



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master Domaine des Sciences et technologies

Filière : génie civil

Spécialité : matériaux en génie civil

Thème

Etude du comportement et de durabilité d'un béton adjuvanté de plus d'un adjuvant

Présentée par :

- Rouabeh Billel
- Mebarkia Ahmed

Encadreur : Dr, Deghfel Moussa

Année universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant tout, nous tenons à remercier Dieu, Le tout puissant pour nous avoir donné le courage et la patience pour la réalisation de ce modeste travail

Ainsi nous tenons à remercier vivement notre encadreur

«**DR. DEGHEFEL MOUSSA**» Pour L'intéressante documentation qu'il a mise à notre disposition, pour sa disponibilité et ses nombreux encouragements.

remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous ne pouvons pas terminer sans remercier tous les enseignants, tous les collègues qui nous ont aidés et qui nous ont entièrement soutenus au cours des dernières années.

Je ne peux oublier mes parents et les membres de ma famille. Qu'ils soient gracieusement et sincèrement remerciés pour leur soutien et leurs dévouements.

Mes remerciements vont aussi à tous ceux ont participé directement ou indirectement au bon déroulement de ce travail de recherche et à sa finalité.

MERCI



Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection

A mes chers frères et leurs enfants, source de joie et de bonheur

A toute ma famille, source d'espoir et de motivation

A tous mes amis,

BILLEL



Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection

A mes chers frères et leurs enfants, source de joie et de bonheur

A toute ma famille, source d'espoir et de motivation

A ma future épouse et à sa famille

A tous mes amis

Ahmed

RESUME

Les adjuvants chimiques sont le quatrième ingrédient du béton et du mortier qui viennent s'incorporer à faible dose (inférieure à 5 % de la masse du ciment), au trois composants fondamentaux : le ciment portland, eau et les granulats. Ils sont utilisés, en règle générale pour modifier les propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou durci (diminuer le rapport E/C, améliorer l'ouvrabilité, réduire le dosage en ciment, augmenter la résistance mécanique, modifier la prise et le durcissement, améliorer la perméabilité et modifient certaines propriétés particulières).

Ce travail est pour objet d'étudier dans un premier temps la faisabilité d'utiliser de plus d'un adjuvant dans un seul mélange de béton, puis d'étudier la durabilité des bétons adjuvés. Et en fin, on tente de modéliser le comportement et la durabilité du béton en fonction des adjuvants utilisés et de leurs proportions, afin de déduire et de prédire avant d'utiliser ces adjuvants.

Pour atteindre cet objectif deux types d'adjuvants chimiques ont été utilisés dans notre travail, un superplastifiant (SP) et un hydrofuge (HF), avec trois dosages différents (0,4, 0,8 et 1,2% pour le plastifiant et 0,7 ,1,3 et 1,9% pour l'hydrofuge).

Les résultats de cette recherche montrent que comparativement au béton témoin sans adjuvant, le superplastifiant et l'hydrofuge ont amélioré toutes les propriétés étudiées des différents indicateurs de durabilité utilisés.

Cette étude vise également à élaborer des modèles mathématiques pouvant être utilisées pour prédire les propriétés du béton avec différents dosage des adjuvants. Les résultats ont montré qu'il existe une bonne corrélation entre les modèles développés et les données expérimentales correspondantes, toutes présentant des relations quadratiques avec un degré de corrélation plus élevé.

Mots-clés : Bétons, adjuvants, durabilité, résistances, modélisation.

الملخص

المواد الكيميائية المساعدة هي العنصر الرابع في الخرسانة والملاط والتي يتم اضافتها بكميات منخفضة (أقل من 5% من كتلة الاسمنت) في المكونات الأساسية الثلاثة: الاسمنت البورتلاندي والماء والركام. يتم استخدامها، كقاعدة عامة، لتعديل خصائص الخرسانة أو الملاط أو الجص، في الحالة الطازجة أو المتصلبة (تقليل نسبة الماء إلى الاسمنت، تحسين قابلية التشغيل، تقليل نسبة الاسمنت في الخرسانة، زيادة المقاومة الميكانيكية، تعديل نشاط الاسمنت أو تصلب الخرسانة، تحسين النفاذية وكذا تعديل خصائص أخرى معينة).

الغرض من هذا العمل هو دراسة جدوى استخدام أكثر من مادة مساعدة في الخلطة الخرسانية الواحدة أولاً، ومن ثم دراسة متانة الخرسانة الممزوجة. وأخيراً، نحاول نمذجة سلوك ومتانة الخرسانة كدالة للخلطات المستخدمة ونسبها، وذلك للاستدلال والتنبؤ قبل استخدام هذه الخلطات.

ولتحقيق هذا الهدف، تم استخدام نوعين من المواد الكيميائية المساعدة في عملنا: الملدن الفائق (SP)، وطارد الماء (HF)، بثلاث جرعات مختلفة (0.4، 0.8 و 1.2% للملدن و 0.7، 1.3 و 1.9% لطارد الماء).

أظهرت نتائج هذا البحث أنه بالمقارنة مع خرسانة التحكم (خرسانة بدون مواد مساعدة)، فإن الملدن الفائق وطارد الماء أدى إلى تحسين جميع الخصائص المدروسة لمؤشرات المتانة المختلفة المستخدمة.

تهدف هذه الدراسة أيضاً إلى تطوير نماذج رياضية يمكن استخدامها للتنبؤ بخصائص الخرسانة بجرعات مختلفة من الخلطات. وأظهرت النتائج أن هناك علاقة ارتباط جيدة بين النماذج المطورة والبيانات التجريبية المقابلة لها، وجميعها تظهر علاقات تربيعية بدرجة ارتباط أعلى.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، المواد الكيميائية المساعدة، الديمومة، المقاومة، النمذجة.

ABSTRACT

Chemical adjuvants are the fourth ingredient in concrete and mortar which are incorporated at low doses (less than 5% of the mass of the cement), into the three fundamental components: portland cement, water and aggregates. They are used, as a general rule, to modify the properties of concrete, mortars or grouts, in the fresh or hardened state (reducing the W/C ratio, improving workability, reducing the cement dosage, increasing mechanical resistance). , modify setting and hardening, improve permeability and modify certain particular properties).

The purpose of this work is to first study the feasibility of using more than one admixture in a single concrete mixture, then to study the durability of admixed concretes. And finally, we attempt to model the behavior and durability of concrete as a function of the admixtures used and their proportions, in order to deduce and predict before using these admixtures.

To achieve this objective two types of chemical adjuvants were used in our work superplasticizer (SP), water repellent (HF), with three different dosages (0.4, 0.8 and 1.2% for the plasticizer and 0.7, 1.3 and 1.9% for water repellent).

The results of this research show that compared to the control concrete without adjuvant, the superplasticizer and the water repellent improved all the properties studied of the different durability indicators used.

This study also aims to develop mathematical models that can be used to predict the properties of concrete with different dosages of admixtures. The results showed that there is a good correlation between the developed models and the corresponding experimental data, all of which exhibit quadratic relationships with a higher degree of correlation.

Keywords: Concretes, admixtures, durability, strength, modeling.

Table des matières

Résumé

Table de matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des symboles

Introduction générale..... 01

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur le béton 03

I-1 Introduction 03

I-2 constituants de béton 04

I-2-1 Ciments 04

I-2-2 Granulats 04

I-2-3 Eau de gâchage 05

I-2-4 Adjuvants 05

I-3 Propriétés du béton 06

I-3-1 Propriétés du béton frais 06

I-3-2 Propriétés du béton durci 07

I-3-2-1 Résistance mécanique 07

I-3-2-2 La durabilité 08

I-3-2-2-1 Comportement du béton suite aux attaques chimiques08

a)Mécanismes des attaques chimiques du béton08

b)Effets des attaques chimiques sur le béton 09

Chapitre II : Les Adjuvants 11

II-1 Introduction 11

II-1-1 Historique 11

II-2 Fonction principale et secondaire 12

II-3 Compatibilité Ciment-Adjuvant 12

II-4 Classification des adjuvants 13

II-4-1-Les adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton 13

II-4-2-Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement 14

II-4-3-Les adjuvants qui modifiant certaines propriétés du béton 14

a)Hydrofuges de masse..... 14

b)Entraîneurs d'air..... 15

II-5-Conclusion 15

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et formulation	16
III-1 Introduction	16
III-2 Les matériaux et les composantes du béton :	16
III-2-1 Les granulats.....	16
III-2-1-1 Définition	16
a)Analyse granulométrique	17
b)Module de finesse du sable	18
c)Masses volumiques et absorption	19
d)L'Équivalent de sable (ES) et (VBS)	19
e)Essai de Dureté	20
III-2-2 Le ciment	21
III-2-3 Eau de gâchage	21
III-2-4 Les adjuvants	22
III-2-4-1 Super plastifiant	22
III-2-4-3 Hydrofuge de masse	22
III-3 Formulation du béton :	23
III-3-1 Détermination du rapport C/E	23
III-3-1 Détermination de C	24
III-3-1 Détermination de E	24
III-3-1 Détermination du mélange optimal à minimum de vides	24
III-4 Techniques expérimentales	29
III-4-1 Malaxage	30
III-4-2 Compactage	30
III-4-3 Préparation des échantillons	29
III-5 Conclusion.....	30
Chapitre VI : Résultats et discussions	31
VI-1 Introduction.....	31
VI-2 Effet des adjuvants sur les propriétés du béton.....	31
VI-2-1 Ouvrabilité	31
VI-2-2 Résistance à la compression	32
VI-2-3 Absorption capillaire	35
VI-2-4 Résistance du béton au milieu agressif	37
VI-3 Effet du couplage SP et HF sur le comportement du béton.....	39
VI-3-1 Méthode de surface de réponses (Plan d'expérience).....	39
VI-3-2 Description du logiciel utilisé	40

VI-3-3 Modèles statistiques et analyse de la variance	42
III-4 Conclusion.....	50
Conclusion générale	51
Références bibliographiques	
Annexe	

Liste des tableaux

Tableau II-1: Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment	13
Tableau III- 1: Résultats d'analyse granulométrique	18
Tableau III- 2: Masses volumiques et absorption	19
Tableau III- 3 : Equivalent de sable et VBS.....	20
Tableau III- 4: Coefficient LA (Los-Angeles)	20
Tableau III- 5: Propriétés des granulats utilisés).....	20
Tableau III- 6: Composition chimique du ciment CEM II 42,5 utilisé	21
Tableau III- 7: Composition minéralogique du ciment CEM II B 42,5	21
Tableau III- 8: Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé.....	21
Tableau III- 9: Caractéristiques de l'adjuvant super plastifiant	22
Tableau III-10: Caractéristiques de l'adjuvant Hydrofuge de masse	22
Tableau III- 11: Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats Dmax.....	24
Tableau III- 12: K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.	25
Tableau III- 13: Compacité du béton en fonction de Dmax, de la consistance et du serrage ..	27
Tableau III- 14: Composition d'un mètre cube du béton	28
Tableau III- 15: Composition des bétons avec les différents dosages d'adjuvants	28
Tableau III- 16: Procédures de malaxage.....	29
Tableau VI- 1: Conception expérimentale et résultats expérimentaux	43
Tableau VI- 2: Analyse de variance (ANOVA) pour les modèles de réponse.....	43
Tableau VI- 3: Termes des modèles de réponse	44
Tableau VI- 4: Résumé d'ajustement.....	46

Liste des figures

Figure I. 1: constituants du beton	03
Figure I. 2: Durcissement et finition du béton.	06
Figure I.3:Couplage environnement/contraintes mécaniques/actions physico-chimiques influentes la durabilité du béton	10
Figure III.1: Granulats utilisés.....	17
Figure III. 2: Appareillage de l'équivalent de sable.	19
Figure III. 3: Appareille de fragmentation LA.....	20
Figure III. 4: Ciment CEM II B 42,5.....	21
Figure III. 5: Abaque permettant la détermination du dosage en ciment C.....	24
Figure III. 6: Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau.....	26
Figure III. 7: Aspect du témoin lors de malaxage	29
Figure VI. 1: Effet des adjuvants SP et HF sur l'ouvrabilité.....	32
Figure VI. 2: Effet du dosage en SP sur la résistance à la compression.....	33
Figure VI. 3: Le gain de la résistance finale (à 60 Jours) lorsque le dosage en SP augmente de 0 à 1.2% sous les quatre dosages en HF.....	33
Figure VI. 4: Effet du dosage en HF sur la résistance à la compression.....	34
Figure VI. 5: Le gain de la résistance finale (à 60 Jours) lorsque le dosage en HF augmente de 0 à 1.9% sous les quatre dosages en SP.....	35
Figure VI. 6: Evolution de l'absorption d'eau par capillarité des bétons adjuvantés en fonction du temps.....	36
Figure VI. 7: la perte de masse au cours de temps des bétons adjuvantés.....	38
Figure VI. 8: La perte de masse finale des bétons adjuvantés par le superplastifiant SP et l'hydrofuge HF.....	38
Figure VI. 9: Résultats prédits vs réels pour les modèles développés.....	47
Figure VI. 10: Surface de réponse pour les modèles développés.....	48
Figure VI. 11: Tracés de contour pour les modèles développés.....	49
Figure VI. 12: Courbes d'interaction pour les modèles développés.....	50

Liste des symboles

NA : Norme Algérienne.

CEM : Ciments Portland.

C3S : Le silicate tricalcique $3 \text{ CaO}, \text{ SiO}_2$.

C2S : Le silicate bicalcique $2 \text{ CaO}, \text{ SiO}_2$. C3A : L'aluminate tricalcique $3 \text{ CaO}, \text{ Al}_2\text{O}_3$.

C4AF : L'aluminoferrite-tétracalcique $4 \text{ CaO}, \text{ Al}_2\text{O}_3, \text{ Fe}_2\text{O}_3$.

f_{c28} : La résistance à la compression à 28 jours

NF EN : Norme Française et Européenne.

C-S-H : Hydroxyde de calcium, aluminates.

CaCO_3 : Carbonate de calcium.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$: Hydroxyde de calcium (Chaux hydraté).

COPLA : Commission Permanente des Liants hydrauliques et des Adjuvants de béton.

SYNAD : Syndicat National des Adjuvants.

MBE : Mortier de Béton Équivalent

NF P : Normes Françaises

SP : Super plastifiant.

HF : Hydrofuge.

M_f : Module de Finesse de sable.

R_c : Réfus cumulé.

ES : Equivalent de Sable.

VBS : Valeur de Bleu de Méthylène.

LA : Coefficient Los-Angeles.

σ'_c : Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa

C : Ciment

E : Eau

G' : Coefficient granulaire.

G : Gravier.

S : Sable.

V_t : Volume total.

V_{ab} : Volume absolue.

V_{app} : Volume apparent.

V_s : Volume de sable.

V_G : Volume de gravier.

RSM : Méthode de surface de réponses.

DOE : Les plans d'expérience.

Aff : Ouvrabilité, Affaissement.

R_c : Résistance à la compression.

A_e : Absorption de l'eau par capillarité.

PM : Perte de masse.

SD : L'écart types.

CoV : Coefficients de variations.

R : Coefficient de corrélation.



Introduction général

Introduction générale

Les adjuvants sont des composants très importants des bétons et des mortiers modernes qui permettent de modifier certaines propriétés du béton à l'état frais ou durci, parmi lesquelles; les temps de prise, l'amélioration de la résistance, l'ouvrabilité, l'imperméabilité, le retrait. Ils ne peuvent en aucun cas apporter une solution valable à une mauvaise formulation de béton, ou à une mise en œuvre déficiente.

Ces produits sont destinés à conférer aux bétons et mortier des caractéristiques et des performances techniques supplémentaires nécessaires. Cet apport de performance se traduit également par une économie sensible sur l'emploi de certaines matières nobles comme le ciment.

Les adjuvants qui sont des substances organiques (plastifiants, plastifiant réducteurs, superplastifiant, et entraîneurs d'air) ou inorganiques (accélérateurs de prise et du durcissement) permettent de modifier la rhéologie des bétons avec des teneurs en eau nettement inférieures aux bétons non adjuvantés. En plus, ils permettent d'accélérer ou retarder la prise, selon les exigences ambiantes du chantier. Ces différences dans leurs compositions ont des effets aussi différents sur les propriétés des bétons et leurs durabilités ainsi qu'avec des températures élevées.

Objectif de l'étude

Le but de ce travail est d'évaluer l'influence de deux types d'adjuvants, couramment utilisés, sur le comportement et la durabilité du béton. Ces adjuvants sont un superplastifiant et un hydrofuge. Ils sont utilisés avec quatre niveaux de dosages différents (0, 0.4, 0.8 et 1.2% pour le superplastifiant et 0, 0.7, 1.3 et 1.9% pour l'hydrofuge) pour étudier l'ouvrabilité, la résistance à la compression, l'absorption d'eau par capillarité et la perte de masse. L'ouvrabilité a été évaluée par l'affaissement au cône d'Abrams juste après le malaxage, la résistance à la compression a été évaluée à 7, 28 et 60%, l'absorption a été évaluée après 28 jours et la perte de masse a été déterminé quotidiennement et à partir de 28eme jours sur des éprouvettes immergés dans un milieu agressif (solution sulfatée Na_2SO_4 à 5%).

Présentation du mémoire

Ce travail présente les résultats d'une étude expérimentale décrivant l'influence de deux adjuvants sur le béton. Les facteurs pris en compte dans cette étude sont un superplastifiant et un hydrofuge. Pour évaluer l'effet des variations de ces facteurs sur le comportement du béton complètement durci, quatre niveaux de dosages du superplastifiant (0, 0.4, 0.8 et 1.2%) ont

été adoptées, chaque niveau du dosage du superplastifiant a été examinée en quatre niveaux de dosage du l'hydrofuge (0, 0.7, 1.3 et 1.9%) ; En conséquence, seize mélanges ont été étudiés. Cependant, l'utilisation de deux adjuvants au même temps donne des comportements complexes, donc là il est nécessaire d'étude de l'effet de l'interaction de ces deux facteurs sur les propriétés du béton. Donc, la recherche vise également à élaborer des modèles mathématiques pouvant être utilisées pour prédire l'impact de ces deux adjuvants sur les propriétés du béton.

Pour arriver aux objectifs fixés, nous avons structuré le mémoire en deux grandes parties.

La première partie est consacrée à une étude bibliographique, et se divise en deux chapitres :

- Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur le béton et les mécanismes fondamentaux qui gèrent son comportement.
- Le deuxième chapitre, met en évidence les adjuvants, leurs types, leurs caractéristiques et leurs utilisations.

La deuxième partie est consacrée aux études expérimentales et aux analyses des résultats, elle se compose de deux chapitres :

- Le troisième chapitre est une description détaillée de tous les matériaux utilisés et formulation du béton à base des matériaux locaux. Les différentes techniques expérimentales de malaxage et de compactage des éprouvettes à tester y seront également présentées.
- Le quatrième chapitre, dans sa première partie s'intéresse à l'étude de l'effet de deux adjuvants sur les propriétés du béton. La deuxième partie de ce chapitre concerne l'élaboration des modèles mathématiques qui décrivent l'effet de ces deux adjuvants sur le comportement du béton par les plans d'expériences.

Et enfin, le mémoire est finalisé par une conclusion générale qui regroupe l'extrait des résultats obtenus et les recommandations pour les futures recherches.



Chapitre I :
Synthèse bibliographique sur le béton

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur le béton

I-1 Introduction :

Le béton est le matériau de construction le plus largement utilisé. Il permet de réaliser des portées importantes et des formes complexes [1]. C'est pour l'essentiel un mélange de grains minéraux de dimensions variables et d'eau incorporant éventuellement des adjuvants et des additions [2]. Certains minéraux, appelés granulats, sont inertes. D'autres, les liants (ciment), réagissent avec l'eau en formant une pâte qui fait prise et qui durcit dans l'air ou sous l'eau en donnant naissance à un matériau composite performant [1].

Le béton se présente donc sous deux états physiques successifs : tout d'abord sous la forme d'un mélange plus ou moins liquide, le béton frais, puis progressivement sous la forme d'un matériau solide, le béton durci. Le premier état permet la mise en place du béton dans son contenant (coffrage, moule). Cette faculté d'ouvrabilité est caractérisée par la consistance. Le deuxième constitue le produit fini. Il est proposé sous la forme et l'aspect souhaités, il doit notamment fournir les résistances mécaniques exigées tout en assurant la durabilité [1]. On considère qu'un béton est durable s'il conserve aussi longtemps que nécessaire (durée d'utilisation du projet), à la fois son intégrité structurelle et les qualités requises [1].

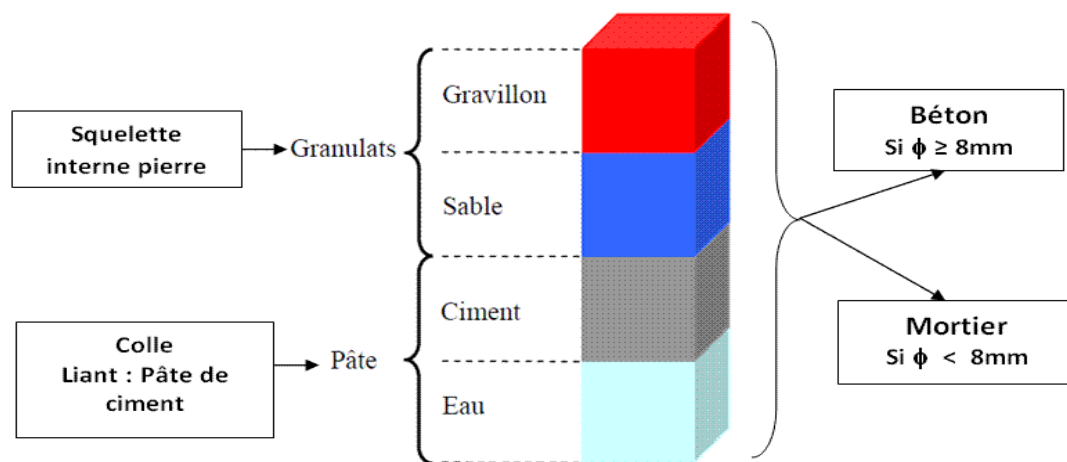


Figure I.1 : Constituants du béton [3].

I-2 constituants de béton :

I-2-1 Ciments :

Selon la norme NA442 [4], le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau minéral finement moulu qui, gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le ciment conforme à la norme NA442/2013[4], appelé ciment CEM.

Le ciment Portland contient quatre constituants principaux : le silicate tricalcique 3 CaO , SiO_2 (ou, par abréviation, C3S) ; le silicate bicalcique 2 CaO , SiO_2 (ou C2S) ; l'aluminate tricalcique 3 CaO , Al_2O_3 (ou C3A) et l'aluminoferrite-tétracalcique 4 CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (ou C4AF).

Ces constituants anhydres donnent naissance, en présence d'eau, à des silicates et des aluminates de calcium hydratés ainsi que de la chaux hydratée dite portlandite formant un gel microcristallin, à l'origine du phénomène dit de « prise ». C'est le développement et la multiplication de ces microcristaux dans le temps qui expliquent l'augmentation des résistances mécaniques. Le ciment durci est une véritable « roche artificielle » qui évolue dans le temps et en fonction des conditions extérieures. Avant d'atteindre son stade final, l'évolution du ciment passe par trois phases successives [5].

I-2-2 Granulats :

Le granulats est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes : fillers ; sablons ; sables ; graves ; gravillons ; ballast et enrochements [5].

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production [5].

La nature minérale des granulats est un critère fondamental pour son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques en termes de résistance mécanique, de tenue au gel et des propriétés physico-chimiques. Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats

roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés). La taille d'un granulats répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis [5].

I-2-3 Eau de gâchage :

L'eau, considérée comme matériau, n'est guère utilisée en construction que pour la confection des mortiers et bétons : elle porte alors le nom d'eau de gâchage. Il joue des fonctions principales ; confère au béton sa maniabilité à l'état frais et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement. La quantité d'eau utilisée ou plus précisément le rapport eau/ciment a une forte influence sur la porosité du béton, sa perméabilité et la résistance mécanique [6].

A ce sujet, il faut bien faire la distinction entre :

- **l'eau de gâchage** : qui est l'eau totale ajoutée au mélange sec.
- **l'eau de prise** : qui est l'eau absorbée par le ciment lors de sa prise, c'est-à-dire l'eau d'hydratation du ciment.

I-2-4 Adjuvants

Les adjuvants sont devenus les quatrièmes ingrédients du béton qui vient s'ajouter aux trois constituants fondamentaux: les granulats, le ciment et l'eau. Les adjuvants sont utilisés, en règle générale, pour leurs propriétés plastifiantes et fluidifiantes (diminuer le rapport E/C, améliorer l'ouvrabilité, réduire le dosage en ciment, augmenter la résistance mécanique,...) sans oublier l'amélioration de certaines qualités de durabilité. En effet ces adjuvants sont conçus pour un rôle essentiel qui est l'amélioration de certaines propriétés sans nuire à la résistance.

En fait, il existe plusieurs types de l'adjuvant et ils s'utilisent selon les nécessités. Où les plastifiants sont utilisés pour diminuer le rapport E/C, améliorer l'ouvrabilité, et parfois augmenter la résistance mécanique. Les retardateurs et accélérateurs de prise ou de durcissement qui sont utilisés pour retarder ou accélérer la prise ou le durcissement selon les cas. Les hydrofuges qui sont utilisées dans les réservoirs des fluides (Eau ou dérivés de pétrole), leur rôle est de combler les vides et les microfissures dans le béton pour éliminer les fuites. Il existe d'autres adjuvants, dont chacun a un rôle dans le béton.

I-3 Propriétés du béton :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

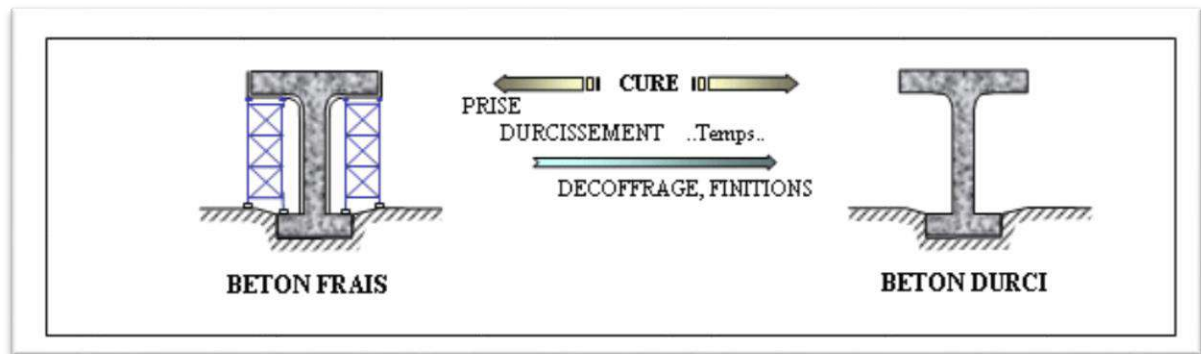


Figure I.2 : Durcissement et finition du béton [7].

- **le béton frais** : mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.
- **le béton durci** : solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

I-3-1 Propriétés du béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage. L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par [7] :

- ✓ La nature et le dosage du liant.
- ✓ La forme des granulats.
- ✓ La granularité et la granulométrie.
- ✓ Le dosage en eau

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façon et en particulier par des mesures de plasticité. Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité.

La deuxième propriété du béton frais est la masse volumique du béton, cette dernière est mesurée l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique.

I-3-2 Propriétés du béton durci :

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

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

I-3-2-1 Résistance mécanique :

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uniaxiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours (f_{c28}). La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.

I-3-2-2 La durabilité :

Le béton offre une grande pérennité face aux agressions physico-chimiques du milieu environnant (gel, pluie et pollution atmosphérique....). Il est particulièrement adapté pour la réalisation d'ouvrages devant résister à des conditions difficiles et extrêmes.

La porosité et la compacité, ces propriétés conditionnent les deux premières. Plus un béton est compact (moins poreux), plus ses performances seront élevées et sa durabilité importante. On améliore la compacité du béton en optimisant la dimension et l'empilement des granulats et en réduisant la quantité d'eau.

La définition et les spécifications des bétons doivent prendre en compte :

- ✓ les agressions liées à la carbonatation et à la pénétration des chlorures (en présence de sels),
- ✓ la prévention des désordres dus aux gonflements internes du béton (alcali-réaction et réaction sulfatique interne),
- ✓ la durabilité des bétons durcis soumis au gel en présence ou non de sels de déverglaçage.

Parmi les environnements les plus agressifs pour le béton qui peuvent occasionner des attaques acides ou sulfatique importantes, des gonflements et éclatement du béton, on peut citer les environnements marins et les environnements chimiques en particulier des éclatements dans les milieux industriels et agricoles [8, 10].

Comportement du béton suite aux attaques chimiques :

a) Mécanismes des attaques chimiques du béton :

Lorsque l'attaque chimique du béton se présente, des réactions de dissolution ou de précipitation se produisent. Ainsi, de nouveaux composés se précipitent qui peuvent être nocifs pour le béton [8].

Les bétons fabriqués et mis en place conformément aux règles de l'art sont des matériaux normalement durables si ses qualités intrinsèques (compacité, perméabilité, diffusivité) sont adaptées aux milieux auquel ils sont exposés pendant la durée d'utilisation des structures. C'est-à-dire si les bétons sont bien adaptés à leur usage et à leur environnement, et s'ils sont fabriqués et mis en œuvre suivant les règles de l'art (norme NF EN 206-1), ces bétons sont

résistants chimiquement et durables et leur durée de vie présumée est d'au moins cinquante ans [8].

Le béton constitue un système très complexe formé d'un squelette granulaire solidarisé par des hydrates (C-S-H, hydroxyde de calcium, aluminates...). Ce béton qui a un PH de l'ordre de 13, lorsqu'il est plongé dans un milieu différent de son milieu naturel, les équilibres chimiques des hydrates vont être déplacés vers un nouvel équilibre qui se traduit généralement par une première étape de décomposition de la partie superficielle du matériau [9].

Par exemple, l'action de l'acide carbonique sur les composés calciques du béton $Ca(OH)_2$ et C-S-H conduit à la précipitation du carbonate de calcium $CaCO_3$ provoquant ainsi une réduction de porosité de la peau du béton qui peut constituer dans un premier temps une barrière plus ou moins protectrice vis-à-vis de la pénétration des substances agressives dans le matériau [11]. Cependant, la précipitation tardive d'ettringite dans certaines conditions spécifiques peut s'avérer nocive par le gonflement qu'elle entraîne. Alors que la précipitation de cette même ettringite formée aux premiers stades de l'hydratation par la réaction du sulfate de calcium, régulateur de prise, avec l'aluminate tricalcique du ciment, est parfaitement inoffensive [11].

b) Effets des attaques chimiques sur le béton :

Suite aux attaques du béton par des solutions agressives, une dissolution des hydrates accompagne ou non de la précipitation de nouveaux composés, se produit. Cette précipitation a deux effets majeurs sur le béton : [8, 10].

- Augmentation de la porosité du béton conduisant à un accroissement de la perméabilité et de la diffusivité. Cette augmentation se traduit par une dégradation des caractéristiques mécaniques (résistance et module d'élasticité) [12].

- La solubilité et la précipitation de nouveaux composés conduisant à un gonflement et une fissuration du matériau. C'est le cas par exemple de formation d'ettringite suite à une attaque par des sulfates d'origine extérieure.

Le phénomène de dissolution des hydrates et de la précipitation de nouveaux produits peuvent conduire à des dégradations. Ces dégradations peuvent être parfois superficielle et dans d'autres cas plus profondes de sorte qu'ils mettent en danger l'état de l'ouvrage. Les actions chimiques sont associées au même temps aux actions environnementales et mécaniques liées

au fonctionnement de l'ouvrage. La figure I.3 ci-dessous donne une vue sur le couplage des paramètres influents la durabilité du béton [13].

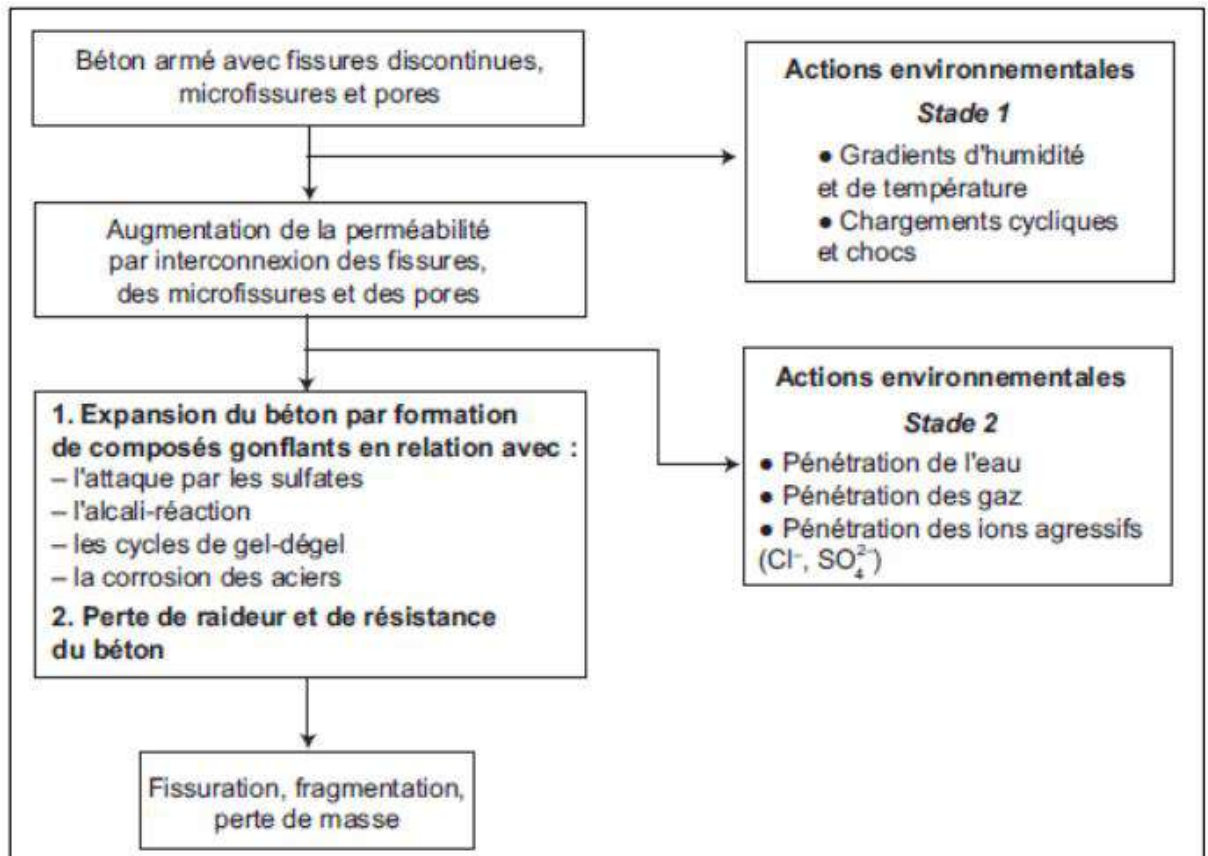


Figure I.3 : Couplage environnement/contraintes mécaniques/actions physico-chimiques influentes la durabilité du béton [13].

Première étape : dans le béton naturellement poreux et microfissuré, la perméabilité augmente sous l'action des contraintes environnementales et de service.

Deuxième étape : la pénétration des agents agressifs et à la réaction de ces agents avec les hydrates provoque des dégradations du matériau et de ses caractéristiques mécaniques.



Chapitre II :
Les Adjuvants

Chapitre II : Les Adjuvants

II-1 Introduction :

Depuis plusieurs décennies, dans un environnement en constante mutation, les adjuvants s'imposent comme un composant essentiel et incontournable des bétons modernes. Aujourd'hui, plus de 95% des bétons sont adjuvés. Ils sont un catalyseur essentiel de l'évolution technologique des bétons, que ce soit au niveau des propriétés à l'état frais des bétons (facilité et confort de mise en œuvre), qu'en termes de performances mécaniques et de résistances. Ils constituent un atout précieux pour la formulation de bétons adaptés à leurs multiples usages et pour garantir l'esthétique des parements et la durabilité des ouvrages. Ils évoluent en permanence et n'ont pas fini de nous surprendre [14].

Un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5 % de la masse du ciment) aux bétons, mortiers ou coulis, lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications des propriétés du mélange, à l'état frais ou durci.

Les adjuvants font l'objet de la norme NF EN 934, partie 2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis. Définition – exigences – conformité – marquage et étiquetage.

Historique

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment Portland vers 1850, commencent les recherches sur l'incorporation de produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés. On cherche à agir sur les temps de prise, les caractéristiques mécaniques et de mise en œuvre et la porosité. Dès 1881, Candlot a étudié l'action des accélérateurs et des retardateurs de prise. Le sucre, déjà connu comme retardateur de prise, est souvent employé à partir de 1909. Entre 1910 et 1920, débute la commercialisation d'hydrofuges et d'accélérateurs à base de chlorure de calcium. À partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés. Depuis 1960, avec le développement du béton préfabriqué et du béton prêt à l'emploi, les adjuvants prennent une place grandissante, fruit d'une expérimentation progressive.

Le développement important des adjuvants nécessite la création en 1964, de la COPLA (Commission Permanente des Liants hydrauliques et des Adjuvants de béton). Elle a pour mission l'agrément et le contrôle des adjuvants et la mise à jour d'une liste officielle. En 1968, est créé le SYNAD (Syndicat National des Adjuvants) avec pour vocation de développer et faire connaître les adjuvants [15].

Le développement des normes d'adjuvants à partir de 1972 a abouti en 1984 à la mise en place d'une certification avec la marque NF Adjuvants, véritable label de qualité [15].

II-2 Fonction principale et secondaire :

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale, caractérisée par la ou les modifications majeures qu'il apporte aux propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou durci. L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier en fonction de son dosage et des composants du béton (ciment, sable et fines en particulier).

Les performances des adjuvants et les plages de dosages permettant de satisfaire aux exigences normales sont précisées dans les fiches techniques des fournisseurs.

La performance d'un adjuvant est jugée vis-à-vis de son aptitude à être efficace dans son utilisation prévue (fonction principale) sans produire d'effets secondaires dommageables.

Un adjuvant présente en effet généralement une ou plusieurs fonctions secondaires qui sont le plus souvent indépendantes de la fonction principale. Certains plastifiants ont par exemple une fonction secondaire d'accélérateur de durcissement. Des effets recherchés cumulés peuvent être obtenus en associant plusieurs adjuvants [15].

Les effets de chaque adjuvant varient en fonction de son dosage. Il est donc indispensable, lors de l'utilisation d'un adjuvant, de s'assurer, par des essais préalables représentatifs des conditions de réalisation du chantier, de son efficacité.

L'utilisation d'adjuvants pour la production de béton de structures doit respecter les exigences de la norme NF EN 206-1.

II-3 Compatibilité Ciment-Adjuvant

Chaque ciment a son propre comportement vis-à-vis des adjuvants. Lors de la formulation d'un béton pour une application donnée, il convient de valider l'adéquation entre le ciment, les adjuvants et leurs dosages respectifs (étude compatibilité ciment-adjuvant) et d'optimiser le couple ciment-adjuvant.

Une méthode basée sur le concept de Mortier de Béton Équivalent (MBE) permet de valider efficacement et simplement les compatibilités du couple [15].

Tableau II-1 : Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment

ADJUVANTS	DOSAGE EN%
Plastifiants	0,15 à 1,2
Super plastifiants	0,6 à 2,5
Accélérateurs de prise	1 à 3
Accélérateurs de durcissement	0,8 à 2
Retardateurs de prise	0,2 à 0,8
Hydrofuges	0,5 à 2
Entraîneurs d'air	0,05 à 3
Rétenteurs d'eau	0,1 à 2

II-4 Classification des adjuvants :

La norme NF EN 934-2 [16] classe ces adjuvants suivant leur fonction principale, en trois grandes catégories :

❖ **Les adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton :**

- ✓ Plastifiants réducteurs d'eau.
- ✓ Superplastifiants hauts réducteurs d'eau.

❖ **Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement :**

- ✓ Accélérateurs de prise.
- ✓ Accélérateurs de durcissement.
- ✓ Retardateurs de prise.

❖ **Les adjuvants qui modifient certaines propriétés du béton :**

- ✓ Entraîneurs d'air.
- ✓ Hydrofuges de masse.
- ✓ Rétenteurs d'eau.

II-4-1-Les adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton :

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et en modifient la viscosité. La frontière entre les différents types d'adjuvants de cette famille n'est pas toujours très nette, les effets recherchés sont très proches et les différences obtenues sont souvent une question de nuances liées aux dosages préconisés.

On distingue deux familles :

- ✓ Plastifiant/réducteur d'eau.
- ✓ Super plastifiant/haute réducteur d'eau.

Le but de ces deux familles est double :

- ✓ Soit de diminuer la quantité d'eau superflue, tout en assurant une maniabilité permettant d'améliorer les conditions de mise en place ;
- ✓ Soit, pour une quantité d'eau donnée, d'augmenter la fluidité d'un béton tout en réduisant un excès d'eau néfaste à la qualité de celui-ci ;
- ✓ Soit de faire un compromis entre ces deux fonctions.

Le choix de la famille de produit est fonction des exigences de maniabilité, de résistance et de durabilité requises.

Dans le cas du béton très fluide tels que les bétons pompés, autonivelants et autoplacants, et afin d'éviter toute ségrégation, tout ressuage et tassement, il est conseillé d'ajouter :

- ✓ Agent de cohésion
- ✓ Réteneur d'eau

II-4-2-Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement :

Ces familles d'adjuvants agissent sur la cinétique d'hydratation du ciment en l'accéléralant ou en la retardant.

Ces adjuvants sont des produits chimiques, qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Physiquement, cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé.

On distingue trois sortes de ces familles :

- ✓ Les accéléralateurs de prise
- ✓ Les accéléralateurs de durcissement
- ✓ Les retardateurs de prise

II-4-3-Les adjuvants qui modifient certaines propriétés du béton :

a) Hydrofuges de masse:

Selon la norme NF P 18-334 [17], les hydrofuges sont destinés à diminuer la perméabilité et l'absorption capillaire des bétons, des mortiers ou des coulis durcis.

Ils permettent de réduire l'apparition des efflorescences. Leur action est variable selon leur composition, dosage et les types des bétons auxquels ils sont incorporés.

b) Entraîneurs d'air:

La norme NF P 18-338 [18] définit un entraîneur d'air comme étant un « adjuvant qui, introduit dans l'eau de gâchage, a pour fonction principale d'entraîner la formation dans le béton, mortier ou coulis, des microbulles d'air restant uniformément réparties dans la masse ».

L'intérêt des entraîneurs d'air est de conférer aux bétons une meilleure résistance au gel, ils créent des vides limitant les surpressions lors du changement d'eau en glace.

Le diamètre des bulles est habituellement compris entre 10 μ m et 1 mm et leur espacement varie de 200 à 250 μ m, ces données dépendant de la nature de l'entraîneur d'air et de la durée du malaxage. Selon la norme, l'adjuvant est considéré comme efficace s'il permet d'augmenter la teneur en air occlus de 2% dans le béton par rapport à un béton témoin, la teneur en air ainsi obtenue ne devant pas dépasser 6%.

Ces bulles d'air supplémentaires augmentant la fluidité du béton frais, il est alors possible de diminuer légèrement la quantité d'eau utilisée: on diminue ainsi le rapport E/C, ce qui permet de limiter la chute des résistances liées à l'introduction d'air supplémentaire (1% d'air supplémentaire revient à diminuer la résistance en compression de 6%).

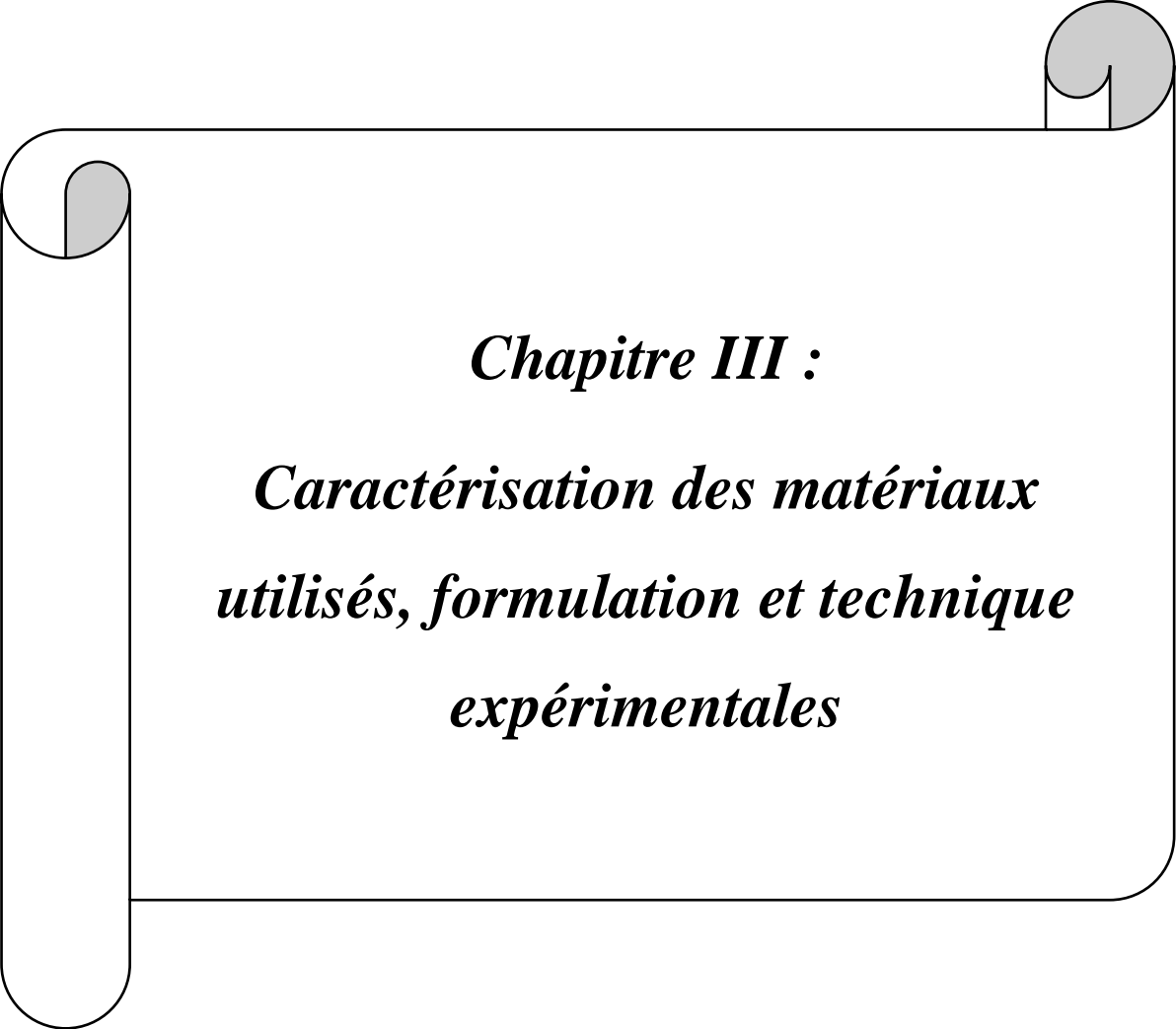
II-5-Conclusion :

Les adjuvants sont devenus le quatrième ingrédient du béton, qui viennent s'ajouter aux trois constituants fondamentaux : le ciment, l'eau, les granulats.

Aujourd'hui, les normes sur le béton régissent l'emploi et le rôle de ces agents, qui sont devenus partie intégrante de la technologie et de la pratique du béton.

La propriété de la plupart des adjuvants chimiques de réduire l'eau est recherchée pour deux raisons. En abaissant la quantité d'eau de gâchage nécessaire, ils augmentent la résistance à la compression pour une teneur en ciment et un affaissement donnés. Ceci permet également de réduire la teneur en ciment pour une résistance et un affaissement donnés.

Cette dernière caractéristique est très intéressante du point de vue économique, étant donné que le ciment est l'ingrédient le plus cher dans la composition du béton, mais parfois cela pourrait nuire à la qualité du béton, par exemple, quant à l'absorption, la perméabilité, la durabilité.



Chapitre III :
Caractérisation des matériaux
utilisés, formulation et technique
expérimentales

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés, formulation et technique expérimentales

III-1 Introduction

Le béton est constitué des composantes dont les caractéristiques physiques et mécaniques sont différentes, chacun joue un rôle dans le comportement et la qualité du béton.

Ce chapitre présente une étude expérimentale de caractérisation des propriétés physiques et mécaniques des granulats utilisés, ainsi que les modes opératoires et l'appareillage utilisé pour leurs déterminations.

Nous avons utilisé pour la confection du béton des matériaux locaux dont les caractéristiques ont été déterminées expérimentalement au laboratoire de Génie Civil de l'université de B-B-A.

Les matériaux utilisés dans notre travail sont :

1. Granulats : un sable silico-calcaire concassé 0/4 provenant de Carrière Arris Khoudja et trois graviers silico-calcaires de dimensions 4/8 et 8/15 et 15/25 concassé provenant de carrière Altro-Grouz région de Chelghoum laid (Mila).
2. Un ciment portland au calcaire NA442 CEM II /B (42.5N) nom commercial Matine.
3. Eau de gâchage : l'eau potable.
4. Deux types d'adjuvants :
 - ✓ Un superplastifiant (SP) : MASTER EASE 3500
 - ✓ Un hydrofuge (HF) : SIKA LIQUIDE

III-2 Les matériaux et les composantes du béton :

III-2-1 Les granulats

Définition :

Les granulats sont des éléments inertes entrant dans la composition des bétons dont l'origine naturelle ou artificielle, quand le choix est possible, il porte principalement sur la nature minéralogique, la masse volumique, la propreté, la dureté, la forme, la granulométrie, et l'absorption d'eau.



Figure III.1 : Granulats utilisés.

a) Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon en fonction de leurs dimensions. L'essai consiste à fractionner un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes au moyen d'une série de tamis. Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale de l'échantillon.

Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique. Pour rappel, le tamisat est la partie du matériau passant au travers du tamis.

- ❖ Tamisat : matériau passant au travers du tamis
- ❖ Refus : matériau retenu sur le tamis

Les résultats de l'analyse granulométrique du granulat utilisé dans cette étude sont présentés dans le tableau III-1, et la courbe granulométrique dans la figure III-1.

Tableau III.1 : Résultats d'analyse granulométrique

Module	Tamis en (mm)	Sable 0/4	Gravier 4/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Tamisats en pourcentage (Passants %)					
Poids initial en (g)		1000	1600	3000	5000
46	32.5	/	/	/	100
45	25	/	/	/	98
44	20	/	/	/	62
43	16	/	/	100	10
42	12.5	/	/	90	0.4
41	10	/	100	46	
40	8	/	98.5	12	
39	6.3	/	86	0.6	
38	5	100	66		
35	2.5	88	3		
32	1.25	65	0.8		
29	0.63	43			
26	0.315	29			
23	0.16	17			
20	0.08	14			

b) Module de finesse du sable :

Le module de finesse permet de juger globalement de la granularité d'un sable : selon deux gorges, un module de finesse élevé indique un sable grossier, un module de finesse faible caractérise un sable fin [19]. C'est une caractéristique intéressante, surtout en ce qui concerne les sables [20].

Il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : 0.16 – 0.315 – 0.63- 1.25 – 2.5 et 5 (mm) sur 100.

Il est calculé par la relation suivante : $M_f = \Sigma R_c / 100$ avec R_c : refus cumulé.

Pour notre cas, on a $M_f = 2.58$: Lorsque M_f est compris entre 2.2 et 2.8, donc est un

sable préférentiel.

c) Masses volumiques et absorption :

La masse volumique est une caractéristique de base des granulats pour bétons [21,22]. Cette caractéristique est définie selon les normes NF P 18-554 [23] pour la masse volumique apparente et NF P 18-555 [24] pour la masse volumique absolue (réelle).

Dans ce travail la masse volumique réelle est mesurée à l'aide d'un pycnomètre. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau III.2.

Tableau III.2 : Masses volumiques et absorption

Echantillons	Masse vol. Réelle (t/m ³)	Masse Vol. Apparente (t/m ³)	Absorption (%)
Sable 0/4	2.66	1.72	/
Gravier 4/8	2.64	1.49	1.3
Gravier 8/15	2.64	1.47	1.0
Gravier 15/25	2.64	1.44	0.9

d) L'Équivalent de sable (ES) et (VBS) :

L'essai de propreté de sable consiste à déterminer le pourcentage d'éléments fins et des impuretés. Pour mesurer la propreté de sable on utilise l'essai d'équivalent de sable (Figure III.2). Conformément à la norme NA455 ou la norme NF EN-933-8.



Figure III.2 : Appareillage de l'équivalent de sable.

Tableau III.3 : Equivalent de sable et VBS

Échantillon	ES (%)	Spécification	VBS	Spécification
Sable concassé	84.0	≥ 60	0.16	≤ 1

e) Essai de Dureté :

Résistance à la fragmentation par chocs (LA) :

L'essai LA (**Los-Angeles**) consiste à mesurer la quantité des éléments inférieurs à 1.6 mm produites en soumettant le matériau aux chocs de boulets d'acier dans un cylindre (tambour) en rotation.



Figure III.3 : Appareille de fragmentation LA.

Tableau III.4 : Coefficient LA (Los-Angeles)

Echantillons	Coefficient Los-Angeles LA (%)	Spécification
Gravier 4/8	/	≤ 30
Gravier 8/15	23.0	
Gravier 15/25	21.8	

Le tableau III.5 rassemble les résultats des propriétés des granulats utilisés.

Tableau III.5 : (propriétés des granulats utilisés)

Caractéristiques des granulats	Classes granulaires			
	0/4	4/8	8/15	15/25
Masse volumique apparente (t/ m ³)	1.72	1.49	1.47	1.44
Masse volumique absolue (t/ m ³)	2.66	2.64	2.64	2.64
Equivalent de sable à vue (%)	84.0	/	/	/
Module de finesse	2.58	/	/	/

III-2-2 Le ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est un ciment portland composé CPJ-CEM II B 42,5 de la cimenterie de Lavarge de la région de M'sila. Il répond aux exigences de la norme NA 442.

La composition chimique et minéralogique et les caractéristiques physiques et mécaniques du CEM II B 42,5 utilisé pour la confection des bétons sont présentées dans les tableaux III.6.7. et 8, elles sont fournies par la fiche technique du laboratoire de la cimenterie (Fiche technique en annexe) [25].



Figure III-4: Ciment CEM II B 42,5.

Tableau III.6 : Composition chimique du ciment CEM II 42,5 utilisé

CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CL ⁻	S ₀₃	P.A.F
55-65	5-6	22-28	3-3.6	1-2	0.1-0.16	0.3-0.6	0-0.01	1.8-2.5	1-2

Tableau III.7 : Composition minéralogique du ciment CEM II B 42,5

C3S	C2S	C3A	C4A
55 à 65 %	10 à 25 %	8 à 12 %	9 à 13 %

Tableau III.8 : Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé

Caractéristiques	Valeur
Consistance normale (%)	26,5 ± 2
Début de prise (min) à 20°	150 ± 30
Fin de prise (min) à 20°	230 ± 50
Classe de résistance (MPa)	42,5
Expansion à chaud (mm)	≤ 3
Masse volumique apparente (t/m ³)	1.1
Masse volumique absolue(t/m ³)	3.1

III-2-3 Eau de gâchage :

L'eau utilisée pour le gâchage des bétons est l'eau du robinet (l'eau potable).

III-2-4 Les adjuvants :

Nous avons utilisé pour notre travail trois adjuvants (superplastifiant et hydrofuge).

a) Superplastifiant :

MasterEase 3500 [26] est superplastifiant haut réducteur d'eau polyvalent non chloré à base de copolymère acrylique. Il est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage. Il est recommandé de l'utiliser de 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées (Fiche technique en annexe).

Tableau III.9 : Caractéristiques de l'adjuvant superplastifiant

Aspect	Couleur	Densité	Extrait sec (%)	PH	Teneur en chlorure (Cl ⁻)	Masse volumique à 20°C	Na2O eq
Liquide	jaunâtre	1.06	31,3	6 .0	< 0,1 %	1,070	≤ 2,5 %
		± 0.01	± 1,5	± 2.0		± 0,03 g/cm ²	

b) Hydrofuge de masse :

L'HYDROFUGE SIKA LIQUIDE [26] est un hydrofuge de masse liquide blanc pour bétons et mortier. Il s'ajoute dans le malaxeur en même temps que l'eau de gâchage. La plage d'utilisation recommandée est de 0.7 à 2 % du poids du ciment (soit 0.68 à 1.96 litre pour 100 kg de ciment). Il permet la confection de béton étanche dans la masse : (fondation, radier, réservoir) et du béton résistant à l'attaque des eaux séléniteuses, des eaux de mer, des eaux Industrielles ou des eaux pures. Il se combine à la chaux du ciment pour former des cristallisations complémentaires qui obstruent les capillaires du béton, le rendant étanche à l'eau (Fiche technique en annexe).

Tableau III.10 : Caractéristiques de l'adjuvant hydrofuge de masse

Aspect	Couleur	Densité	Extrait sec (%)	PH	Teneur en chlorure (Cl ⁻)
Liquide	Blanche	1.02	10.0 à 1.0	8.5	< 0,1 %
		± 0.01		± 0.01	

III-3 Formulation du béton :

III-3-1 Méthodes de formulation du béton :

La formulation du béton consiste à choisir les proportions de chacun des constituants et la mise en œuvre souhaitée, afin d'obtenir un béton avec les propriétés désirées [27].

La méthode utilisée pour formuler notre béton est celle de Dreux -Gorisse [28]. Cette méthode de formulation permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges.

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

- Détermination du rapport C/E
- Détermination de C et E
- Détermination du mélange optimal à minimum de vides
- Détermination de la compacité du béton
- Détermination des masses de granulats

a) Détermination du rapport C/E

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

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0.5)$$

Avec :

σ'_{28} = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa

σ'_c = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa

C = Dosage en ciment en kg par m³ de béton

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

G' = Coefficient granulaire (tableau III.11), fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau III.11 : Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max}

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

b) Détermination de C :

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

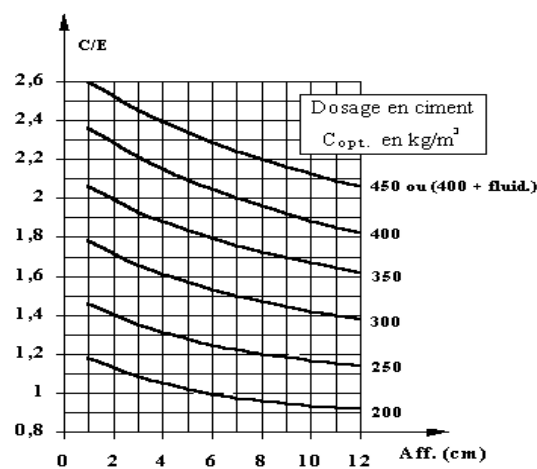


Figure III.5 : Abaque permettant la détermination du dosage en ciment C.

c) Détermination de E

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

d) Détermination du mélange optimal à minimum de vides

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

- ✓ Tracé de la droite brisée de référence
- ✓ Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux

- **Tracé de la droite de référence de Dreux :**

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

En abscisse :

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

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

En ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{1,25 (D_{\max})} + K' \quad \text{où } K' = K + K_s + K_p$$

Y : est donné en pourcentage de passants cumulés

K : est un coefficient donné par le tableau III.12, K_s et K_p étant des coefficients correctifs définis par :

K_s (correction supplémentaire fonction de la granularité du sable).

K_s = (6 M_{f_s} - 15) avec M_{f_s} le module de finesse du sable.

K_p (correction supplémentaire si le béton est pompable).

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

Tableau III.12 : K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment

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

- **Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux :**

Pour déterminer les pourcentages en volumes absolus de granulats permettant la confection d'un mélange à minimum de vide il est nécessaire de tracer les courbes granulométriques des matériaux du mélange, des droites reliant deux à deux (Figure III.6).

Ces droites sont définies par 5 % de refus pour le matériau à faible granularité et par 5 % de passant pour le matériau à forte granularité. L'intersection des droites ainsi tracées avec la droite brisée de Dreux permet, par prolongement sur l'axe des ordonnées, de déterminer les pourcentages en volumes absolus de chaque matériau. Ces pourcentages doivent permettre

l'obtention d'un mélange dont la courbe granulométrique est proche de la droite brisée de Dreux.

Si la courbe du mélange obtenue est trop éloignée de la courbe de Dreux, un ajustement de ces pourcentages peut s'avérer nécessaire.

Pour déterminer les masses de granulats entrant dans la composition de béton, il est nécessaire de déterminer la compacité du béton qui correspond au volume absolu en m³ de solide contenu dans un mètre cube de béton (volumes absolus de ciment, de sable et de gravier). Sa valeur de base c₀ est fonction de la taille des granulats, de la consistance du mélange et des moyens de vibration mis en œuvre (tableau III.13).

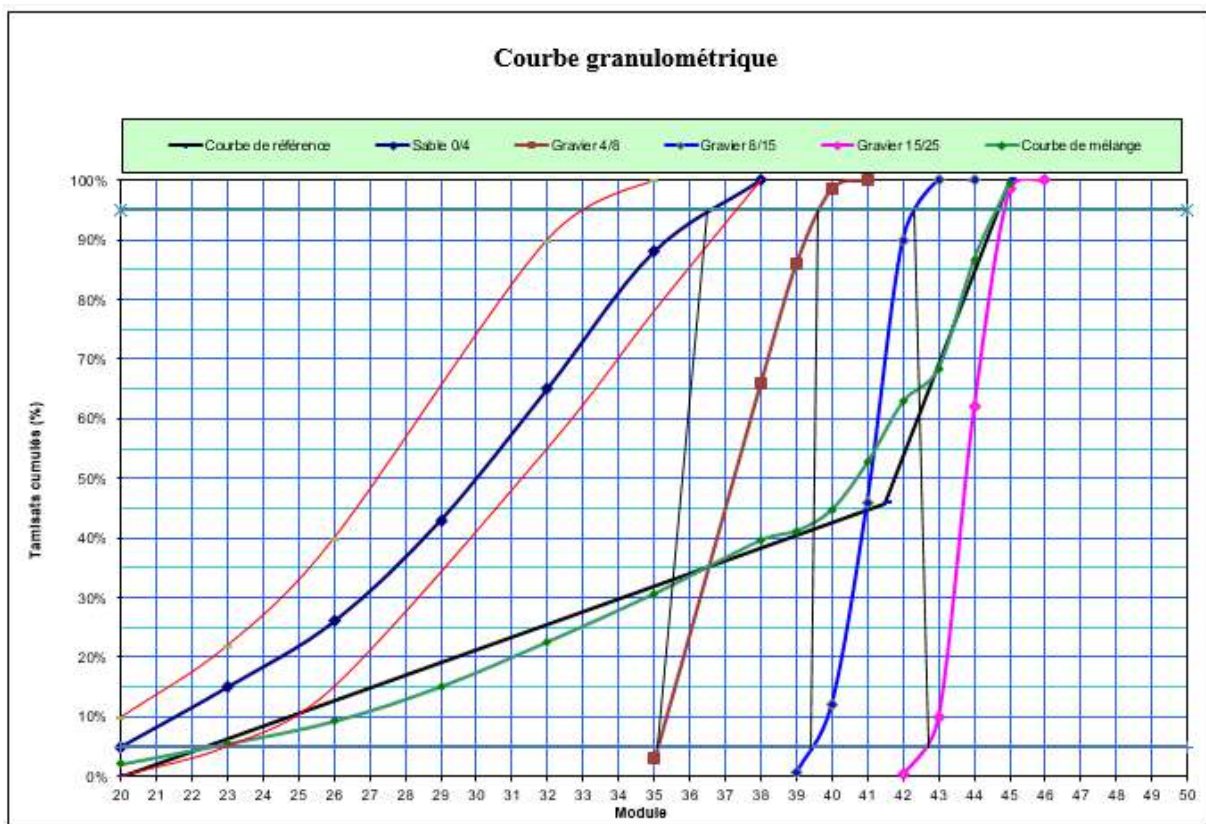


Figure III.6 : Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau.

Tableau III.13 : Compacité du béton en fonction de D_{max}, de la consistance et du serrage

Consistance	Serrage	Compacité (c)						
		D _{max} = 5	D _{max} = 8	D _{max} =12,5	D _{max} = 20	D _{max} =31,5	D _{max} = 50	D _{max} = 80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

- **Détermination des masses de granulats**

Connaissant le volume total absolu des granulats (V) et les pourcentages en volume absolue de sable (S %), de gravillon (g %) et de gravier (G %), il est alors possible de déterminer les volumes de sable (V_s) de gravillon (V_g) et de gravier (V_G) ainsi que leurs masses respectives (S, g et G) :

$$V_s = V \times S\% \qquad S = V \times S\% \times \rho_s$$

$$V_G = V \times G\% \qquad G = V \times G\% \times \rho_G$$

- **Composition d'un mètre cube du béton :**

Les proportions des différentes fractions de granulats sont présentées dans tableau III-14 ci- dessous.

Tableau III.14 : Composition d'un mètre cube du béton

Granulats	Mélange granulaire(%)	Volume Absolue	Poids Spécifique	Poids kg/m ³
Ciment	/	113	3.10	350
Sable (0/4)	43.0	303	2.66	806
Gravier (4/8)	11.0	81.0	2.64	214
Gravier (8/15)	24.0	173.0	2.64	457
Gravier (15/25)	22.0	160.0	2.64	422
Eau	/	170	/	170
	100.0	1000	/	2419

e) Préparation des mélanges

En plus de la composition du béton témoin sans adjuvant (**BT**), deux adjuvants ont été incorporés à la composition du béton témoin un superplastifiant **SP** (MasterEase 3500) et un hydrofuge **HF** (hydrofuge sika liquide). Chaque adjuvant a été ajouté en trois dosages (0.4, 0.8 et 1.2% pour le superplastifiant et 0.7, 1.3 et 1.9% pour l'hydrofuge). Le tableau III.15 rassemble tous les mélanges qui ont été travaillés.

Tableau II.15. Composition des bétons avec les différents dosages d'adjuvants

Béton	Sable 0/4 (Kg/m ³)	Gravier 4/8 (Kg/m ³)	Gravier 8/15 (Kg/m ³)	Gravier 15/25 (Kg/m ³)	Ciment (Kg/m ³)	Eau (l/m ³)	SP (l/m ³)	HF (l/m ³)
B1	806	214	457	422	350	170	0	0
B2	806	214	457	422	350	170	0	2.45
B3	806	214	457	422	350	170	0	4.55
B4	806	214	457	422	350	170	0	6.65
B5	806	214	457	422	350	170	1.4	0
B6	806	214	457	422	350	170	1.4	2.45
B7	806	214	457	422	350	170	1.4	4.55
B8	806	214	457	422	350	170	1.4	6.65
B9	806	214	457	422	350	170	2.8	0
B10	806	214	457	422	350	170	2.8	2.45
B11	806	214	457	422	350	170	2.8	4.55
B12	806	214	457	422	350	170	2.8	6.65
B13	806	214	457	422	350	170	4.2	0
B14	806	214	457	422	350	170	4.2	2.45
B15	806	214	457	422	350	170	4.2	4.55
B16	806	214	457	422	350	170	4.2	6.65

III-4 Techniques expérimentales :

III.4.1 Malaxage

Le processus de malaxage a été effectué comme décrit dans les travaux de [29], d'après cet étude le malaxage se déroule en plusieurs étapes. Ces dernières sont présentées dans le tableau (III.16). Une fois le mélange malaxé, les propriétés du béton à l'état frais sont déterminées et les éprouvettes des essais sont préparées dans un temps ne dépasse pas 60 minutes qui suivent leur malaxage pour éviter l'assèchement du béton [30]. La photographie de la figure (III.6) illustre l'aspect du béton témoin lors de malaxage.



Figure III.7 : Aspect du témoin lors de malaxage.

Tableau III.16 : Procédure de malaxage

Temps	t_0-4'	t_0-2'	t_0-1'	t_0+1'	t_0+2'
Addition	Granulats	-	Ciment	Eau+Adju	-
Tâche	Malaxage	Repos	Malaxage	Malaxage	Fin

III.4.2 Compactage

Le compactage a été effectué en utilisant d'un vibreur, ce moyen de compactage est largement utilisé. Le taux de compactage a été déterminé par des essais de convenance, et fixé tout au long de l'étude. Toutes les éprouvettes préparées ont été laissés durcir dans les conditions de laboratoire pendant 24 heures. Ensuite, ils ont été démoulés et placés dans un bassin d'eau.

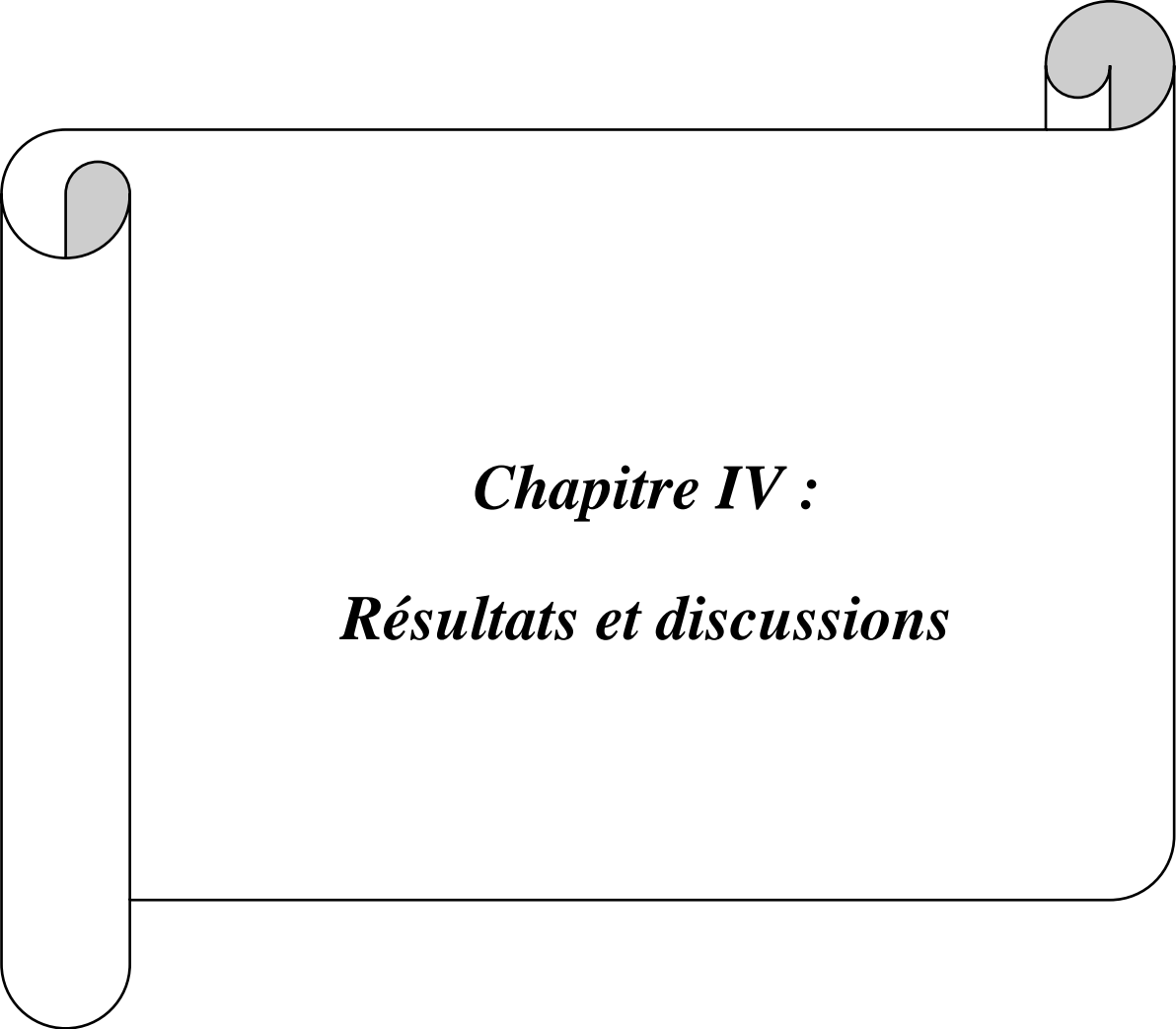
III.4.3 Préparation des échantillons

Des moules standards d'éprouvettes en béton ont été préparés conformément à la norme NF EN 12390-2 [31]. Chaque moule a été nettoyé à fond, séché, puis recouvert d'un film d'huile avant que le béton soit coulé. Le film d'huile a simplifié l'enlèvement des éprouvettes de leurs moules une fois le processus de durcissement terminé. Des éprouvettes, cylindriques (100 x 200 mm), ont été utilisées pour la mesure de densité de béton frais, la résistance à la compression, l'absorption d'eau.

L'ouvrabilité a été évaluée par l'essai au cône d'Abrams juste après le malaxage. L'essai a été effectué conformément aux prescriptions de la norme NF EN 206-1 [32]. La résistance à la compression a été évaluée à 7, 28 et de 60 jours selon la norme NF EN 1926 [33]. L'essai de l'absorption capillaire d'eau a été fait à 28 jours de cure, selon la norme NF EN 772-11 [34], les éprouvettes ont été séchées jusqu'à une masse constante dans une étuve à 105°C, et elles sont ensuite immergées dans une nappe d'eau de hauteur 2mm durant 72 h.

III-5 Conclusion

On a présenté dans ce chapitre les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la confection de nos bétons. Les caractéristiques des granulats ont été déterminés expérimentalement tandis que celles des adjuvants, elles ont été reprises des informations disponibles provenant des fabricants.



Chapitre IV :
Résultats et discussions

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV-1 Introduction

Ce chapitre contient deux parties, la première consiste en une présentation des résultats des essais réalisés pour l'évaluation de l'ouvrabilité, de la résistance à la compression, l'absorption de l'eau par capillarité et la perte de masse du béton conservé dans milieu agressif de béton à base de deux différents adjuvants (un superplastifiant et un hydrofuge).

La deuxième partie, nous allons essayer de modéliser l'effet de l'interaction de deux adjuvants (le superplastifiant et l'hydrofuge) sur le comportement du béton par le plan d'expérience (la méthode de surface de réponses), pour cela un plan expérimental a été conçu de deux facteurs, chaque facteur contenant quatre niveaux.

IV-2 Effet des adjuvants sur les propriétés du béton :

IV-2-1 Ouvrabilité

L'incorporation des adjuvants au béton a entraîné des modifications de l'ouvrabilité, chacun selon son dosage et sa nature chimique (Fig IV.1). D'après les résultats obtenus pour les deux adjuvants utilisés, on a observé que l'augmentation de l'affaissement est proportionnelle au dosage. Les valeurs maximales d'affaissement correspondent au dosage maximal.

Tous les bétons ont présenté des affaissements supérieurs à ceux des bétons témoins. Cette remarque est valable pour les trois dosages du superplastifiant (0.4, 0.8 et 1.2%) et aussi pour les trois dosages de l'hydrofuge (0.7, 1.3 et 1.9%).

L'ouvrabilité du béton avec le superplastifiant est la plus élevée par rapport aux autres bétons adjuvantés par l'hydrofuge et pour tous les dosages. Ces valeurs varient de 125 à 226 mm. Le superplastifiant change le comportement du béton où l'ouvrabilité reste contrôlée par le dosage, en lui attribuant plus de fluidité lorsque le dosage augmente. Ceci est dû à son effet dispersant en s'adsorbant à l'interface des grains du ciment créant, ainsi, des forces répulsives entre les particules, réduisant ou éliminant carrément l'adhésion entre les molécules voisines [35].

L'hydrofuge est connu pour son effet bénéfique pour combler les vides et les microfissures afin de limiter les fuites de fluide, on remarque donc sur la figure IV.1 que l'augmentation des dosages de l'hydrofuge n'a pas affecté les valeurs d'affaissement.

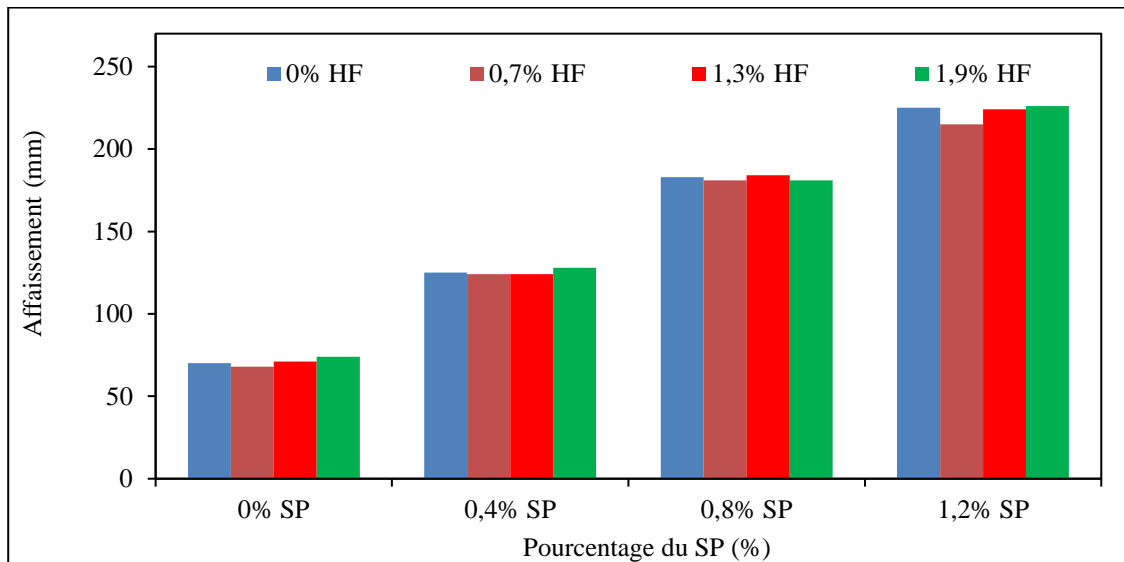


Figure IV.1 : Effet des adjuvants SP et HF sur l'ouvrabilité.

Donc on peut conclure que l'effet du dosage sur l'affaissement est plus important pour l'incorporation du superplastifiant. L'affaissement a augmenté de 321, 316, 315 et 305% lorsque le dosage en superplastifiant augmente de 0 à 1.2% pour le béton témoin et les trois dosages en hydrofuge (0.7, 1.3 et 1.9%) respectivement. Par contre, l'effet du dosage de l'hydrofuge sur l'affaissement reste relativement faible où nous n'avons constaté aucun changement.

IV-2-2 Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression obtenus sur les mélanges de béton adjuvanté avec différents dosages sont illustrés dans les figures IV.2 et IV.4.

Comme la montre la figure IV.1, sous les quatre dosages en HF étudiés, l'évolution de la résistance à la compression en fonction de temps a montré une tendance sensiblement similaire, où on remarque une augmentation de la résistance à la compression avec l'évolution de temps.

On peut également constater à travers de la figure IV.2 que l'augmentation du dosage en SP affecte positivement les valeurs finales de la résistance à la compression. Un gain dans la résistance finale (à 60 Jours) a été enregistré lorsque le dosage en SP augmente de 0 à 1.2% estimée de 15, 14, 26 et 31% pour le béton témoin et les trois dosages en HF (0, 0.7, 1.3 et 1.9%) respectivement (Figure IV.3).

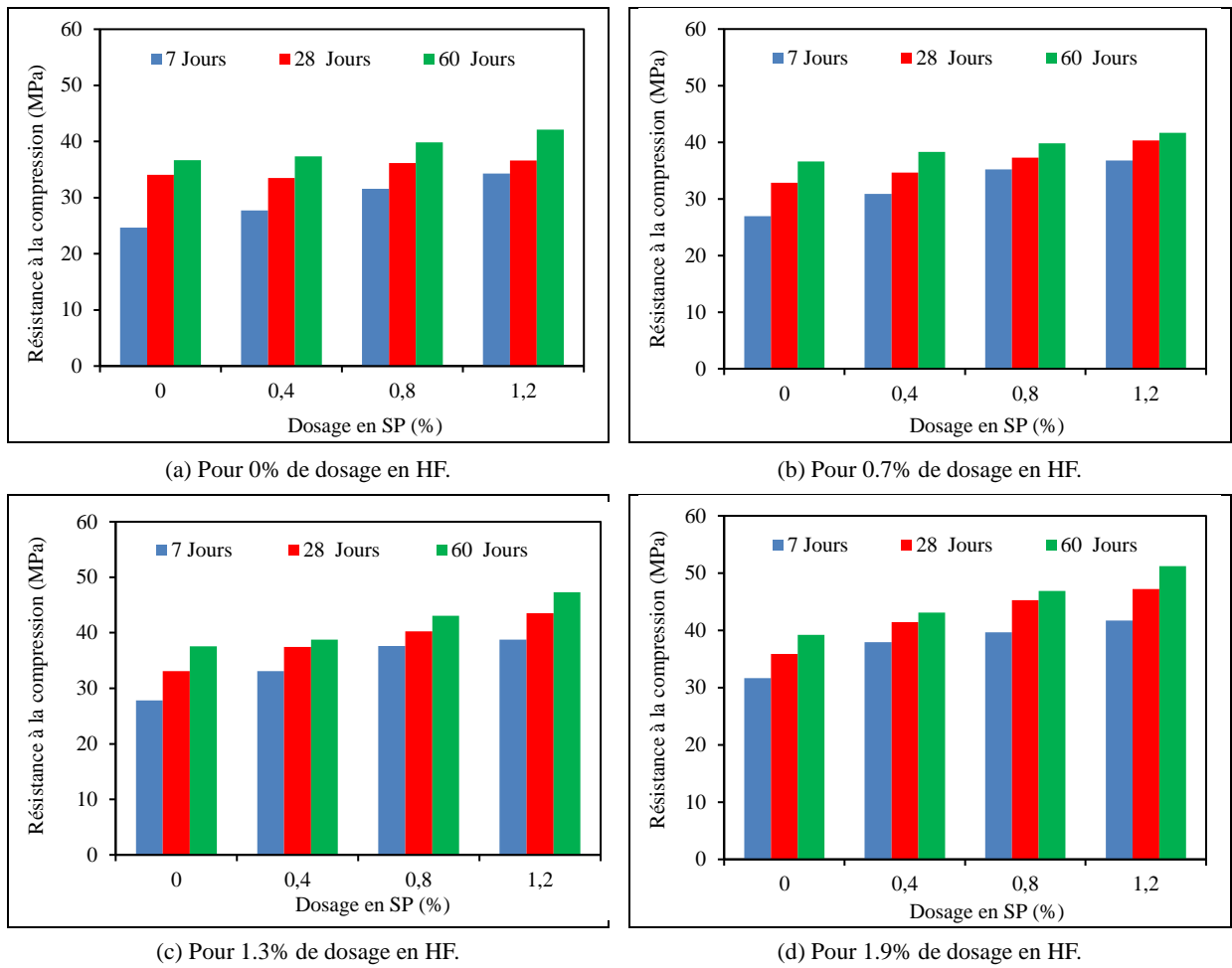


Figure IV.2 : Effet du dosage en SP sur la résistance à la compression.

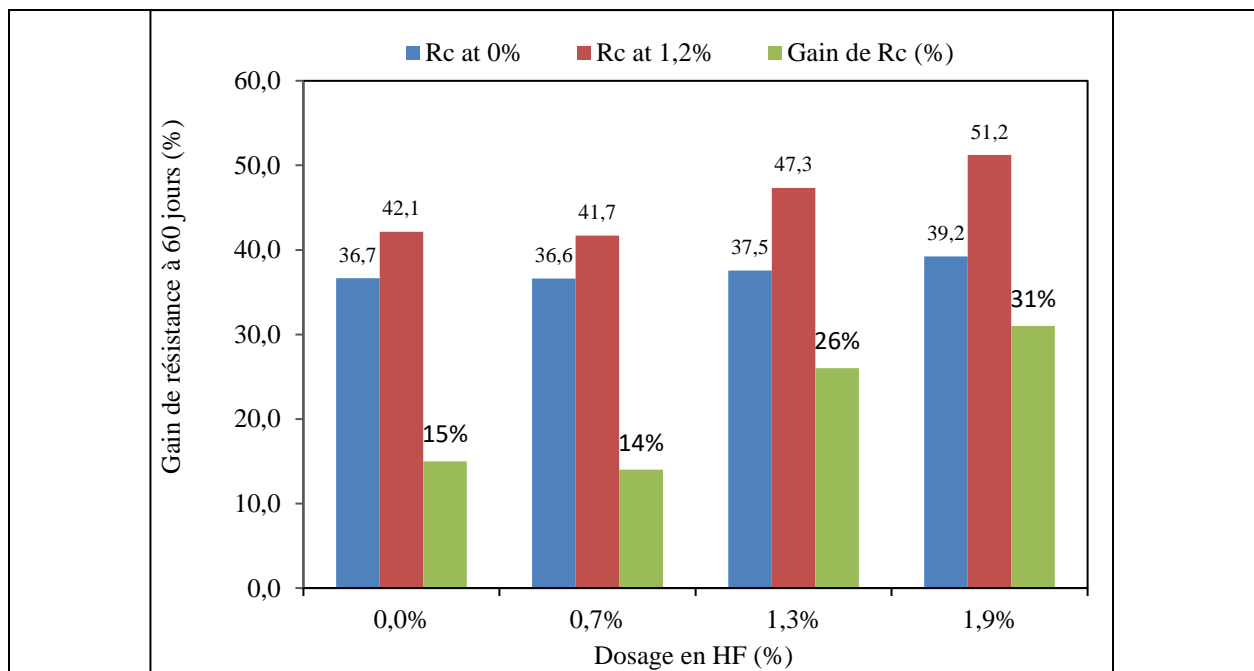


Figure IV.3 : Le gain de la résistance finale (à 60 Jours) lorsque le dosage en SP augmente de 0 à 1.2% sous les quatre dosages en HF.

Simultanément, sous les quatre niveaux de dosage en SP étudiés. Il est évident de noter qu'à travers de la figure IV.4 que l'augmentation du dosage en HF a un effet positif sur la résistance à la compression, mais cet effet n'est pas significatif que celui du superplastifiant. Où le gain de la résistance finale (à 60 jours) lorsque le dosage en HF a augmenté de 0 à 1.9% n'est que de 7, 8, 10 et 9% à des dosages en SP de 0, 0.4, 0.8 et 1.2% respectivement (Figure IV.5).

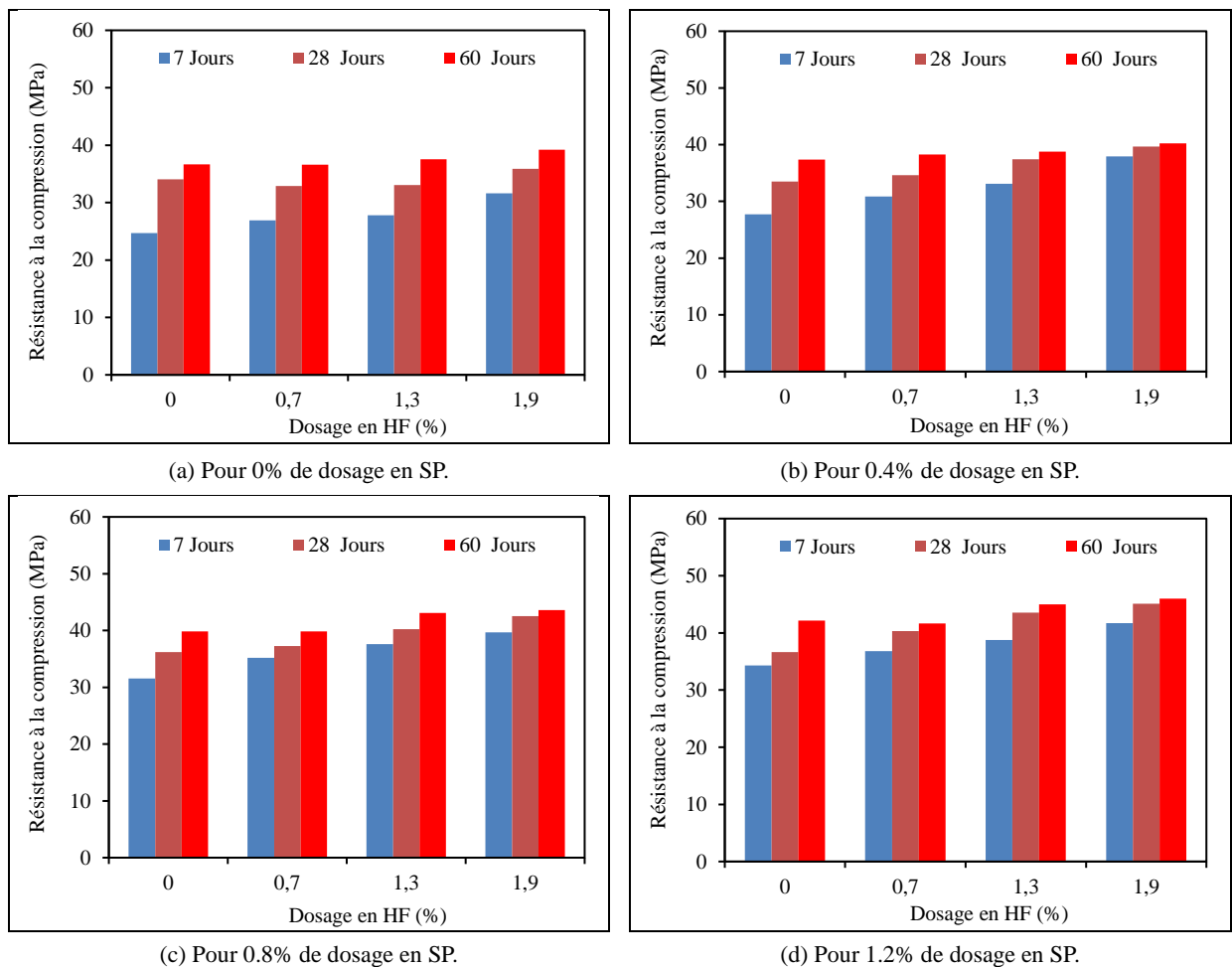


Figure IV.4 : Effet du dosage en HF sur la résistance à la compression.

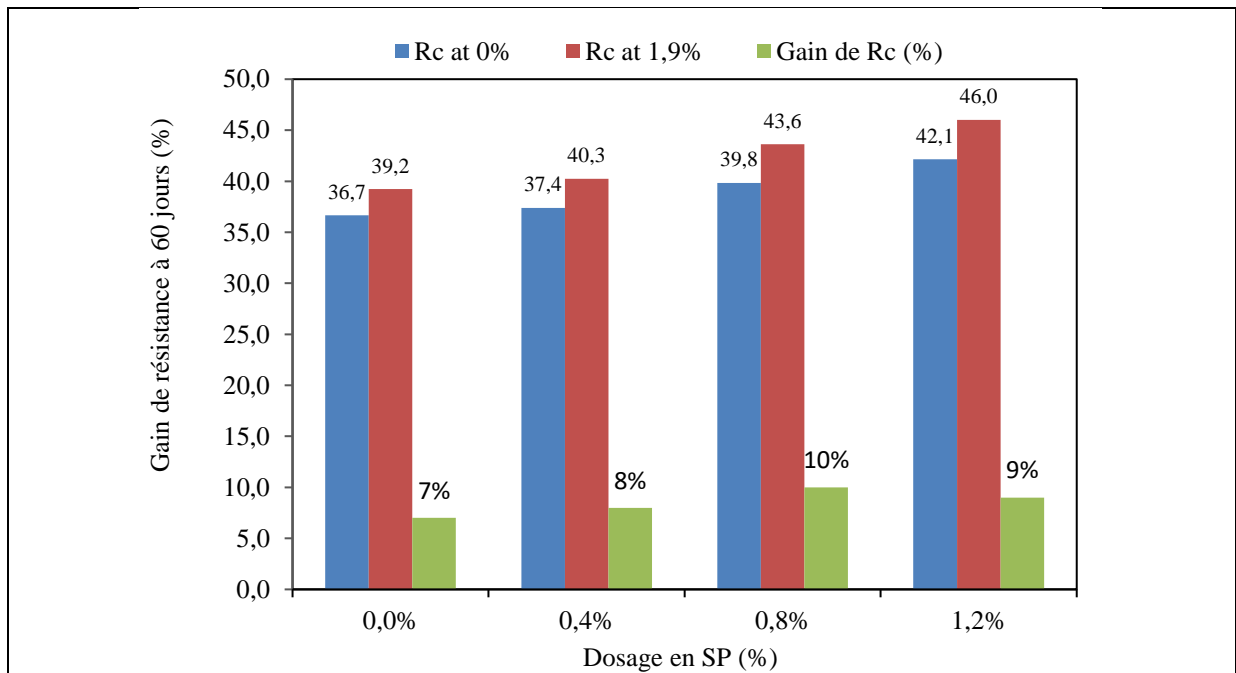


Figure IV.5 : Le gain de la résistance finale (à 60 Jours) lorsque le dosage en HF augmente de 0 à 1.9% sous les quatre dosages en SP.

L'ensemble des résultats des résistances à la compression ont montré que le béton avec le superplastifiant (BSUP) donne les valeurs les plus importantes où on a une augmentation maximale de 31% par rapport à la résistance du béton témoin pour un dosage en superplastifiant de 1.2% (Fig IV.3). Cette augmentation est similaire à celle indiquée par plusieurs chercheurs [36, 37]. Le rôle du superplastifiant dans la distribution des grains de ciment et l'amélioration de la compacité du béton est mis en évidence [38].

L'hydrofuge donne des valeurs non éloignées de celles du béton témoin, où on remarque des légères augmentations des résistances de ce béton adjuvanté. L'augmentation de résistance s'accroît avec l'augmentation du dosage.

IV-2-3 Absorption capillaire

L'absorption par capillarité est une propriété hydrique qui témoigne de la capacité du béton à absorber une quantité d'eau par unité de temps et de surface, lorsqu'une seule face est en contact direct avec de l'eau. Les échantillons utilisés dans ce travail, sont des éprouvettes cylindriques (100x200 mm) séchées jusqu'à une masse constante dans une étuve à 105°C, et elles sont ensuite immergées dans une nappe d'eau de hauteur 2mm durant 72 h.

L'évolution de l'absorption capillaire de l'eau des bétons adjuvantés avec le temps est représentée dans la figure (IV.6). Cette figure indique que l'absorption capillaire d'eau a évolué d'une façon similaire pour les deux adjuvants utilisés et pour tous les dosages.

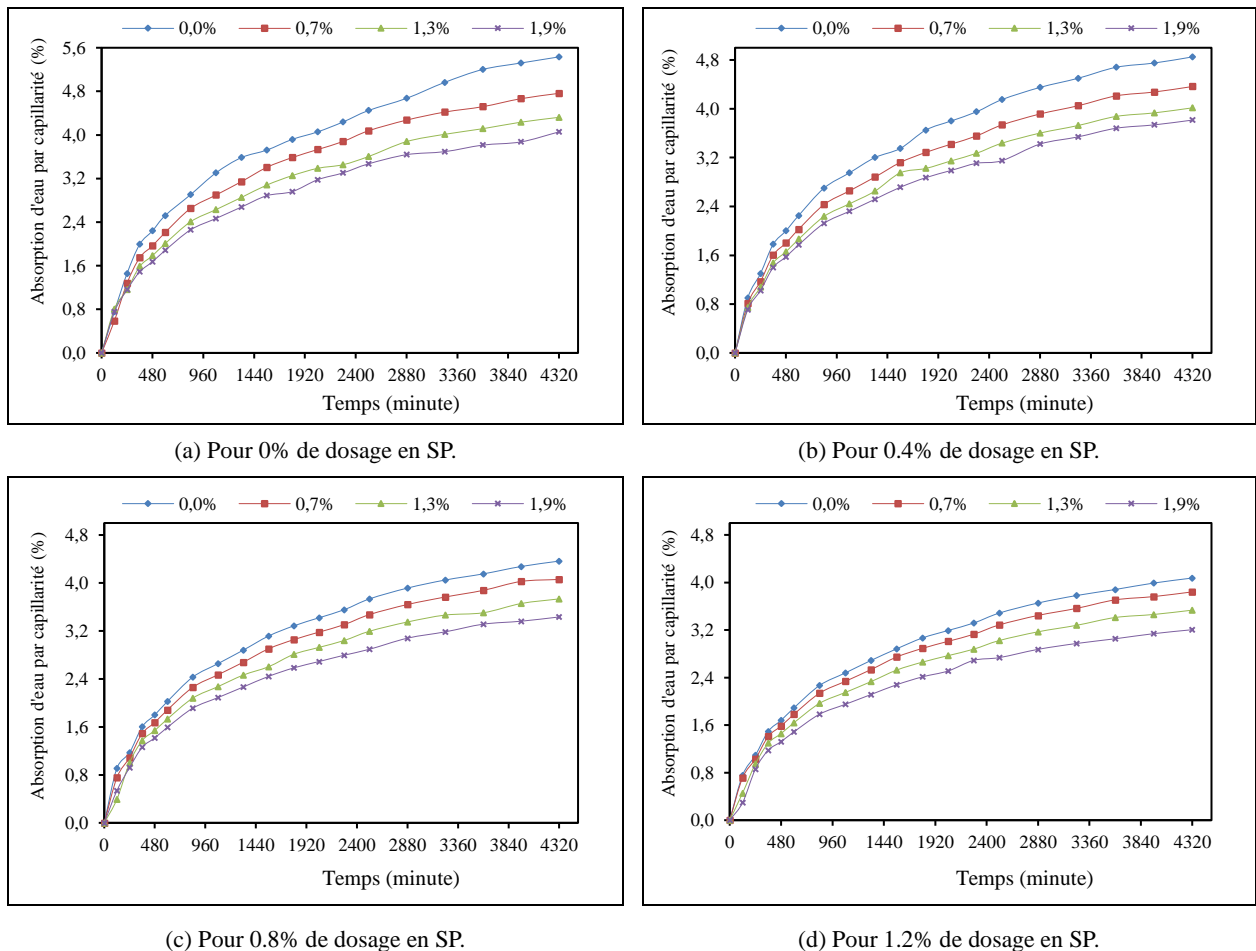


Figure IV.6 : Evolution de l'absorption d'eau par capillarité des bétons adjuvantés en fonction du temps.

Comme les paramètres précédents, l'absorption est aussi affectée par la présence des adjuvants, où on remarque clairement dans la figure l'effet bénéfique de l'élévation du dosage en HF. L'augmentation de ce dernier de 0 à 1,9 à entraîner une diminution maximale de l'absorption de 25%. Ceci peut s'expliquer par le fait que le rôle de cet adjuvant dans le béton est de combler les vides et les microfissures, ce qui conduit à améliorer son comportement d'absorption.

D'autre part, l'absorption a également été affectée positivement par l'augmentation de dosage du superplastifiant SP, où l'élévation du dosage en SP de 0 à 1.2% a diminué l'absorption de 21%. Cette amélioration peut attribuer au rôle du superplastifiant dans la distribution des grains de ciment et l'amélioration de la cohésion et de la compacité du béton.

IV-2-4 Résistance du béton au milieu agressif

Un béton est dit durable s'il conserve son intégrité et ses propriétés requises le plus longtemps possible. La durabilité du béton est directement liée à [39] :

- Ses propriétés de transfert, c'est-à-dire à la résistance qu'il offre à la pénétration et à la diffusion des agents agressifs en son sein (pénétration des chlorures et du dioxyde de carbone par exemple),
- Sa susceptibilité à développer des pathologies internes (alcali-réaction, réaction sulfatique interne par exemple). La durabilité introduit donc des notions de propagation et de cinétique.

Les ouvrages en béton armé constituent le matériau composite le plus couramment employé. Les principales causes de dégradation des bétons proviennent des attaques physiques et chimiques supportées dans le temps par les structures placées dans un environnement plus ou moins agressif. Les dégradations peuvent provenir de défauts initiaux dus soit à une conception mal adaptée, soit à une mauvaise mise en œuvre des bétons [40, 41, 42].

Il existe de nombreux matériaux agressifs susceptibles d'endommager le béton. Dans cette étude, nous avons utilisé la solution de l'acide sulfurique. Cette solution est un composé chimique de formule H_2SO_4 . C'est un acide minéral dont la force ($pK_a = -3,0$) est seulement dépassée par quelques superacides. Il est miscible à l'eau en toutes proportions, où il se dissocie en libérant des cations hydronium. Pour ce travail, nous avons utilisé cette solution avec un dosage de 5% dans l'eau.

Perte de masse

L'évolution de la perte de masse des bétons adjuvants avec le temps est représentée dans la figure (IV.6). Cette figure indique que la perte de masse a évolué d'une façon similaire pour les deux adjuvants utilisés et pour tous les dosages.

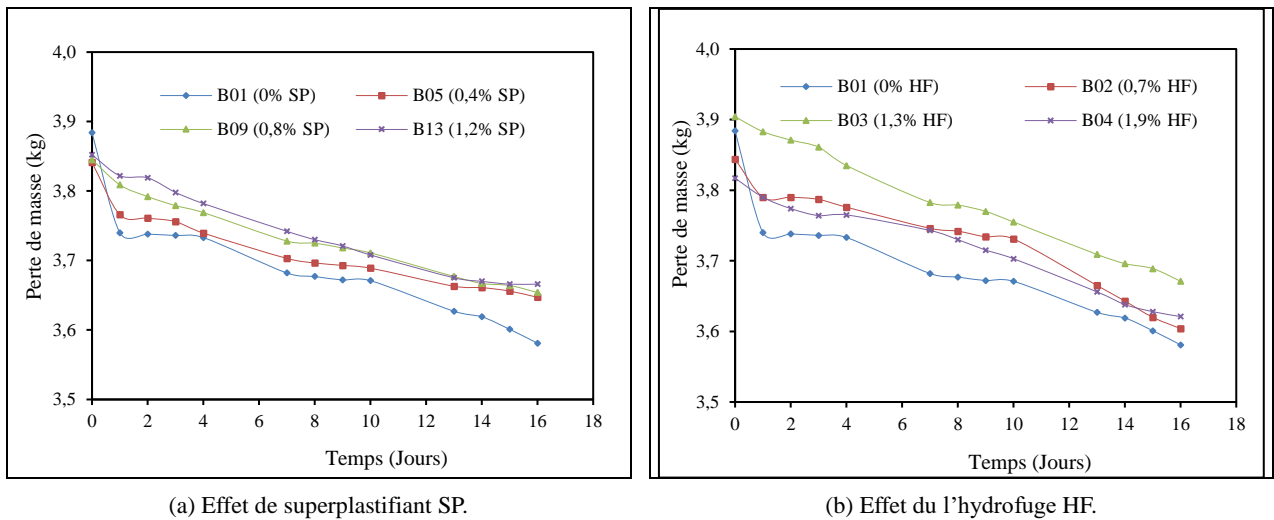


Figure IV.7 : la perte de masse au cours de temps des bétons adjuvés.

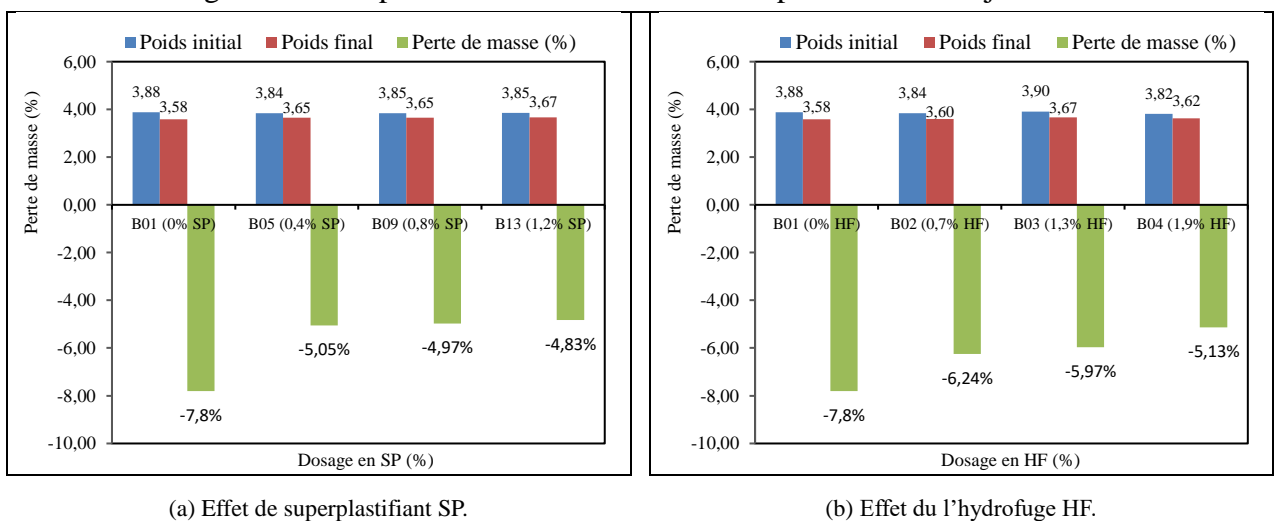


Figure IV.8 : La perte de masse finale des bétons adjuvés par le superplastifiant SP et l'hydrofuge HF.

L'ensemble des bétons (BT, BSP, BHF) ont présenté une perte de masse (Figs IV. 7). Cette perte de masse a évolué avec d'une façon similaire pour les deux adjuvés utilisés et pour tous les dosages. Le béton témoin donne la plus grande perte de masse.

Le béton adjuvé par le superplastifiant présente les pertes de masse les plus faibles, ceci pour les trois dosages en adjuvant. Ce qui confirme les résultats des résistances. Ces pertes aux dosages 0.4, 0.8 et 1.2% sont respectivement de 5.05, 4.79 et 4.83% (Figs IV. 8-a).

L'hydrofuge (HF) aussi provoque des pertes de masse inférieures à celle du béton témoin pour les trois dosages 0.7, 1.3 et 1.9% en adjuvant, avec des pertes de 6.24, 5.97 et 5.13% respectivement (Figs IV. 8-b). Le rôle de l'hydrofuge dans le remplissage des vides et des microfissures du béton empêche le béton d'absorber la solution agressive et évite ainsi que le béton ne soit endommagé.

IV-3 Effet du couplage SP et HF sur le comportement du béton

Dans cette partie, nous allons essayer de modéliser l'effet de l'interaction des deux adjuvants, le superplastifiant SP et l'hydrofuge HF sur le comportement du béton par la méthode de surface de réponses, pour cela un plan d'expérience a été conçu de deux facteurs, chaque facteur contenant quatre niveaux.

Les deux facteurs sont le superplastifiant SP et l'hydrofuge HF. Les niveaux des facteurs ont été définis comme suit :

- ✓ SP est en quatre niveaux : 0, 0.4, 0.8 et 1.2%.
- ✓ HF est aussi en quatre niveaux : 0, 0.7, 1.3 et 1.9%.

IV-3-1 Méthode de surface de réponses (Plan d'expérience)

La méthodologie de surface de réponse (RSM, Response surface methodology) est une technique statistique et mathématique couramment utilisée pour analyser et développer des modèles entre une ou plusieurs variables indépendantes et réponses [43]. De plus, RSM peut être utilisé pour l'optimisation multi-objectifs du modèle en définissant des objectifs souhaitables définis sur la base des réponses ou des variables [43]. La RSM a été utilisée dans le béton pour le développement de modèles et l'optimisation de mélanges. Mohammed et al [44] ont utilisé la RSM pour modéliser la résistance à la compression du béton contenant de la boue de papeterie comme additifs, et dans autre études et avec l'utilisation de la même méthode, Mohammed et Adamu [45] ont aussi modélisé le comportement du BCR contenant du caoutchouc granulé et de la nanosilice. Mtarfi et al [46] ont optimisé et développé un modèle permettant de prédire la résistance à la compression d'un mortier avec la RSM. Güneyisi et al [47] ont développé des modèles et optimisé le béton à haute performance en minimisant les facteurs de durabilité et en maximisant la résistance à la compression en utilisant la métakoaline et les cendres volantes comme variables. Rezaifar et al [48] ont développé des modèles permettant de prédire la résistance à la compression, le poids unitaire et l'absorption d'eau du béton de caoutchouc à l'aide de RSM. Ils ont également optimisé le mélange caoutchouc-béton en maximisant la résistance à la compression et en minimisant l'absorption d'eau. Mohammed et al [49] ont mis au point un modèle de conception de mélange pour béton autoplaçant (SCC) en utilisant la RSM. Ils ont également optimisé les mélanges SCC en maximisant le module d'élasticité et l'absorption d'énergie.

Dans cette étude, la RSM a été utilisée pour évaluer l'effet combiné du superplastifiant SP et l'hydrofuge HF sur les propriétés du béton et pour développer une relation entre les variables et les réponses mesurées.

Différents modèles peuvent être utilisés pour établir des relations mathématiques entre les réponses et les variables indépendantes dans l'analyse RSM. Le modèle de conception composite central est le modèle le plus couramment utilisé et le plus fiable. [43].

Étant donné que les relations mathématiques entre les réponses et les variables indépendantes ne sont pas connues, le modèle peut être formé comme un modèle linéaire donné par la fonction de premier ordre dans l'équation (4) [43].

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \dots \dots \dots (1)$$

Où y est la réponse modélisée, β_0 est l'ordonnée à l'origine pour laquelle $X_1 = X_2 = 0$, β_1 et β_2 sont respectivement les coefficients des première et deuxième variables indépendantes, X_1 est la première variable, X_2 la deuxième variable et ε est l'erreur [43].

Cependant, si les données contiennent une courbure, le modèle linéaire ne conviendra pas pour la réponse, alors un modèle polynomial de degrés supérieurs doit donc être utilisé, comme indiqué par la fonction de second ordre donnée dans l'équation (5).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \dots \dots \dots (2)$$

Où y est la réponse modélisée, X_i et X_j sont les valeurs codées de la variable indépendante, i est le coefficient linéaire, j est le coefficient quadratique, β est la constante de régression, β_0 est l'ordonnée à l'origine pour laquelle $X_i = X_j = 0$, k est le nombre de variables utilisées pour l'analyse, et ε est l'erreur [43].

IV-3-2 Description du logiciel utilisé

Dans cette étude, l'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel JMP (version 17). Ce logiciel est un programme informatique de statistiques mis au point par la division JMP de l'institut SAS. Créé dans les années 1980 en exploitant les avancées graphiques du Macintosh, il a ensuite été amélioré et est maintenant disponible sur d'autres systèmes d'exploitation.

Le JMP est utilisé dans des applications telles que le contrôle de qualité, l'ingénierie, la conception d'expériences et la recherche scientifique. Depuis quelques années, il inclut aussi des outils pour le data mining, le text mining et la recherche en marketing. Elle permet aux

utilisateurs de mener des recherches et d'explorer les données, plutôt que de se contenter de confirmer des hypothèses.

a- Acquisition de données

Dans tous les cas, l'importation de données dans JMP est une tâche interactive, et le logiciel réagit aux modifications apportées tout au long du processus. Tout fichier importé dans une table JMP est donc préformaté et quasiment prêt pour l'analyse. Les données importées dans JMP étant placées en mémoire, leur origine a peu d'importance. Si les tables JMP sont systématiquement optimisées pour l'analyse et l'exploration, la structure et les métadonnées de la source n'en sont pas moins préservées au maximum.

b- Visualisation des données

Les feuilles de calcul ne se prêtent pas aisément à l'identification de tendances ou de configurations au sein de vos données. Et pourtant, ce sont ces tendances qui permettent de faire des découvertes. Grâce aux puissants outils de visualisation dynamique de JMP, la découverte statistique est plus simple et plus efficace, et favorise l'innovation.

Le Constructeur de graphiques est le meilleur point de départ pour examiner les données et les représenter dynamiquement dans des graphiques. Il permet de créer de manière interactive des représentations graphiques élémentaires ou complexes par simple glisser-déposer. Il suffit de faire glisser les variables à l'endroit souhaité, de choisir l'élément graphique dans une palette d'icônes et de personnaliser la présentation pour obtenir un résultat de qualité éditoriale. Le Constructeur de graphiques propose systématiquement les options adaptées à la situation analysée.

c- Plan d'expériences

Les plans d'expérience (DOE) de JMP sont un moyen éprouvé et pratique d'explorer et d'exploiter les innombrables opportunités multidimensionnelles qui se présentent dans la plupart des situations réelles. Grâce aux plans multifactoriels, vous pouvez non seulement déduire l'impact d'un facteur individuel, mais également les effets combinés de plusieurs paramètres, et en tirer plus rapidement des enseignements à moindre coût. JMP offre des fonctionnalités de pointe pour la création de plans d'expérience. Vous pouvez ainsi élaborer les meilleures expériences pour répondre à des questions précises. JMP inclut également des fonctions d'analyse faciles à utiliser et adaptées à votre méthode de conception.

Outre le concepteur de plans optimaux, JMP prend en charge les plans classiques tels que les plans factoriels complets (théoriques), factoriels fractionnaires (criblage), à blocs, pour

surfaces de réponse, non linéaires et de mélanges, mais également des plans avancés tels que les plans uniformes basés sur les clusters qui autorisent les contraintes d'inégalité sur les facteurs.

Le JMP est de surcroît le premier logiciel à intégrer des plans de criblage définitifs. Ce type de plans permet de repérer de manière fiable et efficace les rares facteurs fondamentaux ayant un effet substantiel parmi d'innombrables paramètres insignifiants à l'impact négligeable. Pour le même coût que les plans de criblage classiques à deux niveaux, les plans de criblage définitifs permettent d'obtenir des informations sur les effets principaux, les effets de courbure et les interactions à deux facteurs.

d- Modélisation statistique

La création de modèles efficaces est un processus à la fois scientifique et artistique. JMP intègre plusieurs plates-formes statistiques pour construire des modèles utiles à partir de données expérimentales. Avec des méthodes destinées à révéler les relations entre les variables d'un processus, JMP permet d'établir des prévisions, mais aussi d'identifier les paramètres des facteurs produisant les meilleurs résultats. Il comprend plusieurs outils d'ajustement de modèles linéaires et non linéaires qui facilitent la prise de décision, quelles que soient les relations entre les données.

IV-3-3 Modèles statistiques et analyse de la variance

Les données ont été traitées par l'analyse de variance (ANOVA). Une conception composite de 16 expériences (deux facteurs à quatre niveaux 4*4) a été réalisée pour étudier l'influence de deux facteurs, y compris leurs interactions sur l'ouvrabilité, la résistance à la compression, l'absorption d'eau par capillarité et la perte de masse des bétons conservés dans un milieu agressif (comme réponses). Les deux facteurs sont le superplastifiant SP (0, 0.4, 0.8 et 1.2%) et l'hydrofuge HF (0, 0.7, 1.3 et 1.9%). Le tableau IV.1 présente la matrice d'expériences et les résultats expérimentaux.

Tableau IV.1 : Conception expérimentale et résultats expérimentaux

	Facteurs				Réponses			
	Valeurs codées		Valeurs réelles		Ouvrabilité, Affaissement en (mm)	Résistance à la compression (MPa)	Absorption de l'eau (%)	Perte de masse (%)
	SP (%)	HF (%)	SP (%)	HF (%)				
1	-1	-1	0	0	70	36.66	5,43	-7,80
2	-1	-0.5	0	0.7	68	36.61	4,76	-5,05
3	-1	0.5	0	1.3	71	37.54	4,32	-4,97
4	-1	1	0	1.9	74	39.22	4,06	-4,83
5	-0.5	-1	0.4	0	125	37.38	4,85	-6,24
6	-0.5	-0.5	0.4	0.7	124	38.29	4,37	-4,93
7	-0.5	0.5	0.4	1.3	124	38.79	4,02	-4,63
8	-0.5	1	0.4	1.9	128	43.13	3,82	-4,06
9	0.5	-1	0.8	0	183	39.82	4,37	-5,97
10	0.5	-0.5	0.8	0.7	181	39.84	4,06	-4,12
11	0.5	0.5	0.8	1.3	184	43.08	3,73	-3,81
12	0.5	1	0.8	1.9	181	46.86	3,43	-3,47
13	1	-1	1.2	0	225	42.14	4,07	-5,13
14	1	-0.5	1.2	0.7	215	41.68	3,84	-3,92
15	1	0.5	1.2	1.3	224	47.33	3,53	-3,41
16	1	1	1.2	1.9	226	51.22	3,20	-2,95

Les relations entre les variables indépendantes et chaque réponse ont été obtenues par ANOVA comme montré dans les tableaux IV. (2 et 3). Le niveau de signification de 5% ($P < 0,05$) est utilisé pour vérifier si un modèle est significatif ou non. D'après le tableau (IV.2), les valeurs P de toutes réponses de modèles sont inférieures à 0,05 ; il s'agit donc de modèles significatifs à un niveau de confiance plus de 95%. De même, la signification statistique de chacune des variables indépendantes du modèle a été vérifiée à un niveau de signification de 5% ($P < 0,05$).

Tableau IV.2 : Analyse de variance (ANOVA) pour les modèles de réponse

Variable	Source	Degré de liberté	Somme carré	Moyenne carré	F -Values	P-Values
Ouvrabilité, Affaissement en (mm)	Modèle	5	372.81640	74.5633	303.8934	<.0001
	Résiduelle	10	2.45360	0.2454		
	Total	15	375.27000			
Résistance à la compression (MPa)	Modèle	5	264.04333	52.8087	88.7292	<.0001
	Résiduelle	10	5.95167	0.5952		
	Total	15	269.99499			
Absorption d'eau (%)	Modèle	5	4.7804611	0.956092	177.9973	<.0001
	Résiduelle	10	0.0537139	0.0537139		
	Total	15	4.8341750			
Perte de masse (%)	Modèle	5	21.332700	4.26654	38.7060	<.0001
	Résiduelle	10	1.102294	0.11023		
	Total	15	22.434994			

F-values : valeur du test statistique de Fisher, P- values : valeur de probabilité.

Les valeurs de test statistique F (F -Values) sont 303.89, 60.93, 51.20, 32.93, 61.97 et 170.32 pour les modèles de résistance à la compression, de résistance à la traction par

fendage, du module d'élasticité, de résistance à l'abrasion, de retrait et de l'absorption d'eau respectivement (tableau V.2). Les valeurs de F sont calculées en utilisant le rapport entre la moyenne carrée du modèle (moyenne carrée des résultats prédits) et la moyenne carrée d'erreur (moyenne carrée des différences entre les résultats expérimentaux et les résultats prédits), les valeurs élevées F signifient que l'erreur est très faible.

Les résultats du tableau V.3 et les équations (6-11), montrent que tous les modèles de réponse sont des modèles quadratiques. Selon les valeurs de P, les termes du modèle T, H sont significatifs pour tous les modèles, l'interaction (T * H) est significative pour les modèles de résistance à la compression, le retrait et l'absorption d'eau, alors que n'est pas significative pour les modèles de résistance à la traction par fendage, de module d'élasticité et de résistance à l'abrasion. Le terme H² n'est pas significatif pour tous les modèles à l'exception de modèles de résistance à la traction par fendage, et enfin le terme T² est significatif pour seulement les modèles de résistance à la compression et à la traction par fendage.

Tableau IV.3 : Termes des modèles de réponse

Réponses	Termes du modèle	Estimation	Somme carré	F -Values	P-Values	Signification
Ouvrabilité, Affaissement en (mm)	Constante	152.89493	-	-	-	-
	SP	76.851415	52433.069	3667.030	<.0001	S
	HF	1.193191	12.536	0.8768	0.3712	NS
	SP*HF	-0.528774	1.368	0.0957	0.7634	NS
	SP ²	-8.015625	203.062	14.2017	0.0037	S
	HF ²	3.1098591	31.235	2.1845	0.1702	NS
	Manque d'adjust					0.1921
Résistance à la compression (MPa)	Constante	39.604459	-	-	-	-
	SP	4.0420726	145.04734	243.7088	<.0001	S
	HF	3.128102	86.16156	144.7688	<.0001	S
	SP*HF	1.7689896	15.31433	25.7312	0.0005	S
	SP ²	0.7326563	1.69651	2.8505	0.1222	NS
	HF ²	2.0509263	13.58493	22.8254	0.0007	S
	Manque d'adjust					0.2724
Absorption d'eau (%)	Constante	4.0581274	-	-	-	-
	SP	-0.500417	2.2231339	413.8846	<.0001	S
	HF	-0.530372	2.4769240	461.1332	<.0001	S
	SP*HF	0.1203453	0.0708770	13.1953	0.0046	S
	SP ²	0.07875	0.0196000	3.6490	0.0852	NS
	HF ²	0.0513921	0.0085300	1.5880	0.2362	NS
	Manque d'adjust					0.2892
Perte de masse (%)	Constante	-4.269671	-	-	-	-
	SP	0.9110406	7.368464	66.8466	<.0001	S
	HF	1.1670133	11.992324	108.7942	<.0001	S
	SP*HF	-0.120292	0.070814	0.6424	0.4415	NS
	SP ²	0.116719	0.043056	0.3906	0.5460	NS
	HF ²	0.728931	1.716052	15.5680	0.0027	S
	Manque d'adjust					0.1516

Le manque d'ajustement est également utilisé pour vérifier la qualité de l'ajustement des modèles. Comme le montre le tableau (IV.3), la significativité P pour le manque d'ajustement de tous les modèles est supérieure à 0,05, ce qui signifie que ce n'est pas significatif et que cela signifie que tous les modèles de réponse ont une bonne condition physique. Les relations et les interactions entre les variables (SP et HF en fonction de leurs valeurs réelles) et les réponses obtenues par ANOVA sont données dans les équations (3-6) :

$$Aff = 152.895 - (28.267 * SP - 24.5 * HF - 0.0267 * SP * HF - 0.222 * SP^2 + 0.125 * HF^2) * 10^{-3} \dots \dots \dots (3)$$

$$R_c = 40.042 - (633.86 * SP + 74.25 * HF - 4.98 * SP * HF - 1.833 * SP^2 - 0.1563 * HF^2) * 10^{-3} \dots \dots \dots (4)$$

$$A_e = 4.058 - (110.283 * SP - 127.125 * HF - 0.904 * SP * HF + 2.361 * SP^2 + 0.203 * HF^2) * 10^{-3} \dots \dots \dots (5)$$

$$PM = -4.269 + (69.358 * SP - 41.863 * HF - 0.205 * SP * HF - 0.381 * SP^2 + 0.236 * HF^2) * 10^{-3} \dots \dots \dots (6)$$

Où Aff est l'ouvrabilité mesurée par l'affaissement au cône d'Abrams, R_c est la résistance à la compression, A_e est l'absorption d'eau par capillarité et PM est la perte de masse des bétons conservés dans un milieu agressif, SP est le superplastifiant et HF est l'hydrofuge.

L'adéquation et le degré de corrélation de chaque modèle de réponse peuvent également s'expliquer par le coefficient de régression élevé (R^2), qui explique également la pertinence et la qualité des modèles, comme le montre le tableau (V.4). L'ouvrabilité, la résistance à la compression, l'absorption d'eau par capillarité et la perte de masse ont des valeurs R^2 de 99.73, 97.79, 98.88 et 95.05% respectivement. Cela montre que les modèles ont un degré de corrélation très élevé entre les modèles prédits et les données expérimentales, et qu'il existe une adéquation étroite entre les données expérimentales et leurs droites de régression. Tous cela, avec seulement 0.27, 2.21, 1.12 et 4.95% des données expérimentales pour l'ouvrabilité, la résistance à la compression, l'absorption d'eau par capillarité et la perte de masse respectivement ne peuvent pas être corrélées par les modèles. De plus, pour tous les modèles de réponse, les R^2 prédits sont en accord avec leur R^2 ajusté correspondant car la différence entre les deux est inférieure à 2%, à l'exception du modèle de la perte de masse dont la différence est supérieure à 2%, comme le montre le tableau V.4. La variabilité des modèles par rapport aux données expérimentales a également été vérifiée à l'aide de leurs écarts types (SD) et coefficients de variations (CoV). Les faibles valeurs de SD et CoV des

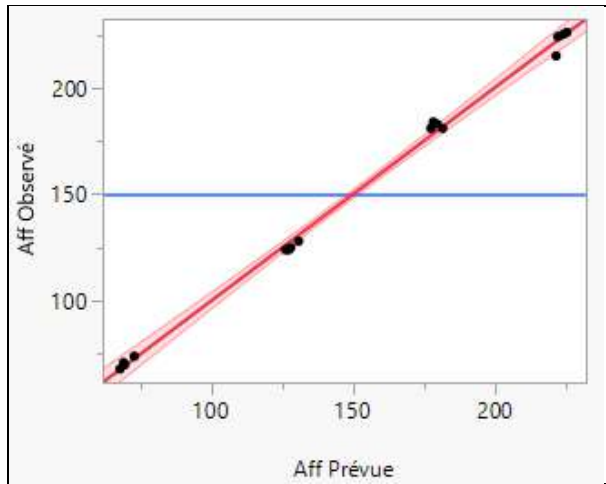
modèles montrent que les données expérimentales correspondent aux modèles développés avec un degré de corrélation très élevé.

Tableau IV.4 : Résumé d'ajustement

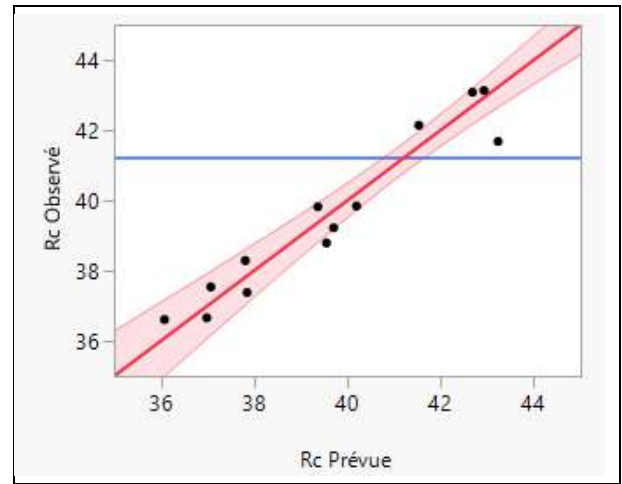
Réponses	Aff (mm)	Rc (MPa)	Ae (%)	PM (%)
Moyenne	150.18	41.22	4.116	-4.7056
SD	1.61	0.12	0.91	0.09
CoV (%)	3.90	2.56	2.82	2.11
R ²	0.9973	0.9779	0.9888	0.9508
R ² Adjusté	0.9959	0.9669	0.9833	0.9263

Les tracés des résultats prédits par rapport aux résultats réels sont également des facteurs importants pour vérifier l'adéquation et la pertinence des modèles graphiquement, (Figure IV.9 (a-d)), où ils ont été avérés que la corrélation s'aligner et s'adapter étroitement à la ligne droite, ce qui signifie que les données expérimentales sont en accord et bien adaptées aux résultats prédits des modèles. Par conséquent, les modèles de réponse développés sont applicables et appropriés pour prédire l'ouvrabilité, la résistance à la compression, l'absorption d'eau par capillarité et la perte de masse

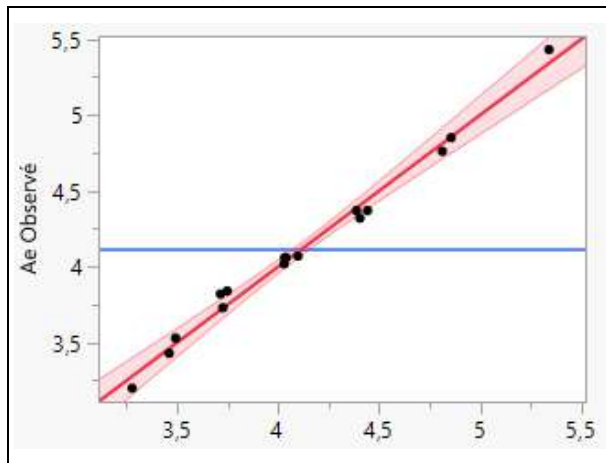
Les tracés de surface de réponse tridimensionnels pour les modèles développés sont illustrés à la figure IV.10 (a-d). On peut voir dans la figure IV.10 .a que l'affaissement au cône d'Abrams affecte seulement le superplastifiant SP, les figures IV.10. (b, d) montres l'effet positif de deux adjuvants sur la résistance à la compression, l'absorption d'eau par capillarité et la perte de masse. Les figures figure IV.10 (a-d) montre également que le superplastifiant SP présente des effets plus importants et positifs sur les réponses par rapport à l'hydrofuge HF. La combinaison de 1.2% de SP et de 1.9% d'HF a donné les meilleurs résultats pour tous les modèles.



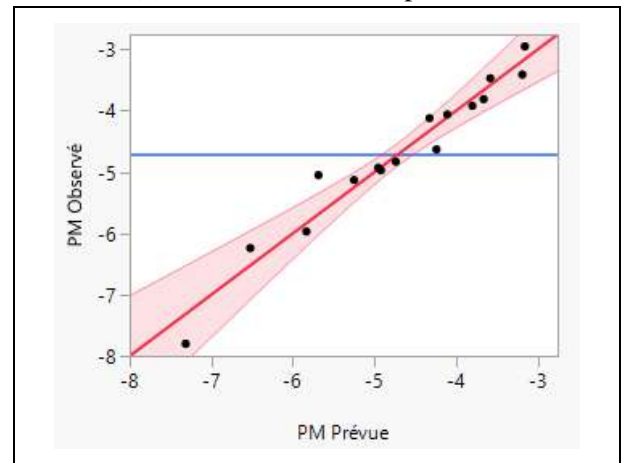
(a) Affaissement



(b) Résistance à la compression

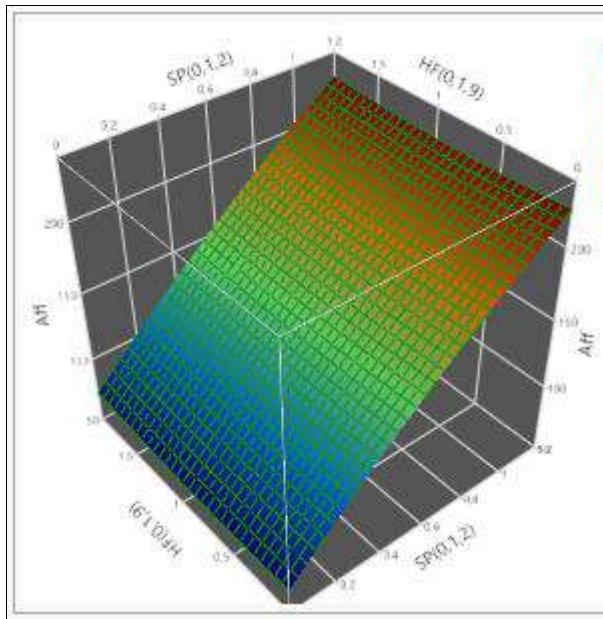


(c) Absorption d'eau

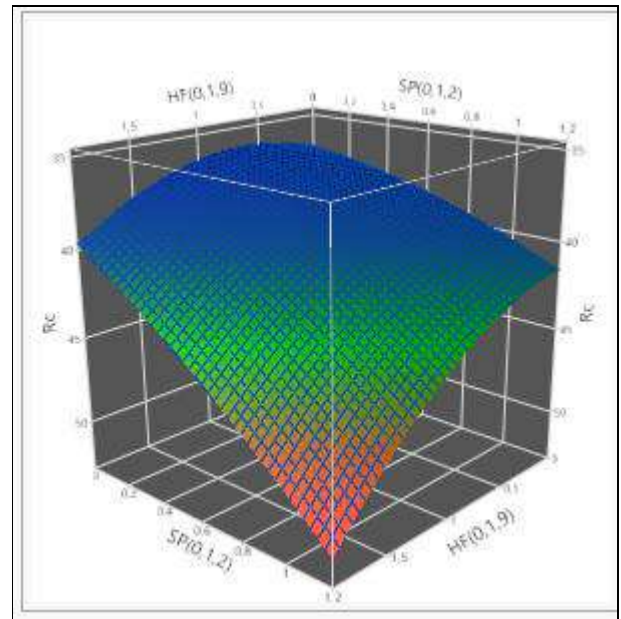


(d) Perte de masse

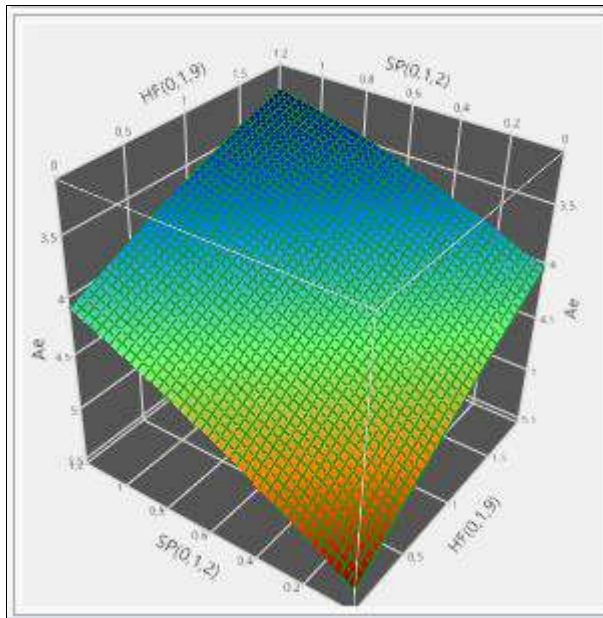
Figure IV.9 : Résultats prédits vs réels pour les modèles développés.



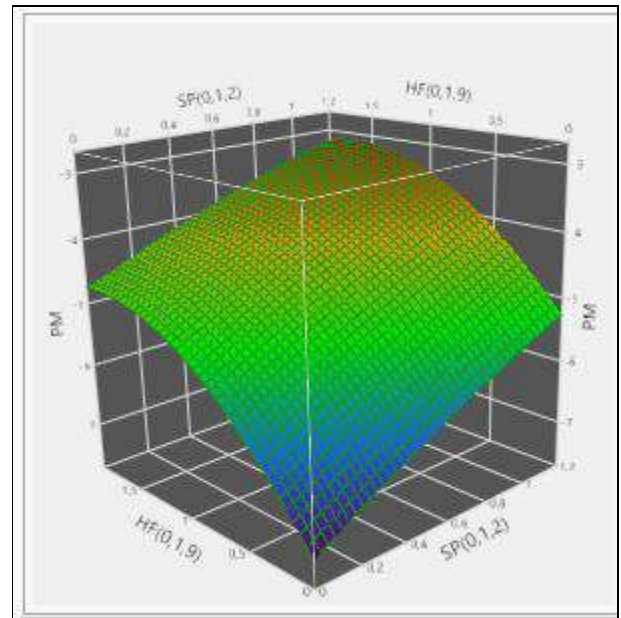
(a) Affaissement



(b) Résistance à la compression



(c) Absorption d'eau



(d) Perte de masse

Figure IV.10 : Surface de réponse pour les modèles développés.

Les courbes de contour bidimensionnelles (iso-réponses) des modèles développés sont illustrées à la figure IV.11 (a – d). Il est remarquable que toutes les lignes de contour aient une forme elliptique, ce qui signifie qu'il existe une interaction parfaite entre le superplastifiant et l'hydrofuge pour toutes les réponses. Car lorsque les lignes sont horizontales, cela signifie qu'il n'y a pas d'effet du superplastifiant SP, et la même chose lorsqu'elles sont droites verticales, cela signifie qu'il n'y a pas d'effet l'hydrofuge HF, tandis que lorsque les lignes sont droites obliques, cela signifie que l'effet du superplastifiant et de l'hydrofuge est proportionnel à la réponse.

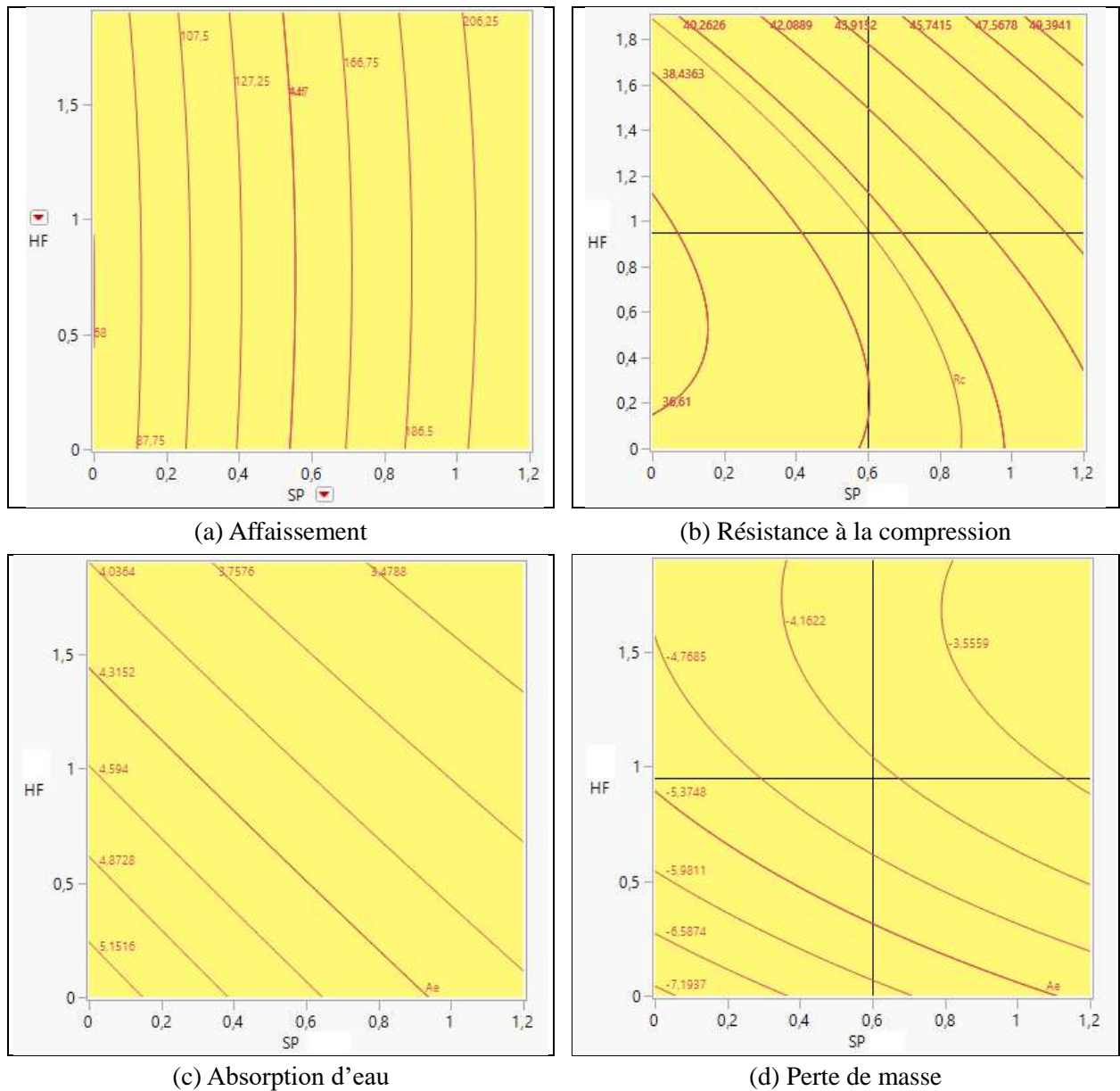


Figure IV.11 : Tracés de contour pour les modèles développés.

Les courbes d'interaction des réponses avec une considération des facteurs sélectionnés (le superplastifiant SP et l'hydrofuge HF) sont présentées sur la figure IV.12 (a – d). On peut observer que pour les réponses de l'ouvrabilité et de la perte de masse, les courbes d'interaction des deux facteurs sont presque parallèles les uns aux autres, ce qui indique que les effets d'interaction des deux facteurs (SP*HF) sur les réponses (Aff et PM) ne sont pas significatifs, ce qui fait confirmer les résultats de l'analyse ANOVA (Tableau IV.3). Il est bien connu que l'interaction des effets est considérée comme significative lorsque les deux lignes se croisent et que d'une autre manière, l'effet d'un facteur sur la réponse est varié avec la variation de niveau de l'autre facteur [49].

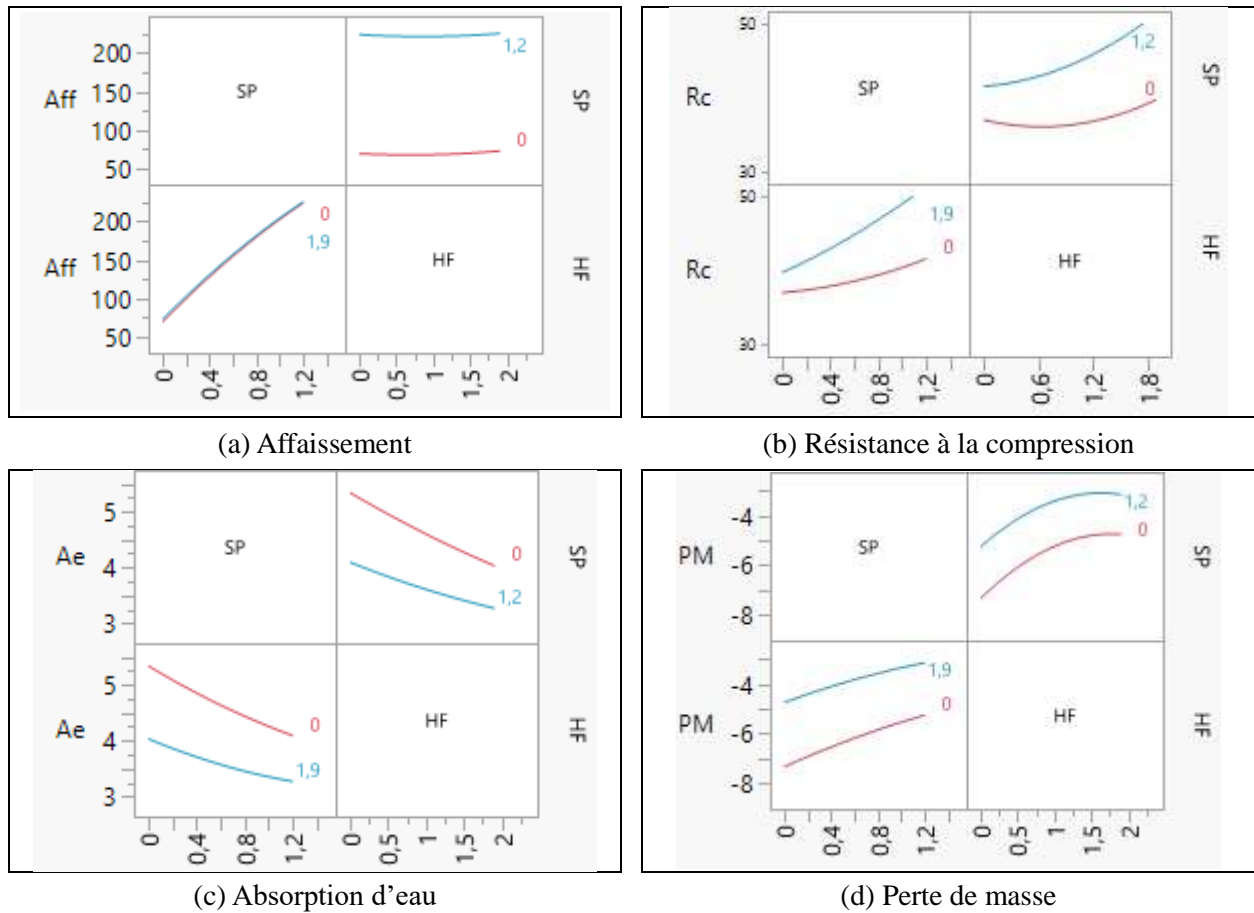


Figure IV.12 : Courbes d'interaction pour les modèles développés.

IV-4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'effet de la variation de deux adjuvants un superplastifiant et un hydrofuge sur les propriétés mécaniques et physiques du béton. Les résultats obtenus montrent que les propriétés du béton ont été affectées suite à l'élévation de deux adjuvants, des effets positifs ont été notés avec l'augmentation du dosage de deux adjuvants sur tous les paramètres étudiés, à l'exception l'effet de l'hydrofuge sur l'ouvrabilité n'était pas considérable.

Dans ce chapitre, nouveaux modèles mathématiques ont été élaborés pour prédire l'ouvrabilité, la résistance à la compression, l'absorption d'eau par capillarité et la perte de masse du béton adjuvanté. Les modèles ont été élaborés par la méthode de surface de réponses RSM. Les valeurs de P, F et R^2 montrent que les modèles développés sont significatifs et avec un taux de confiance plus de 95%.



Conclusion générale

Conclusion générale

Dans cette étude expérimentale, on a pu quantifier l'effet de deux types d'adjuvants sur le comportement à l'état frais à travers la maniabilité des différents bétons. La prospection à l'état durci a concerné l'évolution des résistances des différents bétons adjuvantés. L'aspect durabilité a concerné l'évolution de la perte de masse après des séjours dans une solution de sulfate de sodium ainsi que l'absorption d'eau par capillarité.

A la suite de ces résultats expérimentaux, on peut en tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Les affaissements maximaux sont obtenus par les dosages maximaux du superplastifiant. Les valeurs des affaissements varient de 125 à 226 mm en correspondance au dosage de 0.4 à 1.2%. L'hydrofuge n'était pas des effets significatifs sur l'ouvrabilité, les valeurs des affaissements étaient proches de celles du béton témoin.
- ✓ Les résistances en compressions les plus importantes ont été obtenues par le superplastifiant. Le gain varie de 15 % (dosage min.) à 31% (dosage max.). L'hydrofuge a également joué un rôle bénéfique dans l'amélioration de la résistance à la compression, un gain varie entre 8 et 10% pour tous les dosages.
- ✓ L'absorption de l'eau par capillarité des bétons adjuvantés confirment les résultats de la résistance. Le béton SP a une absorption maximale inférieure de 25% de celle du béton témoin, tandis que l'absorption maximale du béton HF inférieure de 18% de celle du béton témoin.
- ✓ L'ensemble des bétons adjuvantés ont présenté une perte de masse inférieure à celle du béton témoin. La perte de masse la plus faible est celle béton avec superplastifiant SP (dosage max.), donc le superplastifiant conduit au béton le moins poreux.

En ce concerne la modélisation, la première chose à mentionner est que le plan d'expérience est un outil efficace pour modéliser les différents comportements ; l'ouvrabilité, la résistance à la compression, l'absorption d'eau par capillarité et la perte de masse.

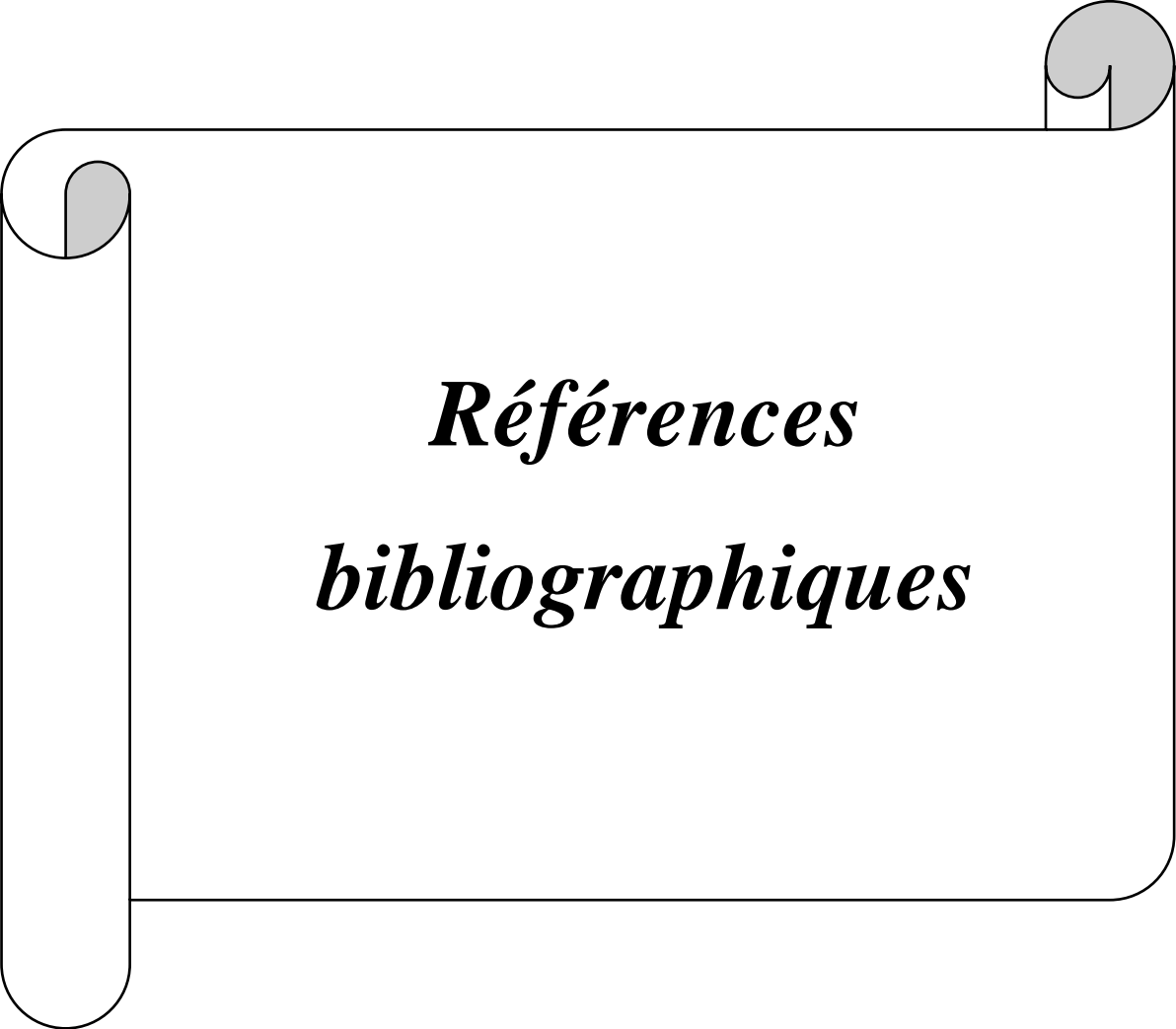
- ✓ Les modèles élaborés présentaient une haute significativité avec des valeurs de P inférieurs à 5% et des valeurs très élevées de F. La pertinence et la qualité des modèles peuvent également s'expliquer par les valeurs de R^2 , ces valeurs qui étaient proches à un montrent que ces modèles ont un degré de corrélation très élevé entre les modèles prédits et les données expérimentales, et qu'il existe une adéquation étroite entre les données et leurs droites de régression. L'écart types (SD) et les coefficients de

variations (CoV) peuvent utiliser pour vérifier la variabilité des modèles par rapport aux données expérimentales, les faibles valeurs de SD et CoV des modèles montrent que les données expérimentales correspondent aux modèles développés.

- ✓ Les graphiques sont aussi des outils pour vérifier l'adéquation et la pertinence des modèles. Les tracés des résultats prédits par rapport aux résultats réels ont montré que les données expérimentales sont bien adaptées aux résultats prédits. Les tracés de surface de réponse ont confirmé que les meilleures réponses étaient pour la combinaison de 1.2% de SP et 1.9% d'HF. Les courbes de contour ont indiqué qu'il existe une interaction parfaite entre la SP et IHF. Les courbes d'interaction des réponses étaient concorde aux valeurs de P pour la signification du terme d'interaction SP*HF.

Perspectives

- ✓ Cette étude était limitée à deux adjuvants, il est possible d'étudier l'effet de plus de deux, en particulier les retardateurs et les accélérateurs de prise.
- ✓ Varier les compositions des bétons (nature des granulats, type de ciment, ...) pour prendre en compte les différentes réactions et leurs effets sur les différentes propriétés des bétons.
- ✓ Prospector le comportement des bétons adjuvantés dans différents climats (étude de l'efficacité des adjuvants dans différents environnements).



*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] : Centre Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales : Guide d'utilisation du béton en site maritime-Notice n° PM 08-01, France, (2008).
- [2] : Xing. Z., Influence de la nature minéralogique des granulats sur leur comportement et celui du béton à haute température. Thèse de Doctorat, Génie Civil, Université de Cergy-Pontoise, (2011).
- [3] : NIGRI. G., Technologie du béton, Thèse de Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, Algérie, 2018.
- [4] : NA 442 : 2013. Désignation normalisée. CIMENT PORTLAND A COMPOSE. Identification. CEMII/A-M (P-L) 42.5N
- [5] : Fiches Techniques, Tome 1, Les constituants des bétons et des mortiers : Les Adjuvants, Paris, (2005).
- [6] : BOUCHOUK Kh & BOUAZIZ F; étude de l'effet des adjuvants sur les propriétés des bétons, Mémoire de mastère, Université de Guelma, (2013).
- [7] : A BOUCHIBA ; Propriétés du béton frais ; Mémoire de master, Université de tiaret ,2015
- [8] : Baron J, Ollivier JP. La durabilité des bétons, Association technique de l'industrie des liants hydrauliques, in French, Paris, 1992. ISBN : 2-85978-184-6.
- [9] : Neville AM. Properties of concrete, Edition Eyrolles, 4th ed. Longman Group Limited, England, 2000. ISBN : 2-212-01320-5.
- [10] : A.Vichot, J. P. Ollivier. La durabilité des bétons, Presses ENPC, 2008. ISBN : 978-2-85978-34-8.
- [11] : REGOURD M. – « Carbonatation accélérée et résistance des ciments aux eaux agressives ». Rilem Int. Symp., Cement and Concrete Association, Vexham Springs, 1976.
- [12] : KAMALI S. – Comportement et simulation des matériaux cimentaires en environnements agressifs : lixiviation et température. Thèse de l'ENS Cachan-LMT n° 2003/4, 7 février 2003.
- [13] : MEHTA P.K. – “Concrete technology at the crossroads. Problems and opportunity” P.K. Metha symposium on Durability of concrete, Nice, France, K.H. Khayat et P.C.

Aïtcin eds, 1994, p. A3-A37.

[14] : Patrick Guiraud ; Construction Moderne ; Annuel Ouvrages d'art 2014 ; page15.

[15] : SYNAD., Les constituants des bétons et des mortiers : Adjuvants pour Béton et Mortiers, Paris, (2005).

[16] : NF EN : 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis - Partie 2 : adjuvants pour bétons. Définitions et exigences , avril 1998 , AFNOR.

[17] : NF P 18-334 : adjuvants pour béton, mortiers et coulis- hydrofuges de masse (déc 1986), AFNOR.

[18] : NF P 18-338 : adjuvants pour béton, mortiers et coulis -entraîneurs d'air (déc 1986), AFNOR.

[19].Norme NF P18-541 : Association Française de Normalisation(AFNOR) : Granulats pour bétons hydrauliques. Mai (1994).

[20].Saint Arroman J.C.,Granulats, Sols, Cimentet Béton, Editions ASTEILLA, Paris,(1995)

[21] : DERABLA R., Influence des additions minérales sur le comportement au jeune âge et long terme des bétons autoplaçants traités thermiquement. Thèse de doctorat, université 8 Mai 1945, Guelma, Algérie, (2015).

[22] : Centre Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales : Guide d'utilisation du béton en site maritime-Notice n° PM 08-01, France, (2008).

[23] : NF P 18-555 : Granulats - Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux. Décembre(1990).

[24] : NF P 18-554 : Granulats - Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables. Décembre(1990).

[25] : Fiche technique du Ciment Portland Composé CPJ-CEM II/A 42,5.Laboratoire de l'usine "Hadjar Essoud". , Skikda, Algérie, (2011).

[26] : SIKA El Djazair, www.sikaeldjazair.com, Algérie, (2006), consulté le (2015) et (2016).

[27] : Khial N., Utilisation des méthodes non destructives pour la caractérisation des bétons dans un environnement agressif » Thèse de doctorat, université mouloud mammeri de tizi-ouzou, (2016).

- [28] : Dreux. G., Nouveau guide de béton, Editions Eyrolles, Paris, p.154, (1979).
- [29] : Debieb, F., Courard, L., Kenai, S., & Degeimbre, R. (2009). Roller compacted concrete with contaminated recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 23(11), 3382–3387. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.031>
- [30] : Gauthier, P., & Marchand, J. (2004). Conception et réalisation de revêtements en béton compacté au rouleau au Québec. *Association Béton, Québec (ABQ) Québec*, 63–87.
- [31] : NF EN : 12390-2 : confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance, Juin 2019, AFNOR.
- [32] : NF-EN-206-1 : Béton - partie 1 : Spécification, performances, production et conformité. AFNOR, (2004).
- [33] : NF EN 1926 : Détermination de la résistance en compression uniaxiale, Avril 2007.
- [34] : NF EN 772-11 : détermination de l'absorption de l'eau par capillarité, Aout 2011
- [35] : Journée D'information, Ciments – Bétons –Adjuvants. Organisée par. ERCE – CTCEst – GRANITEX Les adjuvants définition et opportunités d'utilisation, Algérie, (2004).
- [36] : Belouadah M., Evaluation des effets secondaires liés à l'incorporation des adjuvants sur les propriétés de durabilité du béton à base de matériaux locaux, Thèse de magister, université de Mohamed Boudiaf M'sila , Algérie, (2004).
- [37] : International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT) –volume 3 Issue 6 Number 2, The Effect of Admixture on Perméability of Concrete T.P. Meikandaan Department of Civil Engineering Bharath University Chennai 73, (2012).
- [38] : Tebbal N., Rahmouni Z., Belouadah M., Influence d'un ajout sur le comportement mécanique des bétons à haute performance soumis à des températures élevées. 3 XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, France, (2012).
- [39] : Centre Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales : Guide d'utilisation du béton en site maritime-Notice n° PM 08-01, France, (2008).
- [40] : Khial N., Utilisation des méthodes non destructives pour la caractérisation des bétons dans un environnement agressif » Thèse de doctorat, université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou, (2016).
- [41] : Mathieu. Chekroun. Auscultation de la peau du béton par ondes ultrasonores haute fréquence. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, Sciences Pour l'Ingénieur

Géosciences Architecture, (2008).

- [42] : Nguyen V.T. Comportement des bétons ordinaires et à hautes performances soumis à haute température : application à des éprouvettes de grandes dimensions. Thèse de doctorat, université de Cergy-pontoise, France, (2013).
- [43] : Douglas, C. . (2008). Montgomery Design and Analysis of Experiments. John Wiley.
- [44] : Mohammed, B. S., Fang, O. C., Hossain, K. M. A., & Lachemi, M. (2012). Mix proportioning of concrete containing paper mill residuals using response surface methodology. *Construction and Building Materials*, 35, 63–68.
- [45] : Mohammed, B. S., & Adamu, M. (2018). Mechanical performance of roller compacted concrete pavement containing crumb rubber and nano silica. *Construction and Building Materials*, 159, 234–251. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.098>
- [46] : Mtarfi, N. H., Rais, Z., Taleb, M., & Kada, K. M. (2017). Effect of fly ash and grading agent on the properties of mortar using response surface methodology. *Journal of Building Engineering*, 9, 109–116.
- [47] : Güneysisi, E., Gesoğlu, M., Algın, Z., & Mermerdaş, K. (2014). Optimization of concrete mixture with hybrid blends of metakaolin and fly ash using response surface method. *Composites Part B: Engineering*, 60, 707–715.
- [48] : Rezaifar, O., Hasanzadeh, M., & Gholhaki, M. (2016). Concrete made with hybrid blends of crumb rubber and metakaolin: Optimization using Response Surface Method. *Construction and Building Materials*, 123, 59–68.
- [49] : Mohammed, B. S., Achara, B. E., Nuruddin, M. F., Yaw, M., & Zulkefli, M. Z. (2017). Properties of nano-silica-modified self-compacting engineered cementitious composites. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1225–1238.
- [50] : Mukharjee, B. B., & Barai, S. V. (2014). Assessment of the influence of Nano-Silica on the behavior of mortar using factorial design of experiments. *Construction and Building Materials*, 68, 416–425. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.074>



Annexes

MasterEase 3500

Concept Low Viscosity Concrete

Nouvelle technologie de superplastifiants à propriétés rhéologiques avancées

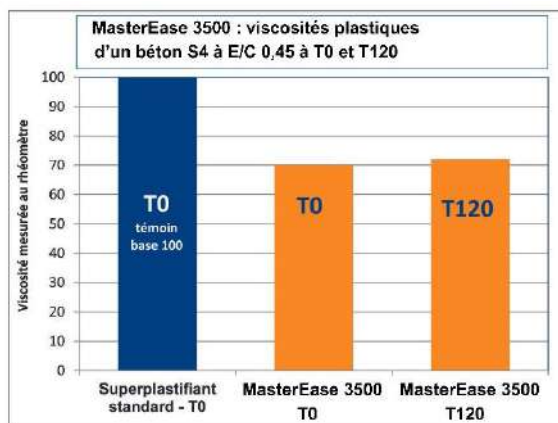
Description

Le MasterEase 3500 est un superplastifiant haut réducteur d'eau issu des derniers travaux de recherches des laboratoires R&D de Master Builders Solutions de Master Builders Solutions.

Le MasterEase 3500 a été conçu pour conférer au béton frais des propriétés rhéologiques exceptionnelles : il améliore considérablement la mise en place et le pompage des bétons fabriqués en centrales de béton prêt à l'emploi et en centrales de chantier.

L'innovation MasterEase 3500

Le MasterEase 3500 est basé sur une chimie de polymères innovante et brevetée par Master Builders Solutions. Son action diffère des superplastifiants traditionnels, dans la mesure où l'adsorption des polymères du MasterEase 3500 sur les particules de liant est réalisée par une liaison chimique flexible qui n'entrave pas l'écoulement des bétons. Cette innovation permet au MasterEase 3500 d'améliorer significativement le comportement rhéologique des bétons, ceux-ci présentent un faible seuil de cisaillement, une faible viscosité alliés à un long maintien de maniabilité.



Low Viscosity Concrete

Le concept Low Viscosity Concrete est un concept innovant dédié à la viscosité (rhéologie) des bétons. Il est basé sur l'utilisation des adjuvants de la série 3000 et sur des services techniques dédiés. Ce concept permet d'obtenir une baisse significative de la viscosité, mais également une optimisation de la performance des bétons.

Domaines d'application

Le MasterEase 3500 est recommandé pour la fabrication de béton plastique à autoplaçant nécessitant une faible viscosité, un long maintien d'ouvrabilité et des résistances élevées. Le MasterEase 3500 est donc adapté à l'industrie du béton prêt à l'emploi ainsi qu'aux chantiers de Génie-Civil et de bâtiment.

Il peut être utilisé pour la réalisation des bétons suivants :

- Béton prêt à l'emploi selon la norme NF EN 206-1/CN ;
- Béton fabriqué en centrales de chantier ;
- Béton pompé ;
- Béton d'ouvrage fortement ferrailé ;
- Béton autoplaçant ;
- Béton hautes performances et ultra hautes performances ;
- Béton à faible impact environnemental et haute teneur en additions minérales ;
- Béton architectonique.

Propriétés

Le MasterEase 3500 apporte de nombreux avantages aussi bien sur le béton frais que sur le béton durci.

A l'état frais, optimisation de la rhéologie

- Diminution de la viscosité des bétons, à E/C constant
 - Amélioration de la mise en place des bétons ;
 - Amélioration du pompage (pression plus faible et longue distance facilitée) ;
 - Meilleur serrage et réponse à la vibration ;
 - Plus grande facilité de pompage ;

MasterEase 3500

Concept Low Viscosity Concrete

Nouvelle technologie de Superplastifiants à propriétés rhéologiques avancées

- Opérations de finition, talochage et lissage plus aisées ;
- Excellente souplesse, mobilité et écoulement des bétons autoplaçants ;
- Réduction possible du rapport E/C sans impacter la viscosité des bétons ;
 - Nouvelles fenêtres d'optimisations techniques et économiques des formules bétons (dosage et nature du liant, choix des granulats...);
- Grande robustesse et résistance à la ségrégation ;
- Maintien de maniabilité de plus de 120 minutes sans retard de prise ;
- Bonne compatibilité avec tous les types de ciments et d'additions minérales.

A l'état durci, amélioration de la durabilité

- Excellentes résistances initiales et finales ;
- Amélioration de la qualité des parements ;
- Dans le cadre d'une diminution du E/C :
 - Augmentation des résistances mécaniques ;
 - Diminution de la porosité et de la perméabilité ;
 - Diminution du retrait et de la fissuration ;
 - Diminution du risque de pathologies.

Mode d'emploi

L'effet optimal est généralement obtenu par incorporation du MasterEase 3500 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 MasterEase 3500 dans l'eau de gâchage.

Eviter d'ajouter le MasterEase 3500 directement sur les granulats.

Dosage

Plage normale d'utilisation

0,2 à 3,0 % du poids du ciment soit 0,19 à 2,80 L pour 100 kg de ciment.

Pour d'autres utilisations, consultez votre Agent local Master Builders Solutions France.

Compatibilité

Pour une utilisation en synergie avec un autre adjuvant de la gamme Master Builders Solutions, consultez votre Agent local Master Builders Solutions France.

Conditionnement

Le MasterEase 3500 est disponible dans les conditionnements suivants : Bidon de 10 L, fût de 210 L, container de 1000 L et vrac.

Durée de vie

Le MasterEase 3500 a une durée de vie de 12 mois à compter de sa date de fabrication.

Stockage

Le MasterEase 3500 doit être stocké à une température supérieure à + 5°C dans son emballage d'origine.

Précautions d'emploi

Eviter tout contact avec la peau et les yeux, en utilisant l'Équipement de Protection Individuel nécessaire (combinaison, gants et des lunettes de protection).

En cas de contact avec la peau, laver soigneusement à l'eau et au savon. En cas de contact avec les yeux, utiliser un rince-œil rempli d'une solution d'acide borique et consulter un médecin. Ne pas déverser du produit non durci dans les canalisations et réseaux publics, ni dans les cours d'eau.

L'élimination du produit et de son emballage doit être effectuée en accord avec la législation en vigueur et elle est de la responsabilité de l'utilisateur final du produit.


Pour de plus amples informations sur les recommandations d'hygiène et sécurité, les règlements de transports et les traitements des déchets, se reporter à la Fiche de Données de Sécurité.

MasterEase 3500

Concept Low Viscosity Concrete

Nouvelle technologie de superplastifiants à propriétés rhéologiques avancées

Caractéristiques

Aspect	Liquide
Couleur	Jaunâtre
Masse volumique à 20°C	1,070 ± 0,03 g/cm ³
pH	6,1 ± 2,0
Teneur en chlore	< 0,1 %
Extrait sec	31,3 % ± 1,5 %
Na ₂ O eq	≤ 2,5 %
Transport	Non classé
Etiquetage	

MasterEase 3500

Concept Low Viscosity Concrete

Nouvelle technologie de superplastifiants à propriétés rhéologiques avancées

Informations légales

Master Builders Solutions France S.A.S. a couvert sa responsabilité civile tant en exploitation qu'après livraison de ses produits par une police d'assurance souscrite auprès de la Compagnie HDI Gerling France. Les garanties de cette police sont complétées par la police "parapluie" responsabilité civile du Groupe souscrite auprès de la société d'assurances HDI Gerling Allemagne.

Nos fiches techniques ont pour objectif de vous conseiller d'après nos connaissances les plus récentes. Nous nous réservons 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 avec nos Ingénieurs Technico-Commerciaux Master Builders Solutions France S.A.S.

Conformément à la réglementation en vigueur, nos Fiches de Données de Sécurité (FDS) sont transmises automatiquement (par courrier postal ou électronique) aux clients livrés. En dehors de cette situation, contactez-nous pour tout besoin de FDS.

Master Builders Solutions France S.A.S.

10 Rue des Cévennes, 91090 Lisses

Tél. : 01 69 47 50 00 - Fax : 01 60 86 06 32

<https://www.master-builders-solutions.com/>

NOTICE PRODUIT

Hydrofuge Sika® Liquide

Hydrofuge de masse liquide pour bétons

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Hydrofuge Sika® Liquide est un hydrofuge de masse liquide blanc pour bétons.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons étanches dans la masse : fondations, radiers et réservoirs.
- Bétons résistant à l'attaque des eaux séléniteuses, des eaux de mer, des eaux industrielles ou des eaux pures.

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Hydrofuge Sika® Liquide se combine à la chaux du ciment pour former des cristallisations complémentaires qui obstruent les capillaires du mortier, le rendant étanche à l'eau.

Hydrofuge Sika® Liquide est garanti sans chlore. Il est sans effet appréciable sur la prise et les résistances mécaniques des bétons.

AGRÉMENTS / NORMES

Conforme à la norme NF EN 934-2
PV CNERIB: DTEM: 213/2016.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	Bidon de 2 litres Bidon de 5 litres Bidon de 10 litres Fût de 210 kg Cubi de 1000 kg
Aspect / Couleur	Liquide blanc laiteux
Durée de Conservation	1 an dans son emballage d'origine intact
Conditions de Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Le produit peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Densité	1,02 ± 0,01
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0,1 %
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 2,0 %

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	Plage d'utilisation recommandée 0,7 à 2 % du poids du ciment (soit 0,68 à 1,96 L pour 100 kg de ciment)
Distribution	Hydrofuge Sika® Liquide s'ajoute dans le malaxeur en même temps que l'eau de gâchage.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

RESTRICTIONS LOCALES

Veillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre

responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA
08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dza.sika.com

Notice produit
Hydrofuge Sika® Liquide
Novembre 2020, Version 01.02
02140301100000006

HydrofugeSikaLiquide-fr-DZ-(11-2020)-1-2.pdf

