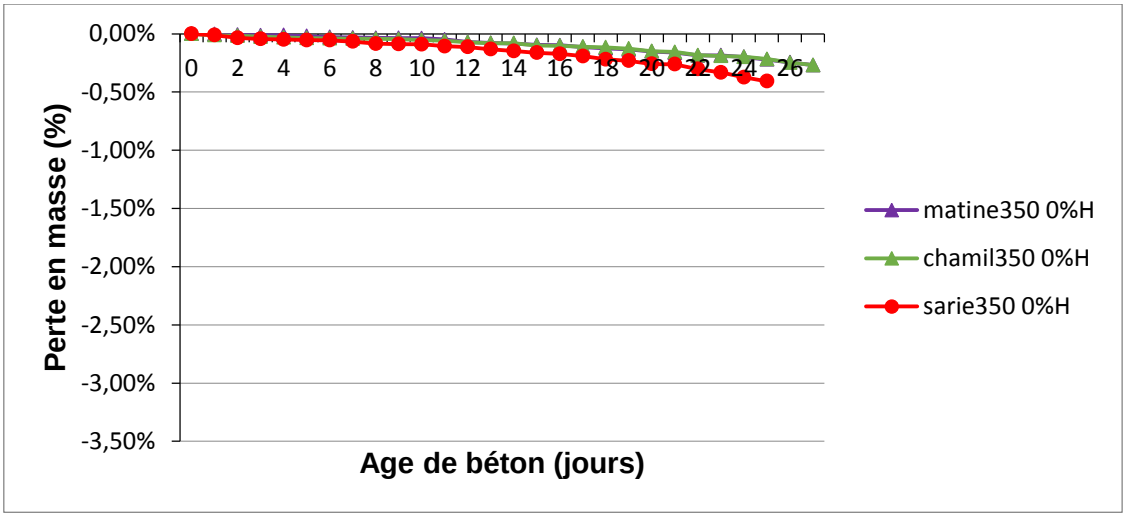


Figure 3-13: Effet de type de ciment sur la perte en masse à 0% humidité.

3.8.2. Effet de dosage en ciment sur la perte en masse

Les résultats de l'effet de dosage en ciment sur la variation de la masse à 100%, 50% et 0% d'humidité sont représentés dans les figures suivantes :

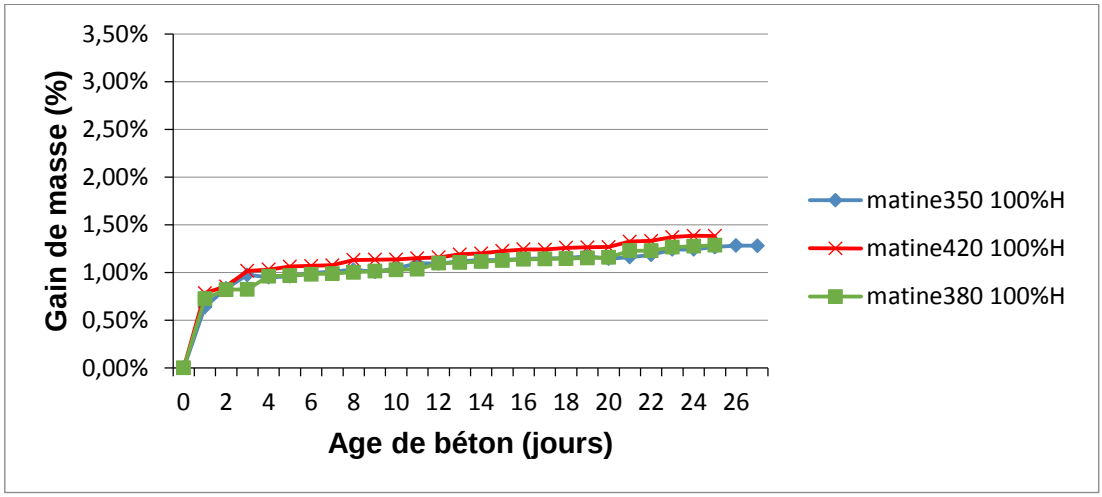


Figure 3-14: Effet de dosage en ciment sur la perte en masse à 100% humidité.

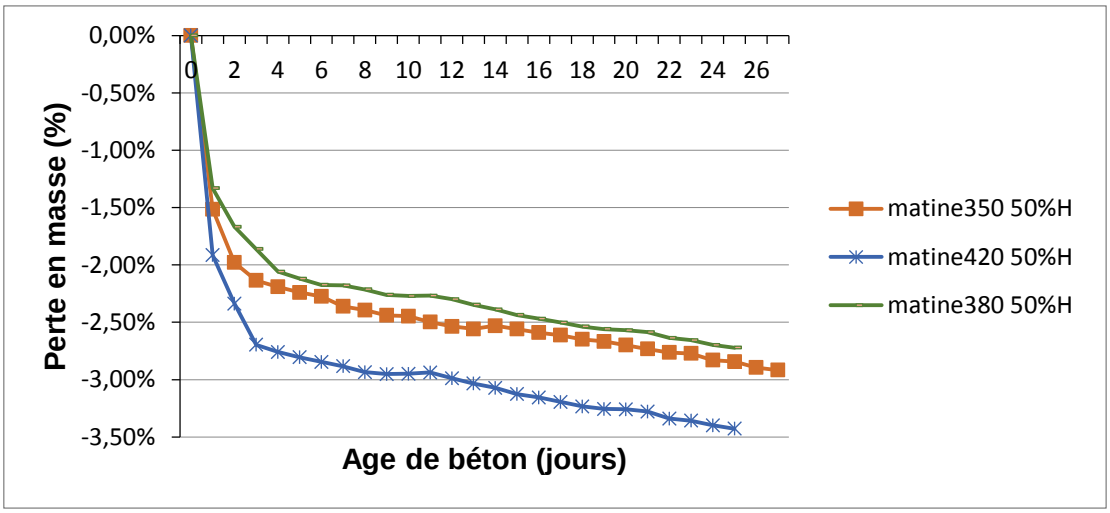


Figure 3-15: Effet de dosage en ciment sur la perte en masse à 50% humidité.

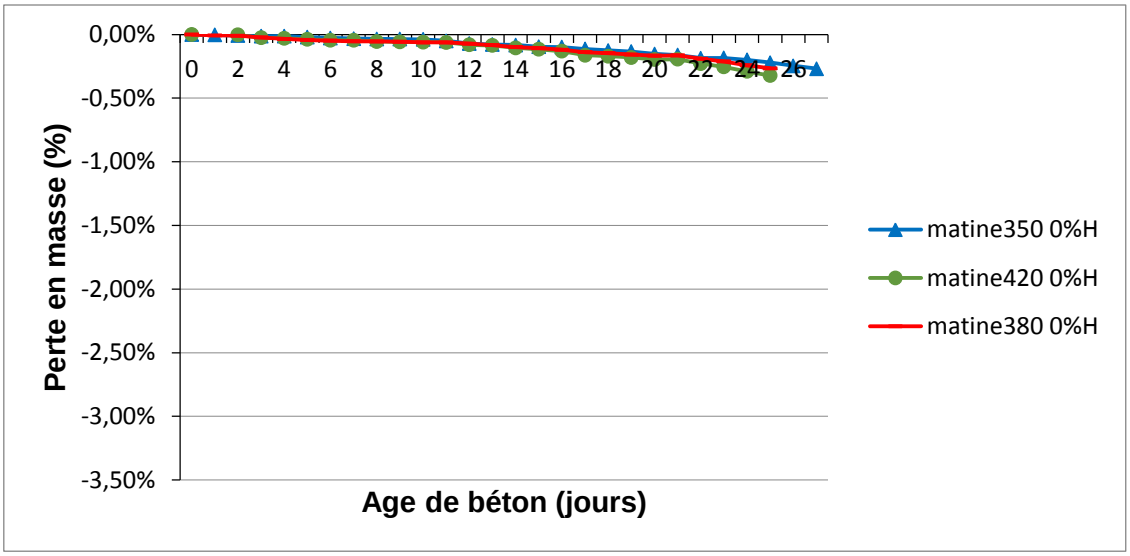


Figure 3-16: Effet de dosage en ciment sur la perte en masse à 0% humidité.

La première constatation tirée à travers ces résultats est qu'il y a une relation linéaire entre la masse et le dosage en ciment.

Sous HR = 100%, le béton composé à un dosage de 420 kg/m^3 en ciment type MATINE absorbe l'eau un peu plus que les bétons de dosages inférieurs. Par contre à HR = 50%, l'augmentation du dosage provoque augmentation de la perte en masse.

Des fiables pertes en masse sont enregistrées sur les éprouvettes cachets (HR = 0%), on a enregistré des très faibles pertes en masse, il semble que le dosage élevé en ciment demande une quantité élevée d'eau au court d'hydratation.

En comparaison avec les constations du paragraphe précédent, le type et le dosage en ciment ont le même effet sur la variation de la masse de béton quelle que soit les conditions de conservation.

3.8.3. Effet de l'humidité relative sur la perte en masse

L'HR représente un facteur important responsable sur la diffusion d'eau dans les matériaux cimentaire. Depuis longtemps il est connu que la variation dimensionnelle causée par la variation de masse est inversement proportionnelle à HR du milieu de conservation. Cette relation est bien représentée dans les figures 3.17-19 qui regroupe les variations de masse de bétons de différents ciments. Sous condition humide ou sèche, la différence est négligeable. Alors que pour HR = 50%, le béton composé de ciment de classe élevée (SARIE) perde la

grande quantité d'eau. Même constations tirée sur l'effet de type de ciment sont observés sur l'effet du dosage. Le béton composé de ciment avec dosage élevé (420 kg/m^3) perde la grande quantité d'eau à 50% d'HR. A 0% les pertes en masse sont presque semblables entre les différents bétons de même type de ciment (MATINE). Même constatation a été observée sur les gains de masse mesurés sur les éprouvettes sous 100% d'humidité relative.

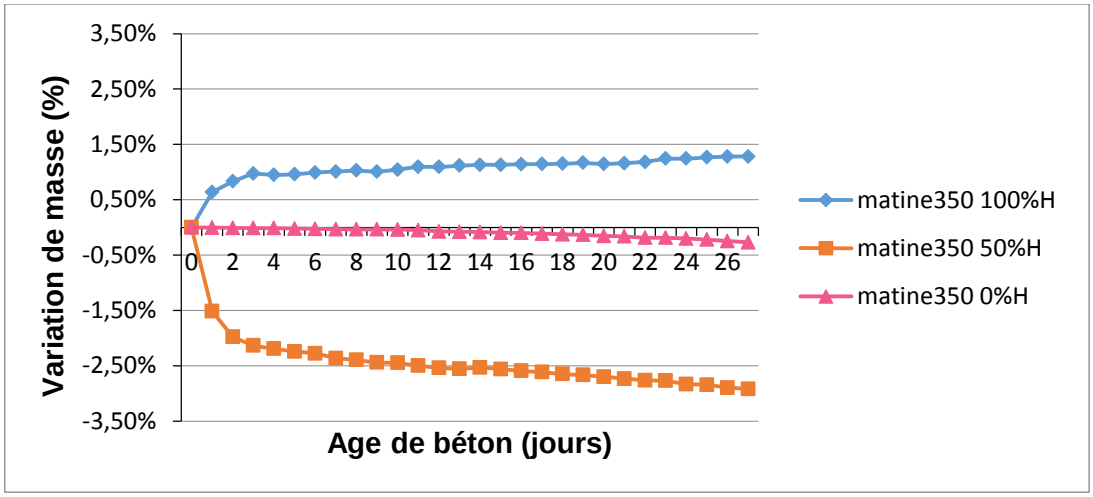


Figure 3-17: Effet de l'humidité relative sur le ciment MATINE dosé à 350 kg/m^3.

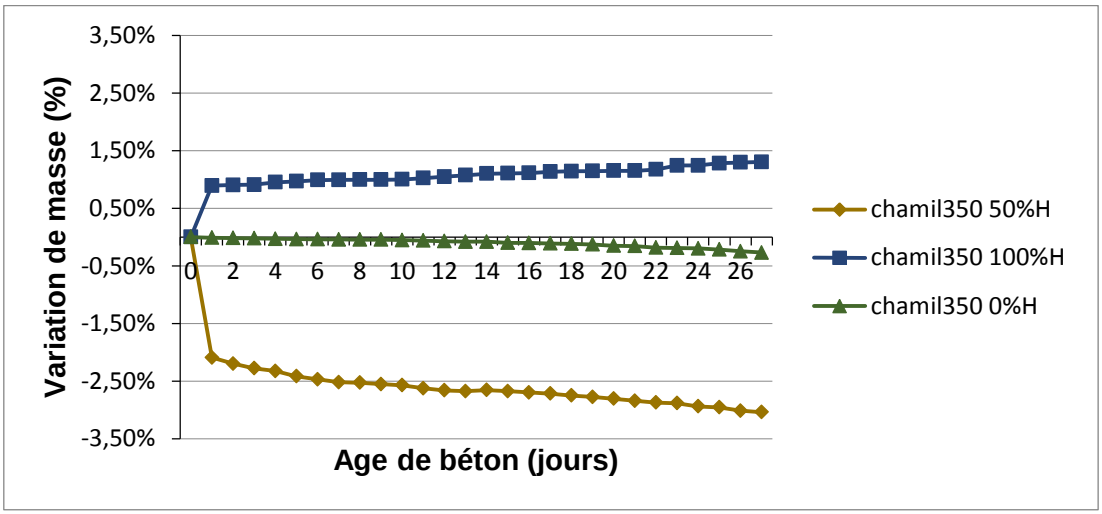


Figure 3-18: Effet de l'humidité relative sur le ciment CHAMIL dosé à 350 kg/m^3.

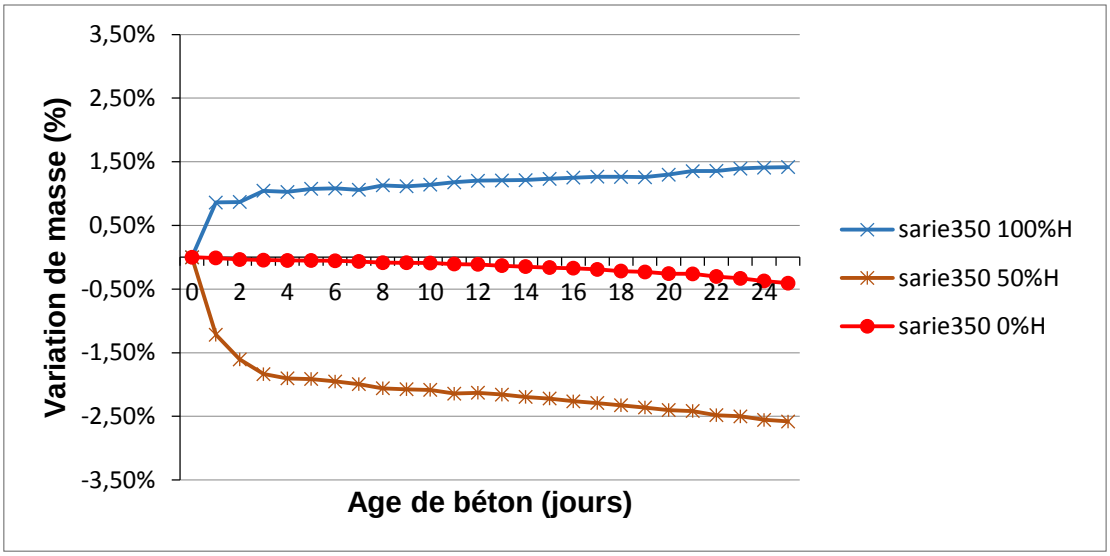


Figure 3-19: Effet de l'humidité relative sur le ciment SARIE dosé à 350 kg/m^3.

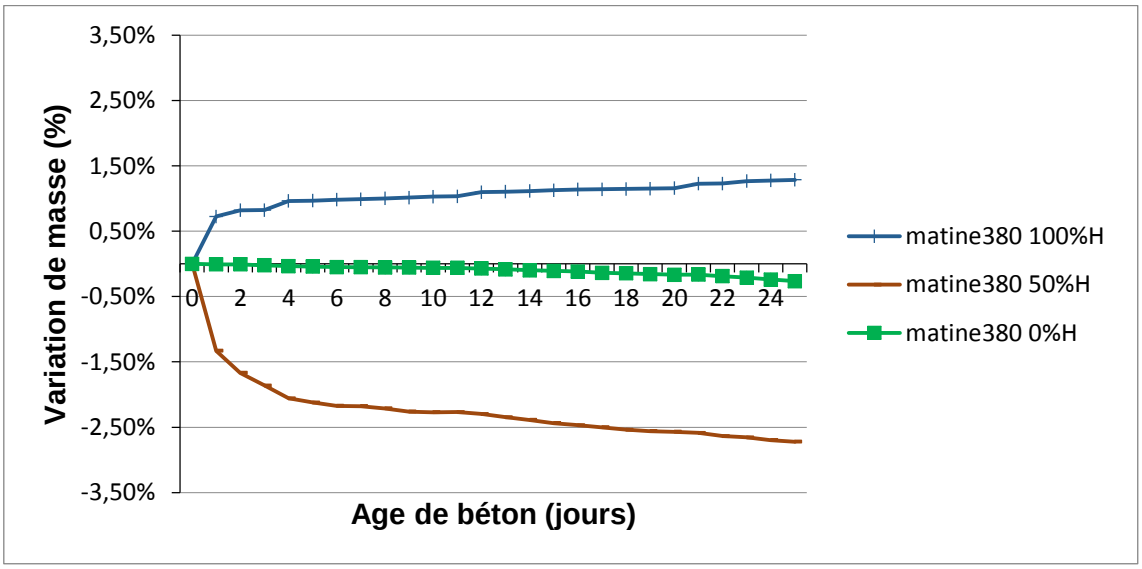


Figure 3-20: Effet de l'humidité relative sur le ciment MATINE dosé à 380 kg/m^3.

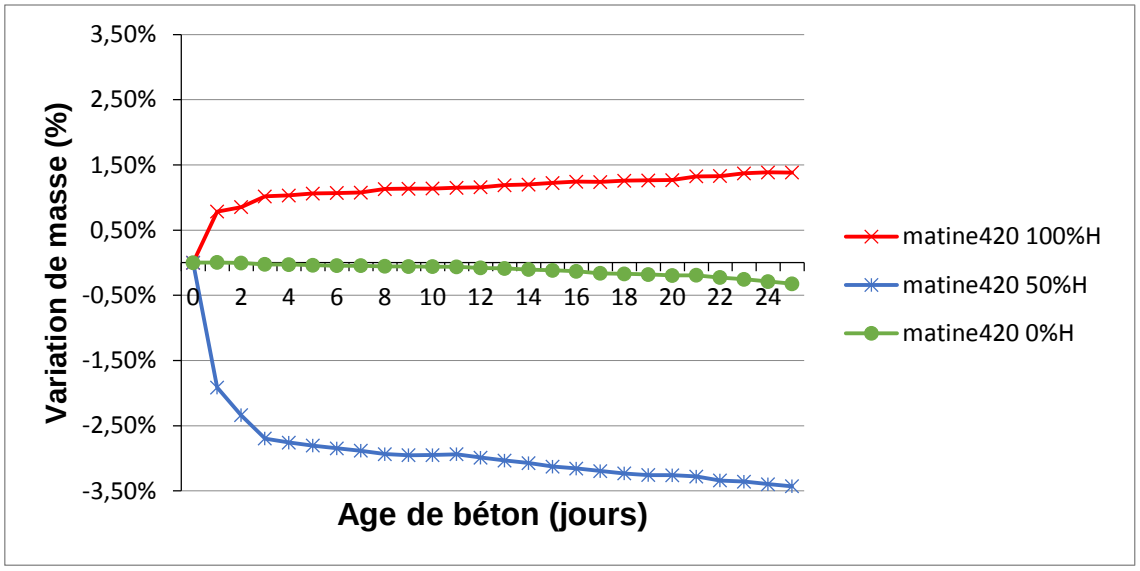


Figure 3-21: Effet de l'humidité relative sur le ciment MATINE dosé à 420 kg/m^3.

3.9. La variation dimensionnelle

Les trois facteurs étudiés (type et dosage en ciment et HR) réellement sont les facteurs major qui ont une influence considérable sur le comportement physico-mécanique des matériaux cimentaires.

3.9.1. Effet de type de ciment sur la variation dimensionnelle

Les résultats de l'effet de type de ciment sur la variation dimensionnelle des bétons composé sont récapitulés dans les figures 3.22-24. Nous remarquons que :

- A HR = 0%, les éprouvettes ont été protégées contre l'évaporation (HR = 0%), ce qui signifie que la déformation mesurée représente le retrait endogène. La constatation peut être tirée dans ce cas (Figure 3-22) est que avec un dosage de 350 KG/m^3, le ciment SARIE augmente le retrait endogène par rapport aux deux autres ciments (MATINE et CHAMIL).
- Lorsque HR = 50%, le ciment SARIE toujours cause une déformation supérieure, suit par le ciment MATINE. Cette fois en parle de retrait total composé de retrait de

séchage et endogène (Figure 3-23). Les faibles déformations sont observées sur les bétons composés de ciment CHAMIL.

Le retrait de séchage de trois séries de béton est déterminé par calcul la différence entre le retrait total (HR =50%) et le retrait endogène (HR = 0%). Les résultats de calcul présenté dans la figure 3-24 montres que le béton composé de ciment MATINE subit un retrait un peu plus élevé suit par le béton de ciment CHAMIL.

- Pour HR = 100%, le béton composé de ciment MATINE subit un gonflement un peu plus élevé dans les 20 premiers jours, suit par le béton de ciment CHAMIL (Figure 3-25).

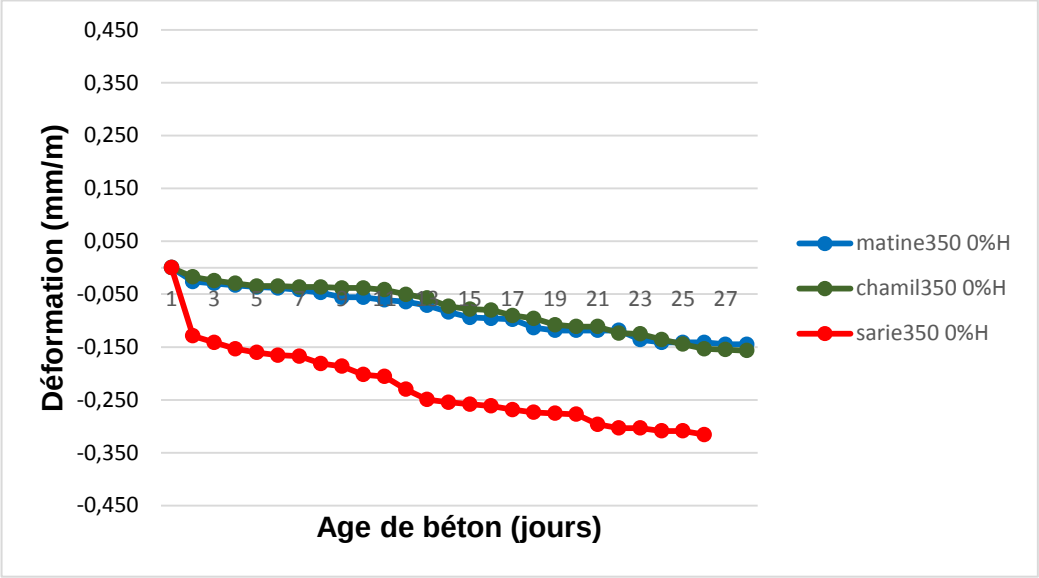


Figure 3-22: Effet de type de ciment sur la variation dimensionnelle à 0% humidité.

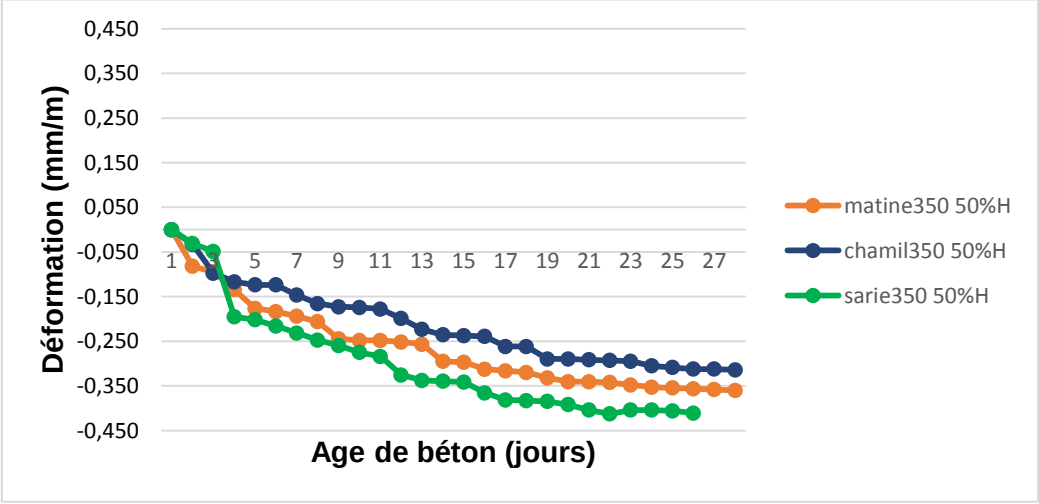


Figure 3-23: Effet de type de ciment sur la variation dimensionnelle à 50% humidité.

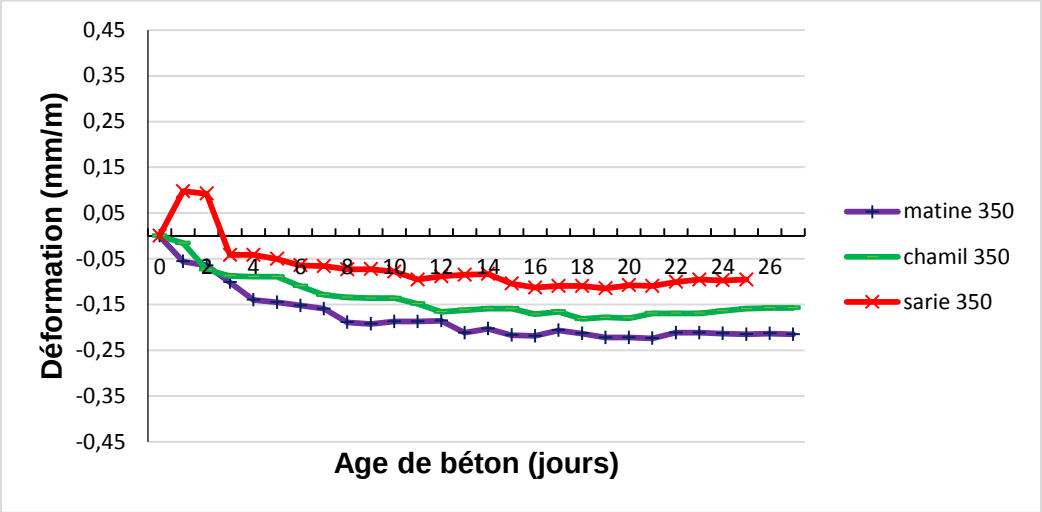


Figure 3-24: Le retrait de séchage des différents types de ciment.

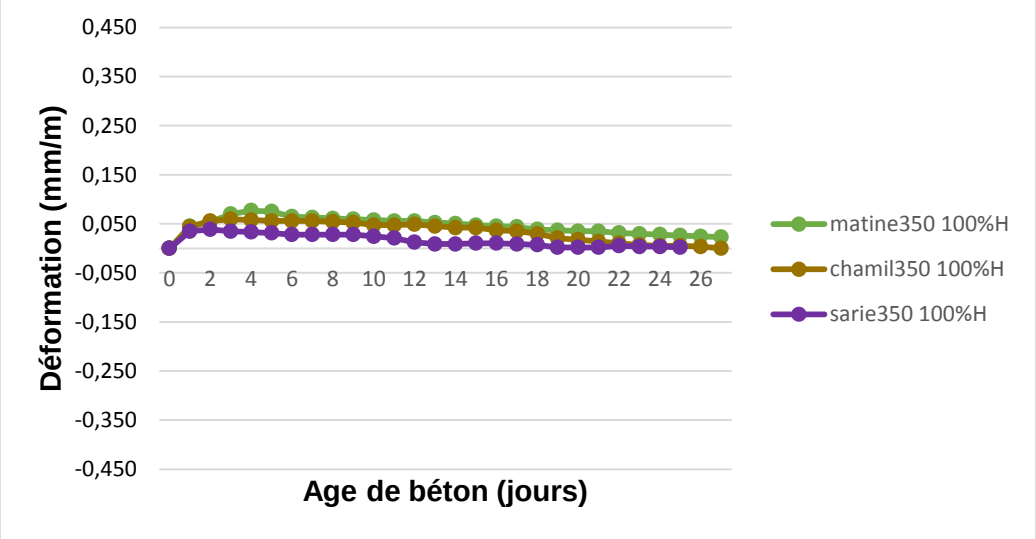


Figure 3-25: Effet de type de ciment sur la variation dimensionnelle à 100% humidité.

3.9.2. Effet de dosage en ciment sur la variation dimensionnelle

Les résultats de l'effet de dosage en ciment sur la variation dimensionnelle sont récapitulés dans les figures 3.26-29.

A travers les résultats présentés dans la figure 3-26 nous remarquons que les déformations mesurées (retrait endogène) sur les bétons dosés de 420, 380 et 350 kg/m^3 de ciment MATINE sont presque identiques. Alors, lorsque l'HR augmente à 50%, les déformations de retrait totales (Figure 3-27) des trois séries se diffères, c'est là où,

l'effet de dosage en ciment apparu. La différence de déformation est réellement due à la différence de retrait de séchage (figure 3-28), mais on ne trouve pas une relation linéaire du retrait en fonction du dosage en ciment MATINE.

Les éprouvettes des bétons dosés à 350 et 380 kg/m^3 en ciment subit même déformation (gonflement), et lorsque le dosage augmente à 420 kg/m^3 la déformation augmente de 330%.

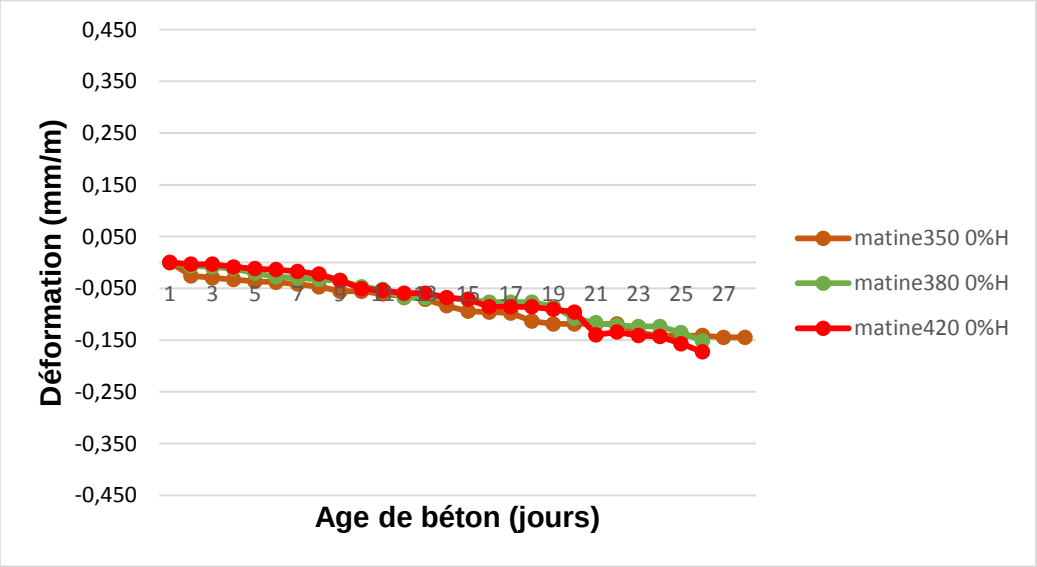


Figure 3-26: Effet de dosage ciment sur la variation dimensionnelle à 0% humidité.

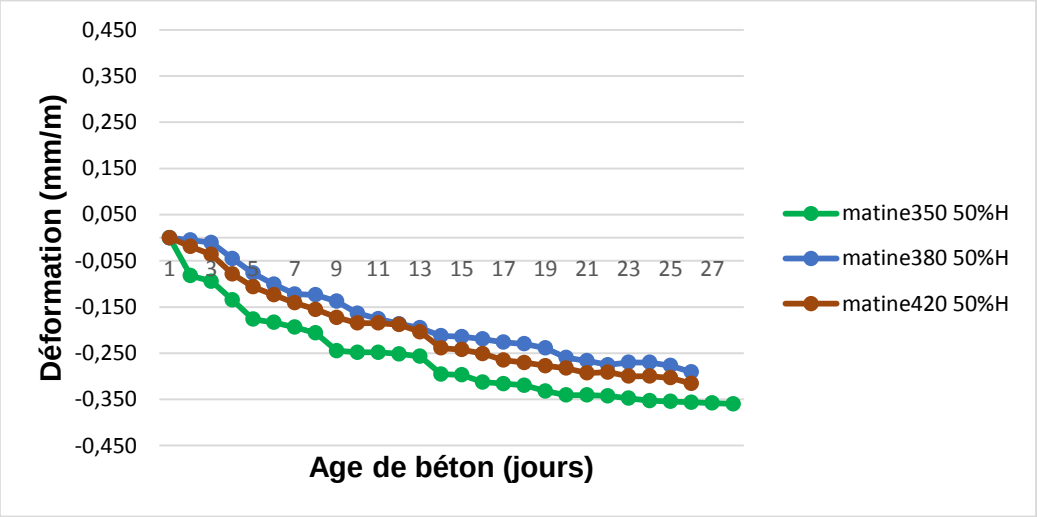


Figure 3-27: Effet de dosage ciment sur la variation dimensionnelle à 50% humidité.

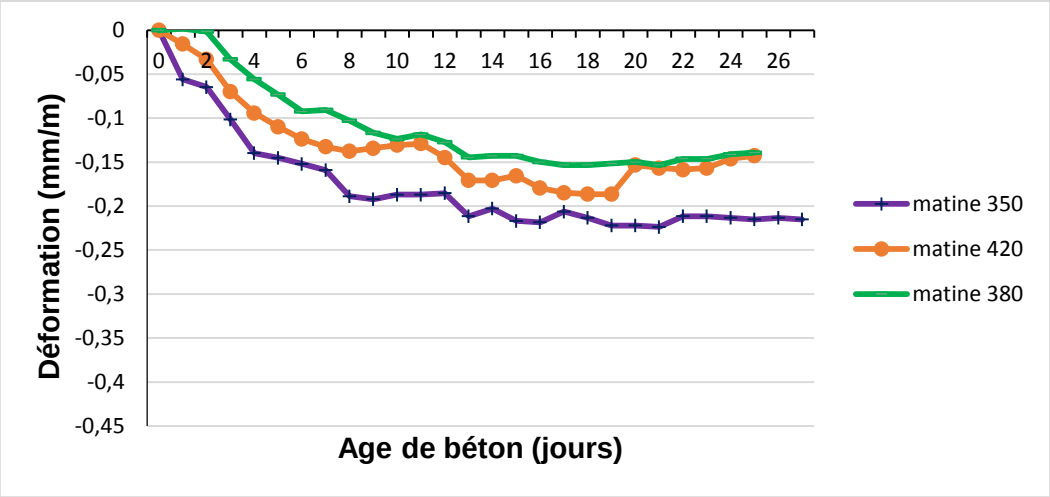


Figure 3-28: Le retrait de séchage des différents dosages de ciment MATINE.

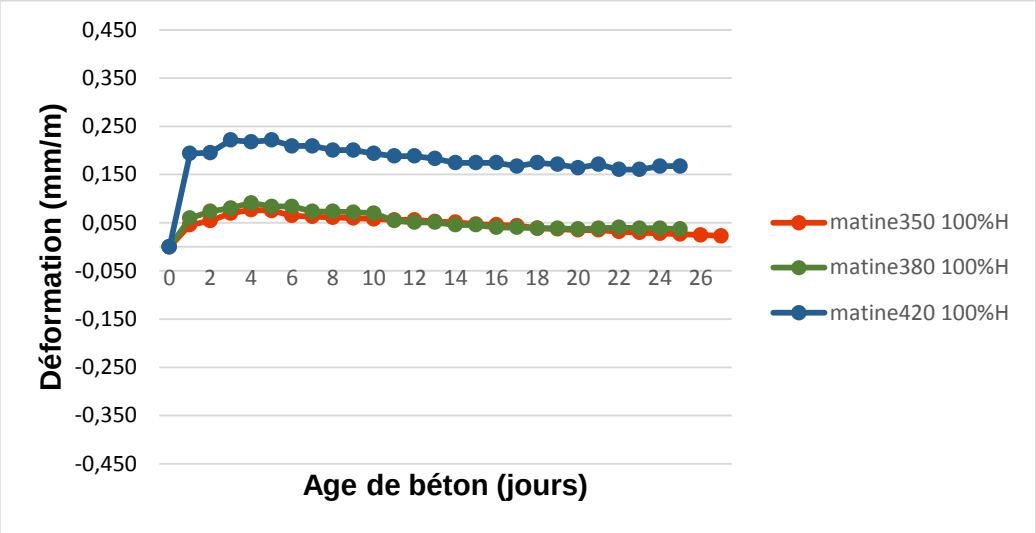


Figure 3-29: Effet de dosage ciment sur la variation dimensionnelle à 100% humidité.

3.9.3. Effet de l'humidité relative sur la variation dimensionnelle

L'HR a un effet considérable sur le retrait de séchage (et le retrait total). Sur les cinq figures 3.30-34 cet effet est bien illustré. La variation de retrait est inversement linéairement à L'HR, autrement dit ; La déformation de retrait augmente avec la diminution de l'HR et inversement. D'un ciment à autre et d'un dosage à autre et sous les mêmes conditions le degré d'influence de l'HR sur le retrait varie. Cela implique que la variation de déformation dépend de la microstructure de la pâte.

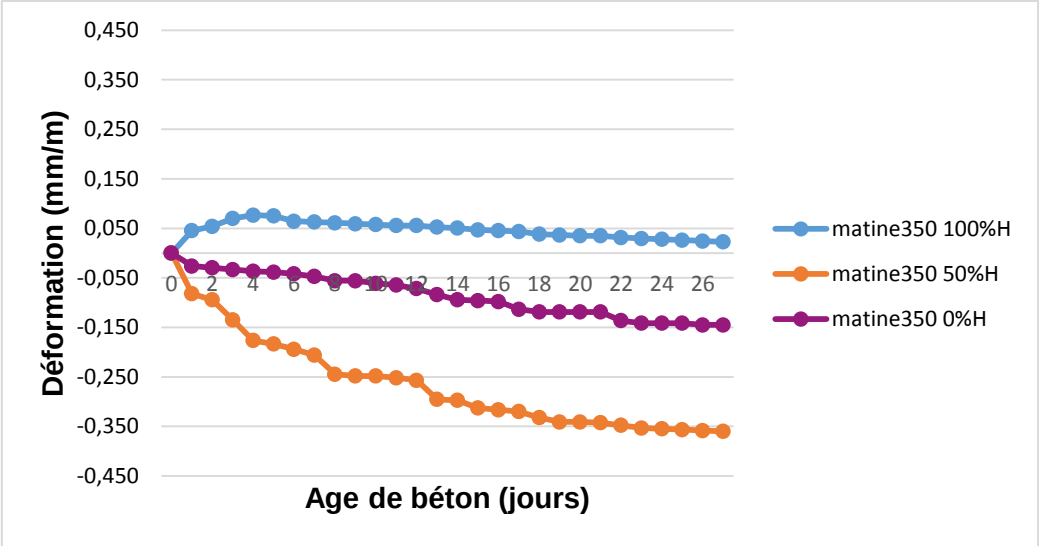


Figure 3-30: Effet de l'humidité relative sur le retrait du béton avec un ciment MATINE dosé à 350 kg/m^3.

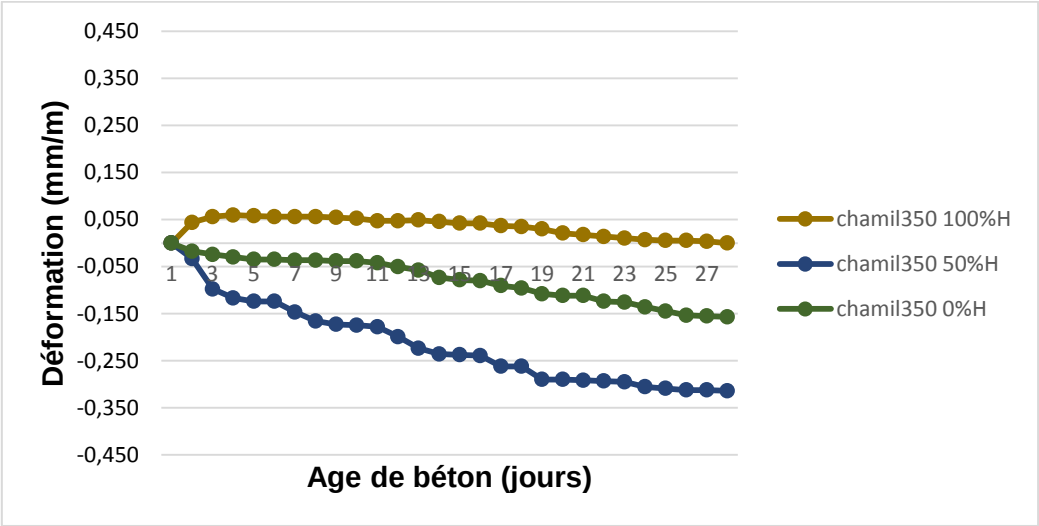


Figure 3-31: Effet de l'humidité relative sur le retrait du béton avec un ciment CHAMIL dosé à 350 kg/m^3.

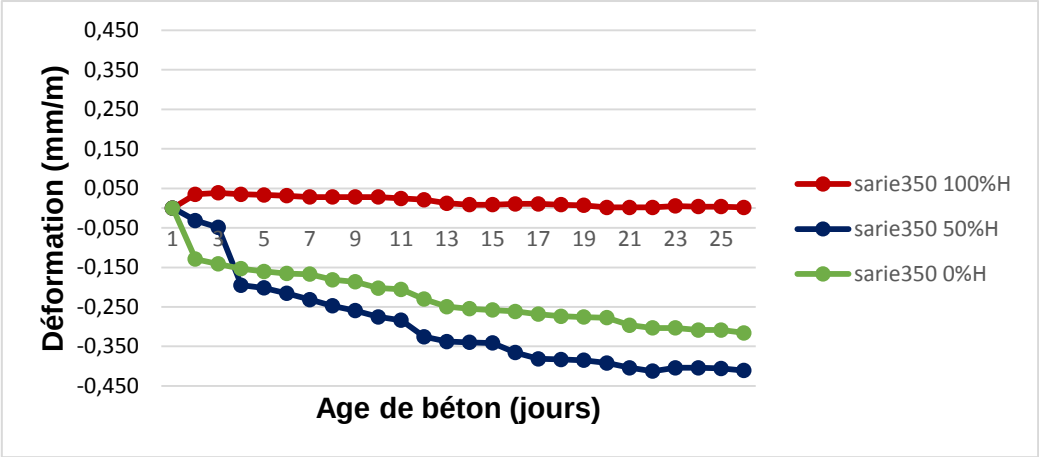


Figure 3-32: Effet de l'humidité relative sur le retrait du béton avec un ciment SARIE dosé à 350 kg/m^3.

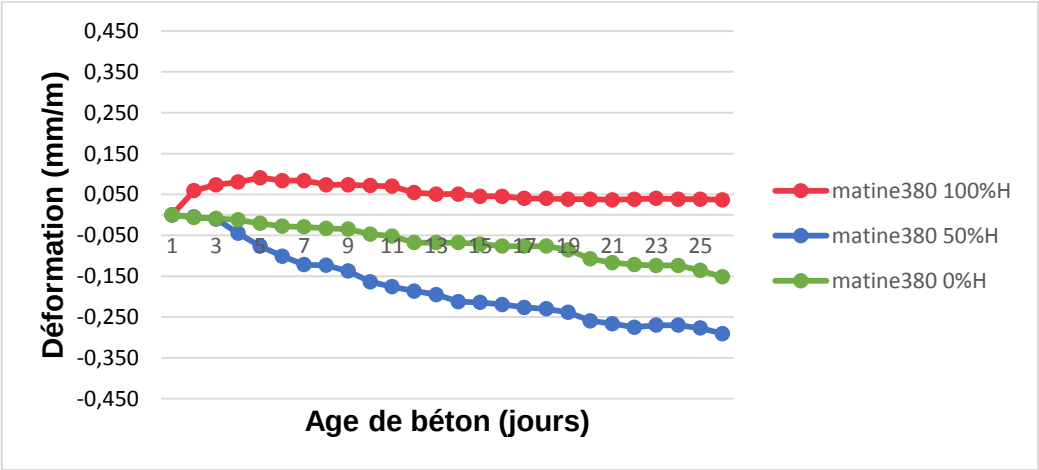


Figure 3-33: Effet de l'humidité relative sur le retrait du béton avec un ciment MATINE dosé à 380 kg/m^3.

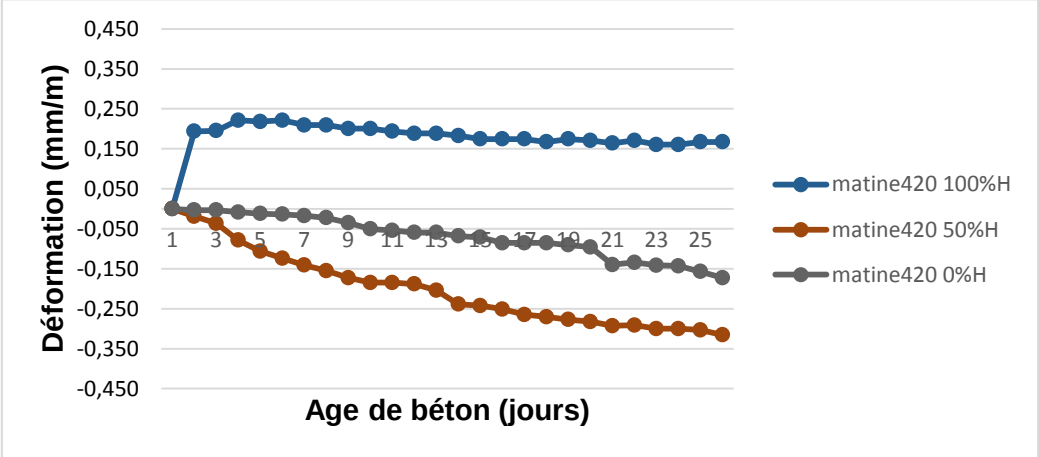


Figure 3-34: Effet de l'humidité relative sur le retrait du béton avec un ciment MATINE dosé à 420 kg/m^3.

CONCLUSION GENERALE

Conclusions générales

L'objectif du présent travail été l'étude des propriétés mécaniques (résistance à la traction et à la compression) ; physiques (absorption et retrait) et thermique (conductivité) des bétons sous l'effet de type et dosage de ciment et conservés dans trois conditions hygrométrique (d'humidité relative de l'environnement) différentes

A travers les constations tirés du troisième chapitre, nous pouvons conclure comme suit :

- Malgré la différence de classe de deux ciment CHAMIL et MATINE, mais les résistances des bétons préparés par ces ciment se converge. A 28 jours.

- L'influence du dosage en ciment sur les résistances des bétons apparait mieux lorsque ces dosages sont élevés.

- Les deux ciments CHAMIL et SARIE diminuent le degré d'absorption par capillarité par rapport à MATINE.

- L'absorption par capillarité est linéairement proportionnelle au dosage en ciment. Et inversement proportionnelle à HR si cette dernière reste inférieur à 100%

- La conductivité thermique diminue dans les bétons conservés dans les milieux de faible HR, cela due à la diminution de la quantité d'eau dans le matériau.

- La conductivité thermique ne dépend pas de classe, mais elle dépend des caractéristiques du ciment.

- Le béton composé de ciment SARIE subi des déformations de retrait plus élevées et faible gonflement par rapport aux autres ciments.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Dupain.R et Lanchon.R, « granulats, sols, ciment et bétons paris », Ed Educalivre, 276p.
[2] : AFGC, « Bétons Autoplaçants » - Recommandations Provisoires. Page 63, 2000.
[3] : Aitcin.P.C et Baron.J, « Béton haute performance », Ed.Eyrolles, 1996
[4] : CIM béton, «le ciment et ses applications », fiches technique 2000.
[5] : NF EN 206-1 « Béton - Partie 1 : spécification, performances, production et conformité », Avril 2014.
[6] : Dreux.G et Festa.j, « Nouveaux guide du béton et de ces constituants », Ed. Eyrolles, 1998.

[7] : BOUGUERRA Rafik, KASRI Mounir, «Performance d'un béton compacté au rouleau(BCR) dans un climat chaud », Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique, Université Mohamed Boudiaf de M'sila, Algérie, 2017.

[8] : ADAM M. NEVILLE, « des Bétons, édition Eyrolles », Paris (France), 2000.
[9] : Association technique de l'industrie des liants hydrauliques, «Guide pratique pour l'emploi des ciments » P 74, édition Eyrolles1998.
[10] : NF EN 197-1, « Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants », Avril, 2012.
[11] : Benyahia Abdelaziz, Hacieni Nadir, Souna Hadjer. Mémoire de fin d'étude en Génie Civil « Formulation de béton à base d'un sable selon la méthode de DREUX-GORISSE », Université Yahia Fares, Médéa, Algérie, Juin 2013.
[12] : Presse de l'école national des ponts et chaussées LCPC, Le béton hydraulique, connaissances et pratique, P409, 1998.
[13] : NA 16002, « BÉTON, SPÉCIFICATION, PERFORMANCES, PRODUCTION ET CONFORMITÉ ».
[14] : XP P18-540, « Granulats - Définitions, conformité, spécifications », Octobre 1997.
[15] : NF EN 12620, « Granulats pour béton », Juin 2011.
[16]: KATTAB.R, « valorisation de sable de dune ». Thèse doctorat, Alger: ENP, 2007.
[17] : NA 774, «ADJUVANTS POUR BÉTON, MORTIER ET COULIS, ADJUVANTS POUR BETON, DEFINITIONS, EXIGENCES, CONFORMITÉ, MARQUAGE ET ÉTIQUETAGE », 2006.
[18] : Dossier technique de la société GRANITEX-NP, BP 85, 16270 Oued Smar Alger.
[19] : CHERIAT. Y, NAFA. Z, «Elément de matériaux de construction et essais», France, 1993.

[20] : ASTM C 618-94, « Coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete », ASTM Standards, 1994.
[21] : NF 15-301, «Liants hydrauliques- Ciments courants- Composition, spécification et critères de conformité », Octobre2002
[22] : NF EN 12350-2, « Essais pour béton frais - Partie 2 : essai d'affaissement ».
[23] : NF EN 12350-6, « Essais pour béton frais - Partie 6 : masse volumique ».
[24] : Norme NF EN 12350-8, « Essai pour béton frais - Partie 8 : béton auto-plaçant - Essai d'étalement au cône d'Abrams ».
[25] : NF EN 12350-10, « Essai pour béton frais - Partie 10 : béton auto-plaçant - Essai à la boîte en L ».
[26] : NF EN 12350-9, « Essai pour béton frais - Partie 9 : béton auto-plaçant - Essai d'écoulement à l'entonnoir en V ».
[27] : NF EN 12350-11, «Essai pour béton frais - Partie 11 : béton auto-plaçant - Essai de stabilité au tamis ».
[28] : ACKER P, ADAM M, MAMILLAN M, SAULNIER J, « Béton hydraulique », Technique de l'ingénieur, Traité construction, C 2 240, 1986.
[29] : BENIA M., « Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux sur le comportement mécanique du mortier et du béton à base de matériaux locaux», Mémoire de Magister, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, Algérie, 1998.
[30] : BREYSSE D., ABRAHAM O, « Méthodologie d'évolution non destructive de l'état d'altération des ouvrages en béton », Presse de l'école nationale des Pont et Chaussées, Paris, France, 2005.
[31] : NAADIA T, « La qualité du béton dans les chantiers de construction », Mémoire de Magister, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, Algérie, 1996.
[32] : U.S. BUREAU OF RECLAMATION, « Concrete Manual », 8th EDN (Denver, Colorado), 1975.
[33] : GONNERMAN H.F., LERCH W. « Changes in characteristics of portland cement as exhibited by laboratory tests over the period 1904 to 1950 », ASTM Sp. Publ. N° 127, 1951.
[34] : LARRARD F et TONDAT P, « Sur la contribution de la topologie du squelette granulaire à la résistance en compression du béton », Materials and structures J, N°26, pp 505-516, 1993.
[35] : KEDJOUR. N, « Propriétés et pathologie du béton », Offre des publications universitaires, Algérie, 1993.

[36] : D.T.R. BE 2-1, « Règles d'exécution des travaux de construction d'ouvrage en béton armé », C.G.S, 1991

[37] : DERBALA A, « Contribution aux possibilités d'amélioration de la qualité du béton », Mémoire de Magister, Université Saad Dahleb Blida, Algérie, 1999.

[38] : BRAHMA A, « Le Béton », Office des Publications Universitaires, Algérie, 1992.

[39] : KHODJA A.B, «Corrélation entre essais non destructifs et essai destructifs du béton à faible résistance», Mémoire de Magister, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie, 2010.

[40] : BOUKLI H, GHOMARI F, SCHOEFS F et KHELIDJ A, « Etude expérimentale et statistique de l'influence de l'affaissement et de l'air occlus sur la résistance à la compression des bétons », Libanaise Science Journal, Vol 10, N° 2, pp 91-100, 2009.

[41] : BELOUADAH M, « Evaluation des effets secondaires liés à l'incorporation des adjuvants sur les propriétés de durabilité du béton à base de matériaux locaux », Mémoire de Magister, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, Algérie, 2004.

[42] : NEVILLE A.M, « Test on the strength of high-alumina cement concrete », J. New Zealand Inst. E., 14, N° 3, pp. 73-7, 1959.

[43] : ALEXANDER K.M, IVANUSEC I, « Long term effects of cement SO3 content on the properties of normal and high-strength concrete, Part I. The effect on strength, Cement and Concrete Research », 12, N° 1, pp. 51-60, 1982.

[44] : KAKIZAKI M., EDAHIRO H., TOCHIGI T., NIKI T,«Effect of mixing method on mechanical properties and pore structure of ultra high-strength concrete », Katri Report N° 90, 19 pp. (Kajima Corporation, Tokyo, 1992) (and also in ACI SP-132 (Detroit, Michigan, 1992)).

[45] : Ollivier J.P., BUIL M, « Conception des bétons : la structure poreuse, ''La durabilité des bétons'' », Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Eds., Paris, 1992.

[46] : HERMIDE G, « Influence du volume de pâte et de la concentration en ciment sur la performance du béton : vers le développement d'un béton à contenu minimal en pâte », thèse de doctorat de l'école normale supérieure de Cachan, France, 2008.

[47] : STOCK A.F., HANNANT D.J., WILLIAMS R.I.T, « The effect of aggregate concentration upon the strength and modulus of elasticity of concrete », Mag. Concr. Res., 31, N° 109, pp. 225-34, 1979.

[48] : KAWAKAMI H, « Effect of gravel size on strength of concrete with particular reference to sand content », Proc. Int. Conf. on Mechanical Behaviour of Materials, Kyoto,

vol. IV, Concrete and Cement Past Glass and Ceramics, pp. 96-103 (Society of Materials Science, Kyoto, Japan), 1972.
[49] : DE LARRARD F., SITZKAR J.C., HU C, « Conception d'un rhéomètre pour bétons fluides », Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, N° 186, Juillet-Août, pp. 55-60, 1993.
[50] : MEYER A, « Über den Einfluss des Wasserzementwertes auf die Fruhfesteigkeit von Beton », Betonstein Zeitung, N° 8, pp. 391-4, 1963.
[51] : WOOD S.L, « Evaluation of the long-term properties of concrete », ACI Materials Journal, 88, N°. 6, pp. 630-43, 1991.
[52] : KLIEGER P. (1958) ; Effect of mixing and curing temperature on concrete strength, J. Amer. Concr. Inst., 29, 12, 1063-1081.
[53] : VERBECK G.J., HELMUTH R.A. (1968) ; Structures and physical properties of cement paste, Proc. 5th Int. Symp. On the Chemistry of cement, Tokyo, Vol. 3, pp. 1-32.
[54] : MAMILLAN M. (1970) ; Recherches expérimentales sur l'accélération du durcissement du béton par le chauffage, Annales de l'ITBTP, 267-268, 133-203.
[55] : ALEXANDERSON J. (1972) ; Strength losses in Heat Cured Concrete, Swedish Cement and Concrete Research Institute at the Royal Institute of Technology, Stockholm.
[56] : BYFORS J. (1980) ; Plain concrete at early ages, Swedish Cement and Concrete Reaserch Institute at the Institute of Technology, Ed., Stockholm, CBI, Reaserch 3:8.
[57] : REGOURD M., GAUTIER E. (1980) ; Comportement des ciments soumis au durcissement accéléré. Annales de l'ITBTP, N° 387, oct.
[58] : RADJEL Bachir., YAHIAOUI Mourad, « La mesure de la résistance du béton à la traction », Université de Annaba, Algérie, pp 30-31.
[59] : NF P18-407, «Essai de traction par flexion », Février, 1969.
[60] : NF P 18-408, «Essai de traction par fendage », Février, 1969.
[61] : NF P18-409, «Essai de traction directe », Février, 1969.
[62] : TOUMI Belkacem, «Etude de l'influence des hautes températures sur le comportement du béton », thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine, Algérie.
[63] : R.JONES and M.F.KAPLAN, « The effects of coarse aggregate on the mode of failure of concrete in compression and flexure », Mag.Concr.Res,9,N°.26,pp.89-94,1957.
[64] : C.PERRY and J.E.GILLOTT, « The influence of mortar-aggregate bond strength on the behaviour of concrete in uniaxial compression », Cement and Concrete Research, 7, N°.5, pp.533-64, Sept.1977.

[65] : A.F.STOCK , D.J.HANNANT, and R.I.T.WILLIAMS, « The effect of aggregate concentration upon the strength and modulus of elasticity of concrete », Mag.Concr.Res.,31,N°.109,PP.225-34, Dec.1979.

[66] : P.A.A Gutierrez, and M.F.Canovas, « High Performance Concrete : Requirements for Constituents Materials and Mix Proportioning.A.C.I Materials Journal », 93(3), 233-241, 1996.

[67] : M.HAMRAT, and M.CHEMROUK., « Béton à Haute Performance : Etude expérimentale sur la formulation », National Seminar of Civil Engineering, Oran (Algeria), January 2003.

[68] : PIMIENTA, P, « Propriétés des BHP à haute température – Etude bibliographique », Cahier de CSTB, Cahier du CSTB, n° 3352, Livraison 421, Juillet Aout, 2001.

[69] : Noumowé, N.A, « Effet de hautes températures (20°C-600°C) sur le béton », Cas particulier du BHP, Thèse de Doctorat de l'INSA de Lyon, France, 1995.

[70] : BARON, J., OLIVIER, J, P, «La durabilité des bétons », Presses de l'ENPC, Paris, 1992.

[71] : MEEKS, K. W. and CARINO, N, J, «Curing of light-performance concrete : Report of the state of the art », Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899, March 1999.

[72] : AZIZI Nourreddine, «Caractérisation des ciments algériens et leurs effets sur les performances du béton », Mémoire de Magister, Université Yahia Fares Médéa, Algérie, Décembre 2011.

[73] : Nicolas Bur, « Etude des caractéristiques physico-chimiques de nouveaux bétons éco-respectueux pour leur résistance à l'environnement dans le cadre du développement durable ». Mécanique des matériaux [physics.class-ph]. Université de Strasbourg, France, 2012.

[74] : WITTMANN F.H : « on the action of capillary pressure in fresh concrete ». Cement and concrete, Res 1976- 6.1, pp 49-56.

[75] : BOUCHERIT Dalila, «Analyse du comportement différé du béton: Etude et modélisation du retrait de séchage du béton », Thèse de Doctorat, Université Saad Dahleb Blida, Algérie, Juin 2015.

[76] : DE LARRARD.F, « Concrete mixture proportioning », 1999.

[77] : VEINUAT,M « La précontrainte des ciments et des bétons », Editions du Moniteur des travaux publics et du bâtiment, 1976.

[78] : BAZANT, Z, P et PANNULA, L. New model for practical prediction of creep and shrinkage. American Concret Institute Special Publication. SP-76 (Proc, A. Pauw Symp. Held in Houston 1978). Detroit Mich., pp 7-23, 1982.
[79]: NEVILLE,A.M et BROOKS,J,J « Concrete Technology», copublished in the united states with John Wiley, Longman group UK limited 1987.

[80] : BROOKS,J,J, et AL-QUARRA,H,.«Assessment of creep and shrinkage of concrete for the flintshire Bridge», the structural Engineer, volume 77/ No 5, 2 March 1999.
[81]: DE LARRARD,F et BOUSTVIRONNOIS,J,V «On the long term strenght losses of silicia fume hight strength concrete». Mag, Conc, Res, 43, N°155, pp109-119, 1991.

[82] : HUO X.S, WONG l.U, « Experimental study of early age behavior of high performance concrete deck slabs under different curing methods, Construction and Building Materials », Vol. 20, Dec 2005, pp1049-1056.

[83] : BERTHIER,P,M «Physique des bétons et des aciers pour ouvrages en béton précontraint», Annales ITBTP No 389, pp35-66, Dec 1980.

[84] : TAMITA,R ; SIMOYAMA.Y et INONE.K « properties of Hardened concrete Impregnated with cement shrinkage Reducing Agent », CAJ Review, 1986, pp 314317.

[85] : SHAH,S.P.et KARAGULER,M.E et SARIGAPHUTI.M «Effects of shrinkage-redusing admistures on restrained shrinkage cracking of concrete».

[86] : BROOKS. J.J, « Influence of mix proportion, plasticizers and superplasticizers on creep and drying shrinkage of concrete », Magazine of Concrete Research. Vol. 41, N° 148, Sep 1989, pp. 145-153.

[87] : Bissonnette B, Pierre P, Pigeon M., Influence of key parameters on drying shrinkage of cementitious materials. Cement and Concrete Research, Vol. 29, 1999, pp. 1655–1662.

[88] : Odman S.T.A., Effect of variation in volume, surface area exposed to drying and composition of concrete on shrinkage, Rilem/CEM Bureau Int. Colloquium on the shrinkage of hydraulic concrete, N°1, Madrid 1968. 20 p.

[89] : ZHANG M.H., TAM C.T., LEOW M.P, « Effect of water to cementitions materials ratio and silica fume on the autogenous shrinkage of concrete », Cement and concrete research, Vol. 33, 2003, pp. 1687-1694.

[90] : SHOYA, M et SUGITA, M « application of special admixature to reduce shrinkage cracking of Air-dried concrete », Hachinoche Institute of Techuslogy, Hachinoche, Japon,pp 1-11.

[91] : KOSMATKA, S. H, and PANARESE, W.C « Design and control of concrete mixtures », Portland Ciment Association, 1988, pp 184-191.

[92] : RAMACHANDRAN,V,S «concrete Admixtures Hand-book-properties» , science and Technology, Noyes Publications, pp.184-191,1984.

[93] : Mounanga P., « Étude expérimentale du comportement de pâtes de ciment au très jeune âge : hydratation, retraits, propriétés thermophysiques », Thèse de doctorat, Ecole doctoral de Nantes, France, Décembre 2003.

[94] : Khatib J.M, Mangat P.S, « Influence of superplasticizer and curing on porosity and pore structure of cement paste. Cement and Concrete Composites », Vol. 21, 1999, pp. 431-437.

[95] : Erika Holt, « Construction of mixture design to chemical and autogenous shrinkage of concrete at early ages, Cement and Concrete Research », Vol. 35, 2005, pp. 464-472.

[96] : Alsayed SH, « Influence of superplasticizer, plasticizer, and silica fume on the drying shrinkage of high-strength concrete subjected to hot-dry field conditions, Cement and Concrete Research », Vol. 28, October 1998, pp. 1405-1415.

[97]: GRZYBOWSKI,M et SHAH.S.P « shrinkage of fiber renforced concrete ».

[98]: SWAMY,R ,N and STAVRIDES,H « influence of fiber Reinforcement on Restrained shrinkage and gracking » ACI Journal R….. v.76.NO.3, pp 443-460, Mar 1979.

[99]: KOLVER,K et BENTUR,A «shrinkage of early age steel fiber reinforced concrete», pp 431-439, 1997.

[100] : NF EN 196-6, « Méthode d'essais des ciments : détermination de la finesse », AFNOR, paris 1996.

[101] : NF P15-473, « La consistance normale », AFNOR, paris 1996.

[102] : NF EN 196–3**, «** Norme française. Méthodes d'essais des ciments. Détermination du temps de prise et de la stabilité », AFNOR, paris 1996.

[103] : NF P 15-471, « Méthode d'essais des ciments : détermination de résistance mécanique », AFNOR, paris 1990.

[104] : NF P 18-598, « Equivalent de sable », AFNOR, paris Novembre 79.

[105] : EN 933-9, **«** Essai au bleu de méthylène », AFNOR, paris 1996.

[106] : NF EN 933-1, « Analyse granulométrique », AFNOR, paris 1996.

[107] : NF P 18-555, «Normalisation française. Granulats. Mesures des masses volumiques ».

[109] : NF EN 933-3, « Caractérisation des granulats l'essai d'aplatissement » AFNOR, paris 1996.

[110] : NF P 18-422, « Bétons - Mise en place par aiguille vibrante », Décembre 1981.

[111] : NA 427 /1989, « BETON- DETERMINATION DE LA RESISTANE A LA COMPRESSION DES EPROUVETTES »,1989.

[112] : C1585-11 ASTM, « Water Sorptivity of Mortars and Concretes », 2011.

[113] : NF EN 993, « Essai pour béton durci- la conductivité thermique », AFNOR, paris 1990.

ANNEXES



متين
Matine

50kg

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT

- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitants un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)		Eau (litres)
		0/5	8/15mm	15/25mm	
Dosage pour béton C25/30	X 1 (50kg)	+ X7	+ X5	+ X4	+ 25 L

Remaque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques

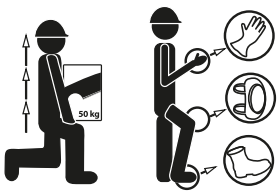
	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm^2/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

Conditionnement: Sac et vrac

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



A member of LafargeHolcim

LAFARGE ALGÉRIE
Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 55 55 98
Conditionnement : sac et vrac

LAFARGE لافارج

ALGÉRIE



50kg

شامل Chamil

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 32,5 N

CHAMIL Ciment gris pour bétons courants et tous travaux de maçonnerie ; destiné à la construction de votre Maison

CHAMIL
NA442 CEM II/B-L 32,5 N

CHAMIL est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT

- Un ciment « tout en un » pour construire votre maison : permet de réaliser toutes les étapes de construction
- Un bon comportement pour les travaux de maçonnerie : dressage et talochage
- Un temps de prise étudié pour un usage confortable.
- Un ingrédient idéal pour la composition des mortiers de finition.

A member of
LafargeHolcim

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction de maisons individuelles.
- Tous travaux de maçonnerie.



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec) 0/5	Gravillons (sec) 8/15mm	Gravillons (sec) 15/25mm	Eau (litres)
Dosage pour béton	X 1 (50kg)	+ X7	+ X5	+ X4	+ 25 L

	Ciment	Sable Correcteur 0/1mm	Sable (sec) 0/4mm	Eau (litres)
Mortier de briquetage	X 1 (50kg)	+ X6	+ X9	+ 35 L
Mortier de finission	X 1 (50kg)	+ X9	+ X6	+ 35 L

Remaque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	13.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.04

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	27±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm^2/g) (NA231)	4 300 - 5 500
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	250±50

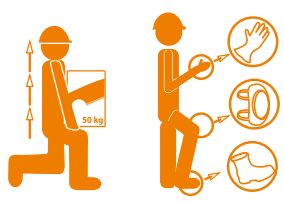
• Résistance à la compression

	Valeur
7 jours (MPa)	≥ 16.0
28 jours (MPa)	≥ 32.5

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



A member of LafargeHolcim

Conditionnement: Sac et vrac

LAFARGE ALGÉRIE
Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55

ALGÉRIE



50kg

سريع
Sarie

RÉSISTANCE 52,5 MPa DU CIMENT

LAFARGE
Construire des villes meilleures™





Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/A-L 52,5 N

AVANTAGES PRODUIT

LE CIMENT GRIS LE PLUS RÉSISTANT DU MARCHÉ ALGÉRIEN :

- Ciment de classe vraie très élevée avec un faible retrait,
- Résistance élevée à jeune âge
- Compatibilité accrue avec les différents adjuvants (plastifiants, retardateurs de prise, accélérateurs de prise et de durcissement...)

PARFAITEMENT ADAPTÉ À LA PRÉFABRICATION LÉGÈRE:

- Augmentation de la productivité :
  - Durcissement rapide
  - Augmentation de la production journalière
  - Gain en surface de stockage
- Réduction du taux de casse

IDÉAL POUR LES BÉTONNAGES PAR TEMPS FROID:

- ***Sarie*** résiste mieux au cycle gel/dégel qu'un ciment courant
- Grâce à sa prise rapide, ***Sarie*** est recommandé pour le travail par temps froid.

DOMAINES D'APPLICATION :

- Préfabrication lourde et légère
- Infrastructures (fondations) et éléments de superstructures nécessitants un décoffrage rapide permettant d'optimiser les délais de réalisation
- Bétonnage par temps froid
- Tous travaux techniques nécessitant des résistances élevées à jeune âge et de hautes performances.

A member of LafargeHolcim

Sarie La composition et les caractéristiques du ciment sont conformes aux normes en vigueur, la NA442 - 2013



DOSAGES

	Ciment 50kg	Sable (sec) 0/5	Gravillons (sec) 5/25mm	Eau (litres)
Dosage pour béton	X 1	+ X8	+ X11	+ 25 L
	Ciment 50kg	**Sable moyen (sec) 0/4**	**Gravillons (sec) 3/8mm**	**Eau (litres)**
Dosage pour bloc	X 1	+ X10	+ X18	+ 20 à 25 L

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA 5042)	5.0-9.0
Teneur en sulfates (SO_3) (%)	2.5-3.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	Max 4.0
Teneur en Chlorures (%),(NA 5042)	Max 0.1

• Temps de prise à 20° (NA 234)

	Valeur
Début de prise (min)	100-170
Fin de prise (min)	150-250

•Composition hypothétique du clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
Aluminates tricalciques C3A (%)	6.0-9.0

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 20.0
28 jours (MPa)	≥ 52.5

• Propriétés physiques

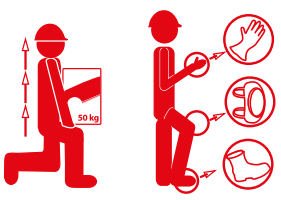
	Valeur
Consistance Normale de la pate de ciment (%)	25.0-31.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231)	3500-4500
Retrait à 28 jours en µm/m	<1000
Expansion en mm	0.3-2.5

Conditionnement: Sac et vrac

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux e en gardant le dos droit.



A member of LafargeHolcim

LAFAGRE ALGÉRIE
Centre commercial Bab Ezzouar , Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: +213 (0) 21 98 54 54
Fax: +213 (0) 23 92 42 94
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tel : 021 98 55 55
Conditionnement : sac et vrac

LAFARGE لافارج

MasterGlenium® SKY 841

Superplastifiant, haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

MasterGlenium SKY 841 est un superplastifiant haut réducteur d'eau, issu du long savoir de BASF Construction Chemicals en termes de formulation et d'innovation.
MasterGlenium SKY 841 a été développé pour optimiser la production du béton prêt à l'emploi où qualité, durabilité, performance, ouvrabilité, faible viscosité et robustesse sont requises.

Particularités du MasterGlenium SKY 841
Il se différencie des superplastifiants traditionnels par sa facilité d'utilisation notamment pour les bétons fluides et auto- plaçant.
Cette faible viscosité allier à une grande robustesse de béton permettent au **MasterGlenium SKY 841** d'améliorer considérablement le comportement dynamique et ainsi la mise en œuvre des bétons, tout en optimisant le dosage en liant du béton.

DOMAINES D'APPLICATION

MasterGlenium SKY 841 est recommandé pour la fabrication de béton de consistance plastique à auto plaçant nécessitant un long maintien d'ouvrabilité et aux performances initiales élevées.
MasterGlenium SKY 841 est donc adapté à l'industrie du béton prêt à l'emploi et aux chantiers de Génie Civil.

Recommandé pour les usages suivants :

- Béton à très long maintien d'ouvrabilité
- Béton Pompé à longues distances
- Béton architectonique
- Béton Auto Plaçant
- Béton Auto Nivelant
- Béton à faible E/C et long maintien d'ouvrabilité

PROPRIÉTÉS ET AVANTAGES

MasterGlenium SKY 841 a un excellent effet d'ouvrabilité qui permet de conserver une consistance S4 ou S5 sur des bétons à faibles E/C pendant 90 minutes sans retard de prise

MasterGlenium SKY 841 offre les avantages suivants :

- Béton à faible viscosité même à faible rapport E/C
- Long maintien d'ouvrabilité sans retard de prise préjudiciable
- Béton à haute performance
- Optimisation des dosages en liant
- Grande plage de dosage possible
- Bonne réactivité avec les granulats concassés
- Bonne robustesse vis-à-vis du ressuage et de la ségrégation
- Amélioration de la durabilité liée au faible E/C
- Pompage sur de longues distances
- Amélioration de la durabilité liée au faible E/C
- Pompage sur de longues distances
- Amélioration des parements

CARACTÉRISTIQUES

Aspect	Liquide
Couleur	Brun
Densité à 25 °C	1,06 ± 0,03 g/cm ^{3}
Chlorures	<0,1%
pH	5,5 ± 1,8
Extrait sec	26 ± 1,3%
Teneur en Nitrate	< 2%

MODE D'EMPLOI

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

DOSAGE

Plage normale d'utilisation
0.2 % à 3.0% du poids du ciment, soit 0.19 Litres à 2.831 Litres pour 100 Kg de ciment. Pour d'autres utilisations, consultez votre représentant local BASF CC.
Pour d'autres utilisations, consultez votre représentant local BASF CC.

NORMES

MasterGlenium Sky 841 est conforme aux normes :

- ASTM C-494 Type F&G
- BS EN 934-2
- NF EN 934-2+A1

COMPATIBILITÉ

Pour une utilisation en synergie avec un autre adjuvants de la gamme BASF, consultez votre représentant local BASF Construction Chemicals Algeria

MasterGlenium® SKY 841

Superplastifiant, haut réducteur d'eau

CONDITIONNEMENT

MasterGlenium SKY 841 est disponible dans les conditionnements suivants :

- Container de 1000 litres
- Fût de 210 litres
- En vrac

RECOMMANDATION

En cas de gel, réchauffer le produit à une température proche de ± 30° C et agiter mécaniquement

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

MasterGlenium SKY 841 ne contient aucune matière dangereuse nécessitant un étiquetage particulier. Pour de plus amples informations, se référer à la fiche de données de sécurité

STOCKAGE

MasterGlenium SKY 841 doit être stocké à une température supérieure à 5°C
Il doit être stocké comme signaler dans la fiche de données de sécurité.

DURÉE DE VIE

La durée de conservation est de 12 mois, à compter de la date de fabrication

Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées non seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences externes. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée.
Pour plus d'informations ou de questions, Contacter votre représentant local.

Nos fiches techniques ont pour objectif de vous conseiller d'après nos connaissances les plus récentes, nous nous réservons donc le droit de modifier à tout moment le contenu de celles-ci. L'emploi des produits doit être adapté aux conditions spécifiques à chaque situation. Pour toute précision complémentaire, nous vous conseillons de prendre contact de votre représentant local.

® = registered trademark of BASF group in many countries

BASF Construction Chemicals
Zone Industrielle Sidi Moussa, Route de Dar El Beïda,
District 13 Ilot N° 15 Alger, Algérie
Tel. +213 (0) 21 760 222
Fax +213 (0) 21 760 233