

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université du 8 Mai 1945 - Guelma -
Faculté des Sciences et de la
Technologie



جامعة 8 ماي 1945 قالمة
كلية العلوم والتكنولوجيا

Département de : Génie Civil et Hydraulique
Spécialité : Génie Civil
Option : Matériaux et Structures

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
DOCTORAT Sciences

Présenté par :

Maanser Abdelkrim

Thème

Thème : Etude de l'effet des adjuvants sur la durabilité des bétons

Devant le jury

Pr. Nouaouria Med Salah	Université du 8 mai 1945 - Guelma	Président
Pr. Benouis Abdelhalim	Université du 8 mai 1945 - Guelma	Rapporteur
Pr. Belachia Mouloud	Université 20 aout 1955 - Skikda	Examineur
Pr. Nafa Zahreddine	Université du 8 mai 1945 - Guelma	Examineur
Pr. Naceri Abdelghani	Université - M'sila	Examineur
Dr.(Hdr)Merdas Abdelghani	Université Ferhat Abbas - Sétif 1	Examineur

2018

Remerciements

Dieu merci pour le pouvoir dont vous m'avez fait part; pour terminer ce modeste travail. Cette étude a été réalisée au sein du département de génie civil de l'université 08 mai 1945 à GUELMA.

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à mon directeur de thèse, le professeur Benouis Abdelhalim, à qui j'exprime ma profonde reconnaissance pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de proposer et de diriger ce travail, et pour sa disponibilité et ses orientations qui ont été fructueuses pour l'avancée de cette thèse et mener à bien ce travail de recherche. Je remercie également monsieur le chef de département de génie civil; monsieur Belabed Lazhar et tous les enseignants du département de génie civil et les techniciens et techniciennes du laboratoire pédagogique.

Merci aussi au professeur Guenfoud Mohamed de m'avoir accueilli dans son laboratoire "LGCH" et de m'avoir donné la chance de travailler avec l'équipe de recherche Matériaux.

J'exprime mes sincères remerciements au Pr. Nouaouria M. Salah pour la qualité de ses discussions scientifiques et ses conseils utiles.

Mes remerciements s'adressent aussi aux enseignants du département de génie civil et d'hydraulique : Pr. Benmalek M. Larbi, Pr. Nafa Zahreddine, Pr. CheraitYacine, Pr. Mansouri Rachid ...

Je remercie également l'ensemble de mes amis de la promotion pour les moments partagés au laboratoire.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail.

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.

DEDICACE

Je dédie ce modeste mémoire à :

✚ ma mère et mon père,

✚ ma femme

✚ mes frères et mes sœurs

✚ mes enfants : Diaaeddine, Achwak, Nacreallah, wissal et Mouataz
bilah

Résumé

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..). L'objectif de cette recherche est d'étudier l'influence des adjuvants chimiques sur la durabilité des bétons à base de matériaux locaux.

Pour atteindre cet objectif cinq types d'adjuvants chimiques ont été utilisés dans notre travail - retardateurs de prise (RET), accélérateurs de durcissement (AC) ,superplastifiants (SUP) , hydrofuges (HYD) et entraîneurs d'air (EA) - avec quatre dosages différents (0,5, 1,0 , 1,5 et 2,0%). Le but est d'étudier leurs effets sur la durabilité des bétons, à savoir, la résistance à la compression des bétons soumis à différentes températures (20, 105 et 300 ° C), la résistance à la compression après séjour (30, 90 et 180 jours) des différents bétons dans deux milieux agressifs (eau de mer et solution sulfatée Na_2SO_4 à 5%) , les pertes de masse et les perméabilités à l'eau et à l'air.

Les résultats de cette recherche montrent que comparativement au béton témoin sans adjuvant, le superplastifiant a amélioré toutes les propriétés étudiées des différents indicateurs de durabilité utilisés. Les chutes de performance les plus significatives sont celles du béton adjuvanté avec l'entraîneur d'air sauf dans le milieu de sulfate de sodium. Si le retardateur de prise n'affecte que très peu les propriétés des bétons, l'accélérateur de durcissement joue un rôle négatif surtout en terme de perméabilité. Les bétons avec l'hydrofuge se comportent généralement mieux que le béton témoin surtout en termes de perméabilité à l'eau et à air.

Mots-clés : Bétons, adjuvants, résistances, températures, agressivité, perméabilités.

ملخص

تعتبر المضافات الكيميائية المكون الرابع في الخرسانة والملاط و التي يتم دمجها بجرعات منخفضة (أقل من 5% من كتلة الأسمنت) إلى ثلاث مكونات أساسية و هي الإسمنت و الماء و الحبيبات. وتستخدم بصفة عامة لتعديل خصائص الخرسانة أو الملاط ، في حالته الطازجة او الصلبة (لتقليل نسبة الماء/الاسمنت، لتحسين قابلية التشغيل وتخفيض تركيز الإسمنت ، لزيادة المقاومة الميكانيكية ، وتغيير الأخذ و الصلابة، وتحسين النفاذية كما أن لها دور في تعديل بعض الخصائص الأخرى).

الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير هذه المضافات الكيميائية على متانة الخرسانة (الديمومة) وهذا بالإستعانة على المواد المحلية.

ولتحقيق هذا الهدف تم إستخدام خمسة أنواع من المضافات الكيميائية في عملنا - مثبتات ، مسرعات تصلب، الملدنات الفائقة ، طاردات المياه و مدخل الهواء - بأربعة جرعات مختلفة (0.5%، 1.0%، 1.5% و 2.0%). والغرض من ذلك هو دراسة تأثيراتها على متانة و ديمومة الخرسانة من حيث مقاومة الإنضغاط للخرسانات المعرضة لدرجات حرارة مختلفة (20، 105 و 300 درجة مئوية)، ومقاومة الإنضغاط بعد إبقاء مختلف الخرسانات لمدة (30 يوم ، 90 يوم و 180 يوما) في وسطين عدوانيين (مياه البحر و محلول كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 بتركيز 5%)، كما تقتصر دراستنا أيضا على تحديد فقدان الكتلة والنفاذية الخاصة بالماء والهواء.

أظهرت نتائج هذا البحث أنه بالمقارنة مع الخرسانة التي لا تحتوي على مضاف فإن الملدن الفائق قد حسن جميع الخصائص المدروسة لمختلف مؤشرات الديمومة . أما مدخل الهواء فله تأثير سلبي في جميع المؤشرات المدروسة ما عدا في وسط كبريتات الصوديوم . إذا كان للمثبط تأثير صغير جدا في خصائص الخرسانة فان مسرع التصلب لعب دورا سلبيا وخاصة من حيث النفاذية . أثبتت التجارب بأن الخرسانة مع طارد المياه عموما أظهرت فعالية أفضل من الخرسانة غير المضافة وخاصة من حيث نفاذية المياه والهواء.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، المضافات، المقاومة، الحرارة، العدوانية، النفاذية.

Abstract

Chemical admixtures are the fourth ingredient in concrete and mortar that are incorporated at low doses (less than 5% of the cement mass), the three basic components: portland cement, water and aggregates. They are used, as a rule to modify the properties of concretes, mortars or grouts, in the fresh or hardened state (to decrease the ratio E / C , to improve the workability, to reduce the dosage in cement, to increase the mechanical strength, change the setting and hardening, improve the permeability and modify some particular properties ..). The objective of this research is to study the influence of chemical admixtures on the durability of concretes based on local materials.

To achieve this goal, five types of chemical admixtures were used in our work - setting retarders (RET), hardening accelerators (AC), superplasticizers (SUP), water repellents (HYD) and air entrainers (EA) - with four different dosages (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0%). The aim is to study their effects on the durability of concrete, namely, the compressive strength of concretes subjected to different temperatures (20, 105 and 300 °C), the compressive strength after submerging (30, 90 and 180 days) various concretes in two aggressive mediums (seawater and 5% sulphate solution Na_2SO_4), mass losses and permeabilities to water and air.

The results of this research show that compared with control concrete without admixtures, the superplasticizer improved all studied properties of the different durability indicators used. The most significant performance drops are those of the admixed concrete with the air entrainer except in the medium of sodium sulphate. While the setting retarder affects only very little the properties of concretes, the hardening accelerator) had a negative impact especially in terms of permeability. Concretes with water repellents generally behave better than control concrete, especially for water and air permeability.

Keywords: *concrete, chemical admixtures, temperatures, strengths, aggression, permeability*

SOMMAIRE

RESUME	i
ملخص	ii
ABSTRACT	iii
SOMMAIRE	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
INTRODUCTION GENERALE	vii

Chapitre I: Etude bibliographique

I.1. Introduction	1
I.2. Le béton et ses constituants.....	1
I .2.1. Ciments.....	2
I .2.1.1.Prise et durcissement du ciment.....	2
I .2.1.2.Définition des classes de résistance.....	2
I .2.2.Granulats.....	3
I .2.3.Eau de gâchage.....	4
I .2.4. Adjuvants.....	4
I .2.4.1. Généralités.....	4
I .2.4.2.Rôle des adjuvants (fonctions principale et secondaire).....	4
I .2.4.3.Classification des adjuvants.....	5
I .2.4.4.Modes d'action des adjuvants.....	5
I .2.4.4.1. Adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton	6
I .2.4.4.2. Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement	8
I .2.4.4.2.1. Accélérateurs de prise et accélérateurs de durcissement.....	8
I .2.4.4.2.2. Retardateurs de prise.....	8
I .2.4.4.3. Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton	9
I .2.4.4.3.1. Entraîneurs d'air.....	9
I .2.4.4.3.2.Hydrofuges de masse.....	10
I.2.4.5.Règles générales sur l'utilisation d'adjuvants.....	11
I.2.5.Les additions.....	12
I.2.6.Les ajouts.....	13
I.2.7. Formulation des bétons.....	13
I.2.8. Propriétés des bétons	13
I.2.8.1.A l'état frais.....	13
I.2.8.1.1.Ouvrabilité	13
I.2.8.2.A l'état durci.....	14
I.2.8.2.1.Résistance à la compression.....	14
I.2.9. Caractéristiques microstructurales des bétons	16
I.2.9.1. Matrice cimentaire.....	16
I.2.9.2. Granulats et interface pâte-granulats.....	16
I.2.9.3. L'eau dans les bétons.....	16
I.3. Exigences de durabilité.....	17
I.3.1.Notion de durabilité	17
I.3.2. Agressivité du milieu marin.....	17

I.3.3. Autres agressivités.....	19
I.3.4. Attaques internes du béton.....	20
I. 3.5.Cycles de gel-dégel.....	22
I. 3.6.Corrosion des armatures.....	22
I.4.La perméabilité.....	24
I.4.1. Perméabilité au gaz des bétons.....	24
I.5.L'effet de la température.....	28
I.5.1. Evolution de la résistance avec température.....	29
I. 6. Conclusion.....	32

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et formulation des bétons

II.1. Introduction.....	33
II.2. Les granulats.....	33
II.2.1. Identification des propriétés des granulats utilisés.....	33
II.2.1.1.Masse volumique.....	33
II.2.1.2.Mesure de la propreté de sable.....	34
II.2.1.3.Analyse granulométrique.....	34
II.2.1.4.Module de finesse du sable.....	35
II.2.1.5.Méthodes de formulation du béton.....	36
II.2.1.5.1. Dosage en masse des granulats.....	36
II.3. Ciment.....	37
II.4. Eau de gâchage.....	38
II.5.Les adjuvants	38
II.5.1.Retardateur de prise.....	39
II.5.2. L'accélérateur de durcissement.....	39
II.5.3. Superplastifiant.....	40
II.5.4. Hydrofuge de masse.....	41
II.5.5. L'entraîneur d'air.....	41
II.6.Dénomination des adjuvants et des bétons.....	43
II.7.Paramètres des essais.....	43
II.8.Conclusion.....	44

Chapitre III: Techniques expérimentales

III.1. Introduction.....	45
III.2. Méthodes expérimentales.....	45
III.2.1. Principe.....	45
III.2.2. Préparation des bétons.....	45
III.2.2.1. Equipement utilisé pour la préparation des bétons.....	45
III.2.2.2. Mode opératoire.....	47
III.2.2.3. Confection des éprouvettes.....	47
III.2.2.4. Conservation des éprouvettes.....	47
III.3. Description des essais expérimentaux.....	48
III.3.1. L'ouvrabilité (Mesure de l'affaissement).....	49

III.3.2. Mesure des résistances à la compression.....	49
III.3.3. Essai pour l'évaluation de la perte de masse (porosité)	50
III.3.4. Perméabilité des bétons (mesure de perméabilité à l'eau et à l'air).....	51
III.3.4.1 Perméabilité à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression).....	51
III.3.4.1.1. Principe.....	51
III.3.4.2. Mesure de perméabilité à l'air.....	53

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. L'ouvrabilité.....	55
IV.2. Résistances à la compression.....	57
IV.2. 1. Béton adjuvanté par l'accélérateur de durcissement (BRET).....	57
IV.2. 2. Béton adjuvanté par l'accélérateur de durcissement (BAC).....	57
IV.2. 3. Béton adjuvanté par le superplastifiant (BSUP).....	58
IV.2. 4. Béton adjuvanté par l'hydrofuge (BHYD).....	59
IV.2. 5. Béton adjuvanté par le l'entraîneur d'air (BEA).....	59
IV.3. Evolution des résistances résiduelles aux hautes températures.....	61
IV.4. Pertes de masse	66
IV.5. Résistance à la compression des des différents bétons adjuvantés dans deux milieux ..	70
agressifs	
IV.5.1. Résistance à la compression des bétons adjuvantés agressés par l'eau de mer.....	70
IV.5.2. Résistance à la compression des bétons adjuvantés agressés par le sulfate de.....	74
sodium (Na_2SO_4 à 5%)	
IV.6. Perméabilité des bétons.....	78
IV.6.1. Perméabilité à l'eau.....	78
IV.6.2. Perméabilité à l'air.....	80
IV.7. Conclusion.....	82

Conclusion générale.....	83
Perspectives.....	86
Références bibliographiques.....	87
Annexe.....	93

LISTE DES TABLAUX

Chapitre I : Etude bibliographique

Tableau I.1. Classification des trois familles des adjuvants.....	11
Tableau I.2. Influence du rapport E/C sur la perméabilité au gaz.....	27

Chapitre II: Caractérisation des matériaux et formulation des bétons

Tableau II.1. Propriétés des granulats d'Ain kercha - la région d'Oum el Bouaghi	36
Tableau II.2. Composition du béton (kg/m^3).....	37
Tableau II.3. Composition chimique du ciment CEM II 42,5 utilisé	37
Tableau II.4. Composition minéralogique du ciment CEM II 42,5 utilisé	38
Tableau II.5. Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé.....	38
Tableau II.6. Pourcentage des constituants	38
Tableau II.7. Caractéristiques de l'adjuvant retardateur de prise.....	39
Tableau II.8. Caractéristiques de l'adjuvant accélérateur de durcissement.....	39
Tableau II.9. Caractéristiques de l'adjuvant superplastifiant.....	40
Tableau II.10. Caractéristiques de l'adjuvant hydrofuge de masse.....	41
Tableau II.11. Caractéristiques de l'adjuvant entraîneur d'air.....	42
Tableau II.12. Dénomination des adjuvants.....	43
Tableau II.13. Dénomination des bétons adjuvantés.....	43
Tableau II.14. Composition des bétons avec les différents dosages d'adjuvants	44

Chapitre III: Techniques expérimentales

Tableau III.1. Répartition des éprouvettes confectionnées.....	47
--	----

Chapitre IV. Résultats et discussions

Tableau IV.1. Affaissement des différents bétons adjuvantés.....	56
Tableau IV.2. Résistances à la compression des différents bétons	61
Tableau IV.3. Evolution des résistances des bétons avec la température.....	62
Tableau IV.4. Résistances résiduelles relatives des bétons adjuvantés.....	64
aux températures de 105 et 300 ° C	
Tableau IV.5. Pertes de masse des différents bétons.....	67
Tableau IV.6. Résistance à la compression des bétons adjuvantés agressés par.....	71

l'eau de mer	
Tableau IV.7. Evolution des résistances relatives des bétons adjuvantés agressés.....	71
par l'eau de mer	
Tableau IV.8. Résistance à la compression des bétons adjuvantés agressés par.....	75
solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)	
Tableau IV.9. Evolution des résistances relatives des bétons adjuvantés agressés.....	75
par le sulfate de sodium (Na_2SO_4 à 5%)	
Tableau IV.10. Profondeur de pénétration d'eau.....	79
Tableau IV.11. Coefficients spécifiques de perméabilité moyenne K (m^2) des différents.....	80
bétons	

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Etude bibliographique

Figure I.1. Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants.....	2
d'un béton ordinaire	
Figure I.2. Différent type des granulats.....	3
Figure I.3. L'adsorption d'un polymère à la surface d'une particule.....	6
Figure I.4. molécule d'un superplastifiant à base de sels de sodium de poly-naphtalène.....	6
sulfoné	
Figure I.5. Molécule d'un superplastifiant à base de polymélamine sulfoné	7
Figure I.6. L'affaissement d'un béton adjuvanté par superplastifiant.....	7
Figure I.7. Évolution du seuil de cisaillement selon le type de l'adjuvant.....	9
Figure I.8. Résistance au gel du béton (sans et avec des micros bulle d'air).....	10
Figure I.9. Dégradation des ouvrages en environnement maritime.....	18
(sous à l'attaque sulfatique)	
Figure I.10. Lixiviation du béton.....	20
Figure I.11. La réaction alcali-granulat (RAG).....	21
Figure I.12. La réaction sulfatique interne (RSI).....	22
Figure I.13. Mesure de la perméabilité au gaz k selon la méthode Cembureau.....	26
Figure I.14. Courbes de la variation de la résistance en compression selon le DTU	30
et l'EUROCODE 2	
Figure I.15. Évolution de la résistance résiduelle relative à la compression des BO	31
et BHP	

Chapitre II: Caractérisation des matériaux et formulation des bétons

Figure II.1. Appareillage de l'équivalent de sable.....	34
Figure II.2. Courbes granulométriques du mélange.....	34
Figure II.3. Courbes granulométriques des granulats et mélanges.....	35
Figure II.4. Balance électronique	35
Figure II.5. Série de tamis.....	35
Figure II.6. Les granulats utilisés.....	37
Figure II.7. Ciment utilisé.....	38
Figure II.8. L'accélérateur de durcissement (SIKA PRISE SC 2).....	40
Figure II.9. Superplastifiant (SIKA VISCOCRETE TEMPO 12).....	40
Figure II.10. Hydrofuge de masse (L'HYDROFUGE SIKA LIQUIDE).....	41
Figure II.11. L'entraîneur d'air (SIKA AER 5).....	42
Figure II.12. Les cinq types d'adjuvants utilisés.....	42

Chapitre III: Techniques expérimentales

Figure III.1. Balance électronique.....	45
---	----

Figure III.2. Malaxeurs électriques du béton	46
Figure III.3. Eprouvettes utilisés dans les essais.....	46
Figure III.4. Cône d'Abrams.....	47
Figure III.5. Conservation des éprouvettes à l'eau.....	48
Figure III.6. Eprouvettes après conservation dans la solution de..... sulfate de sodium (Na_2SO_4)	48
Figure III.7. Essais d'affaissement au cône d'Abrams.....	49
Figure III.8. Essais de résistance à la compression.....	50
Figure III.9. Le dispositif de chauffage des éprouvettes dans un four électrique.....	50
Figure III.10. Cycles de traitement thermique utilisé.....	51
Figure III.11. Mesure de la masse des éprouvettes.....	51
Figure III.12. Perméabilmètre à l'eau.....	52
Figure III.13. Essai de perméabilité à l'eau.....	52
Figure III.14. Appareil pour mesurer la perméabilité à l'air (Compte-bulles).....	53

Chapitre IV: Résultats et discussions

Figure IV.1. Affaissement des différents bétons.....	56
Figure IV.2. Evolution de la résistance à la compression du béton (BRET).....	57
Figure IV.3 Evolution de la résistance à la compression du béton (BAC).....	58
Figure IV.4. Evolution de la résistance à la compression du béton (BSUP).....	58
Figure IV.5. Evolution de la résistance à la compression du béton (BHYD).....	59
Figure IV.6. Evolution de la résistance à la compression du béton (BEA).....	59
Figure IV.7. Résistances à la compression des différents bétons.....	61
Figure IV.8. Evolution des résistances à la compression des différents bétons..... adjuvantés à $T=105^\circ\text{C}$.	62
Figure IV.9. Evolution des résistances à la compression des différents bétons..... adjuvantés à $T=300^\circ\text{C}$.	63
Figure IV.10. Evolution des résistances à la compression du béton témoin..... avec la températures	64
Figure IV.11. Evolution des résistances à la compression du béton BRET..... avec la températures	65
Figure IV.12. Evolution des résistances à la compression du béton BAC..... avec la températures	65
Figure IV.13. Evolution des résistances à la compression du béton BSUP..... avec la températures	65
Figure IV.14. Evolution des résistances à la compression du béton BHYD..... avec la températures	66
Figure IV.15. Evolution des résistances à la compression du béton BEA..... avec la températures	66
Figure IV.16. Variation de la masse du béton témoin (BT) à 105°C et à 300°C	68
Figure IV.17. Variation de la masse du béton adjuvanté (BRET) à 105°C et à 300°C	68
Figure IV.18. Variation de la masse du béton adjuvanté (BAC) à 105°C et à 300°C	68
Figure IV.19. Variation de la masse du béton adjuvanté (BSUP) à 105°C et à 300°C	68
Figure IV.20. Variation de la masse du béton adjuvanté (BHYD) à 105°C et à 300°C	69
Figure IV.21. Variation de la masse du béton adjuvanté (BEA) à 105°C et à 300°C	69
Figure IV.22. Variation de la masse des bétons à 105°C	69
Figure IV.23. Variation de la masse des bétons à 300°C	69

Figure IV.24. Résistance à la compression du béton témoin (BT) conservé dans l'eau de mer.	72
Figure IV.25. Résistance à la compression de béton (BRET) conservé dans l'eau de mer.	72
Figure IV.26. Résistance à la compression de béton (BAC) conservé dans l'eau de mer.	72
Figure IV.27. Résistance à la compression de béton (BSUP) conservé dans l'eau de mer.	73
Figure IV.28. Résistance à la compression de béton (BHYD) conservé dans l'eau de mer.	73
Figure IV.29. Résistance à la compression de béton (BEA) conservé dans l'eau de mer.	73
Figure IV.30. Résistance à la compression du béton témoin (BT) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)	76
Figure IV.31. Résistance à la compression du béton (BRET) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)	76
Figure IV.32. Résistance à la compression du béton (BAC) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)	76
Figure IV.33. Résistance à la compression du béton (BSUP) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)	77
Figure IV.34. Résistance à la compression du béton (BHYD) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)	77
Figure IV.35. Résistance à la compression du béton (BEA) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)	77
Figure IV.36. Profondeur de pénétration de l'eau.	79
Figure IV.37. Coefficients spécifiques de perméabilité moyenne K (m^2) des bétons (BT, BRET, BAC, BSUP, MHYD)	81
Figure IV.38. Coefficient spécifique de perméabilité moyenne K (m^2) du béton (BEA).	81

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

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 [1]. Ces différences dans leurs compositions ont des effets aussi différents sur les propriétés des bétons et leurs durabilités ainsi qu'avec des températures élevées.

Le but de ce travail est d'évaluer l'influence de cinq types d'adjuvants, couramment utilisés, sur la durabilité des bétons. Ces adjuvants sont un retardateurs de prise, un accélérateur de durcissement, un superplastifiant, un hydrofuge et un entraîneur d'air. Ils sont utilisés avec quatre dosages différents (0,5, 1,0 , 1,5 et 2,0%). En partant d'un rapport E/C= constant (E/C=0.56), on s'est intéressé à l'ouvrabilité, aux résistances à la compression des bétons adjuvantés soumis à trois différentes températures (20°C, 105°C et 300°C) dans un premier temps. Le comportement des différents bétons adjuvantés est aussi prospecté à travers leurs résistances à la compression après séjour (30, 90 et 180 jours) dans deuxx milieux agressifs (eau de mer et solution sulfatée Na₂SO₄ à 5%). D'autres indicateurs de durabilité ont été utilisés à travers des essais de perméabilité à l'eau, à l'air et des mesures de pertes de masse (porosité accessible). Tous ces essais ont été réalisés pour quatre dosages en adjuvant (0,5, 1,0 , 1,5 et 2,0%).

L'ensemble du travail est contenu dans ce mémoire qui est composé de quatre chapitres.

Le premier chapitre, est une recherche bibliographique qui est scindée en trois parties à savoir la première qui présente des généralités sur le béton et ses constituants en particulier les adjuvants (compositions, mode d'action, fonctions, et classifications), les propriétés des bétons (particulièrement la résistance mécanique, l'ouvrabilité) et leurs formulations ainsi que leurs caractéristiques microstructurales. La seconde partie traite les principales causes de dégradation du béton : effet de l'agressivité environnementale, l'effet de la température et un aperçu global sur la perméabilité, et enfin la troisième partie qui est consacrée à l'étude des exigences de durabilité.

Le deuxième chapitre décrit les caractéristiques des matériaux utilisés et formulation des bétons. Il s'agit des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des matériaux utilisés notamment les adjuvants utilisés.

Le troisième chapitre présente les techniques expérimentales utilisées, à savoir, préparation des bétons, description des essais expérimentaux (mesure de l'affaissement, mesure des résistances à la compression, pertes de masse et perméabilité à l'eau et à l'air des bétons).

Le quatrième chapitre rassemble les résultats des essais effectués et leurs interprétions en six parties: la première concerne l'ouvrabilité (mesure de l'affaissement), la seconde concerne la résistance à la compression à une température ambiante, la troisième concerne l'évolution des résistances résiduelles aux températures 105°C et 300°C, La quatrième traite des pertes de masse, la cinquième concerne les résistances à la compression après séjour (30,90 et 180 jours) des différents bétons dans deux milieux agressifs (eau de mer et solution sulfatée Na_2SO_4 à 5%) et enfin la sixième s'intéresse aux mesures des perméabilités à l'eau et à l'air.

Le document est terminée par une conclusion générale et des perpectives.

Chapitre I

Etude Bibliographique

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre une synthèse bibliographique centrée sur le béton et ses constituants, notamment les adjuvants (compositions, mode d'action, fonctions, et classifications), les propriétés des bétons (particulièrement la résistance mécanique, l'ouvrabilité) et leur formulation ainsi que leurs caractéristiques microstructurales.

Nous développons également le point de connaissance actuelle sur les principales causes de dégradation du béton : effet de l'agressivité environnementale, l'effet de la température. Cette étude traite aussi des exigences de durabilité en général.

I.2. Le béton et ses constituants

Le béton est le matériau de construction le plus largement utilisé (Fig. I.1). 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].

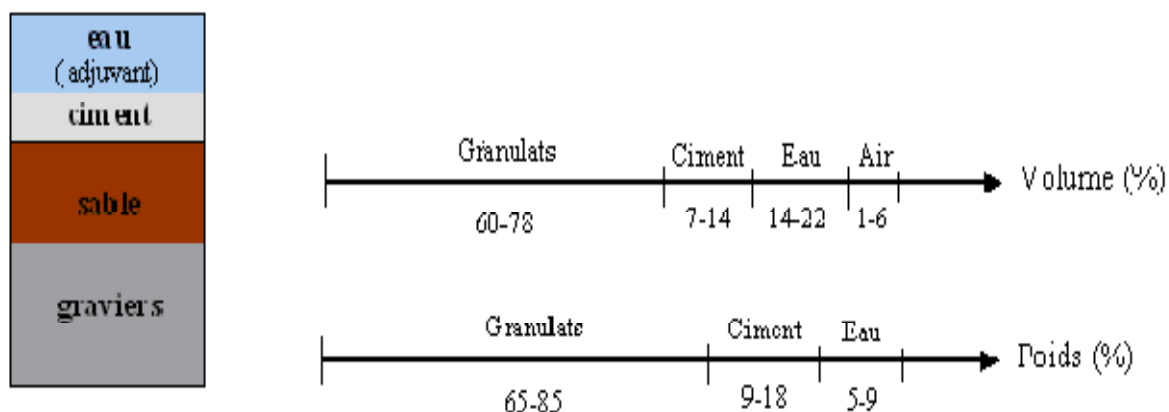


Figure I.1. Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire [3]

I.2.1. Ciments

Les ciments sont des poudres fines obtenues par cuisson à haute température et broyage d'un mélange minéral constitué de calcaire et d'argile (en général). Le constituant principal des ciments est le clinker.

Ces poudres constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier les silicates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par "hydratation" de faire prise et de durcir progressivement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau, d'où le nom de liant hydraulique [4].

En fonction de leurs constituants principaux et secondaires de ces éléments, cinq types de ciments courants sont possibles: le ciment Portland (CEM I), le ciment Portland composé (CEM II), le ciment de haut fourneau (CEM III), le ciment pouzzolanique (CEM IV), le ciment composé (CEM V : au laitier et aux cendres).

I.2.1.1. Prise et durcissement du ciment

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.2.1.2. Définition des classes de résistance

Les ciments sont répartis en trois classes de résistance, 32,5 - 32,5R - 42,5 - 42,5 R - 52,5 - 52,5 R, définies par la valeur minimale de la résistance normale du ciment à 28 jours en MPa.

La résistance normale d'un ciment est la résistance mécanique à la compression mesurée à 28 jours conformément à la norme NF EN 196-1 et exprimée en MPa ($1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ bars}$). Pour les ciments de classes 32,5 et 42,5, il est fixé une valeur maximale de la résistance normale à 28 jours [5].

I.2.2. Granulats

Les granulats sont les principaux composants du béton (70 % en poids). Les performances mécaniques des granulats vont donc conditionner la résistance mécanique du béton et leurs caractéristiques géométriques et esthétiques, en particulier, l'aspect des parements des ouvrages.

Le granulat 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 (Fig. I.2). 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 taille d'un granulat 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].



Figure I.2. Différents type des granulats [5]

I.2.3.Eau de gâchage

L'eau dans le béton sert à hydrater le ciment. Toutes les eaux ne sont pas utilisables car elles peuvent contenir des éléments qui modifient le comportement et les propriétés du béton (temps de prise, résistance, durabilité, aspect du béton..) [1].

La norme relative au béton (NF EN 206-1) [6] distingue l'eau totale contenue dans le béton frais et l'eau efficace (qui intervient dans les spécifications de fabrication du béton par le biais du rapport eau/ciment) dans la mesure où une partie de l'eau initiale peut être absorbée par les granulats.

I.2.4. Adjuvants

I.2.4.1. Généralités

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 [7].

Ce sont des produits chimiques solubles dans l'eau qui modifient principalement [8] : les solubilités, les vitesses de dissolution et l'hydratation des divers constituants d'un liant hydraulique. Permettent, selon le cas d'améliorer les conditions de mise en œuvre du béton, d'améliorer les performances mécaniques ou d'augmenter la durabilité des bétons. Ils font l'objet de la norme NF EN 934 [9].

L'utilisation d'adjuvants remonterait aux Romains qui utilisaient du sang de bœuf et du jaune d'œuf dans leur mélange de chaux et de pouzzolane. Le pouvoir coagulant du sang était utilisé pour accélérer la prise des mortiers. Au début, les adjuvants étaient à base de matière organique et utilisés de manière empirique. Au cours du XXe siècle, des progrès scientifiques ont permis de développer des adjuvants avec des propriétés spécifiques. Leur utilisation s'est généralisée ces dernières décennies. Ils sont aujourd'hui incorporés dans tous les types de bétons, qu'ils soient livrés prêts à l'emploi, utilisés en usine de préfabrication ou fabriqués sur chantier [7].

I.2.4.2.Rôle des adjuvants (fonctions 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. Elle est caractérisée par la ou les modifications majeures qu'elle apporte aux propriétés du béton à l'état frais ou durci. Un adjuvant présente en effet généralement une ou plusieurs fonctions secondaires qui sont le plus souvent indépendantes de la fonction principale [7]. L'emploi d'un adjuvant peut aussi entraîner des effets secondaires non directement recherchés [10].

Des effets recherchés cumulés peuvent être obtenus en associant plusieurs adjuvants [8]. 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 [6]. L'emploi d'un adjuvant ne doit pas altérer les caractéristiques mécaniques, physiques ou chimiques du béton, du mortier ou du coulis. Il ne doit pas nuire aux caractéristiques des armatures et en particulier leur adhérence au béton. Les adjuvants jouent un rôle de plus en plus important dans la technologie du béton. Leurs mécanismes d'action sont très complexes, en particulier pour les adjuvants de nouvelles générations.

I.2.4.3. Classification des adjuvants

La norme NF EN 934-2 classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants [7] :

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton : plastifiants- réducteurs d'eau, superplastifiants (anciennement fluidifiants) ;
- Ceux qui modifient la prise et le durcissement : accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise ;
- Ceux qui modifient certaines propriétés particulières : entraîneurs d'air, générateurs de gaz, hydrofuges de masse.

I.2.4.4. Modes d'action des adjuvants

Leur action est différente d'un adjuvant à un autre en contact des grains de ciment. D'une manière générale, les adjuvants enrobent le grain de ciment pendant l'hydratation pour augmenter une charge négative sur la surface de la particule de ciment. Des réactions différentes se produisent avec le ciment selon les différents adjuvants [7].

I.2.4.4.1. Adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et en modifient la viscosité. Ils augmentent la maniabilité tout en réduisant la quantité d'eau de gâchage, ce qui facilite la mise en place des bétons. Ils permettent d'augmenter la compacité du mélange, ce qui se traduit par une amélioration des résistances [7]. Parmi des adjuvants, on trouve :

* les plastifiants – réducteurs d'eau et les superplastifiants – hauts réducteurs d'eau dont leur action passe nécessairement par leur adsorption sur les particules de ciment (Fig. I.3). En se fixant sur les grains de ciment, elle modifie la nature des charges électriques. Ces dernières réduisent les forces attractives d'interactions inter-particulaires de Van der Waals qui existent entre les atomes des différentes particules. Les grains de ciment ont alors tendance à s'éloigner les uns des autres du fait qu'ils ont tous la même charge et s'entourent d'un film de ciment très mince. Ainsi on obtient un gain de fluidité, puisque les grains de ciment sont mieux dispersés. L'eau existante sert alors à fluidifier le béton. Le mode d'action diffère d'un super plastifiant à un autre (Figs. I.4 - I.5).

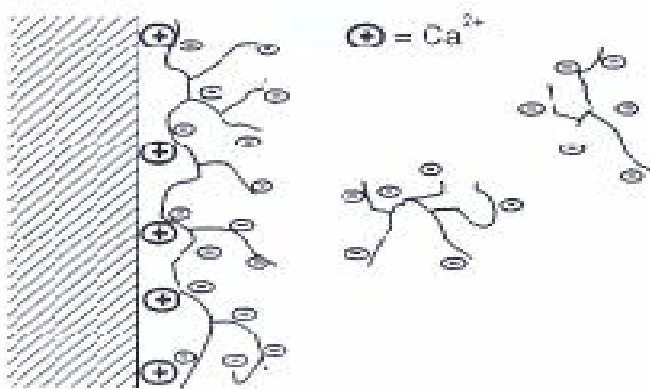


Figure I.3. L'adsorption d'un polymère à la surface d'une particule [11]

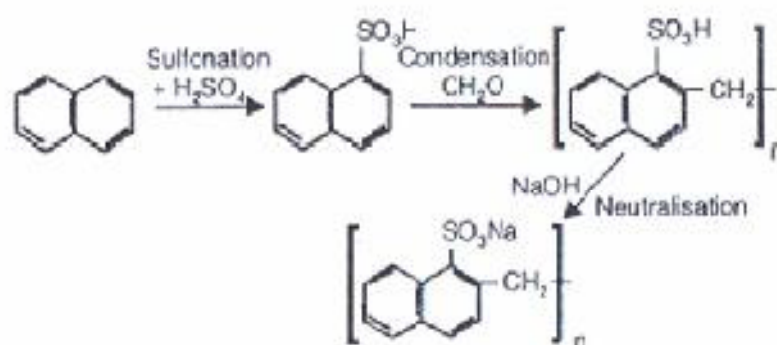


Figure I.4. Molécule d'un superplastifiant à base de sels de sodium de polynaphtalène sulfoné [12]

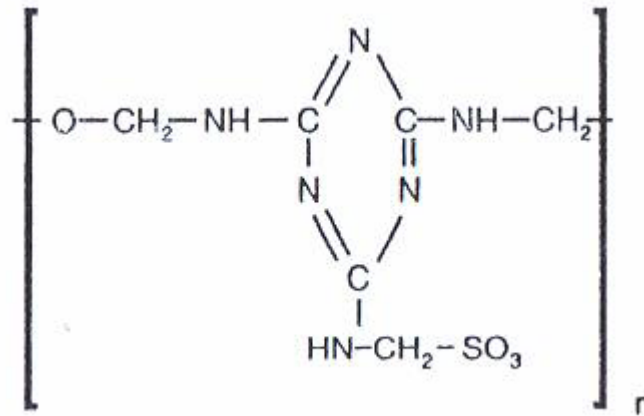


Figure I.5. Molécule d'un superplastifiant à base de polyméline sulfoné [13]

L'addition de superplastifiant ne doit jamais se faire sur un béton (mortier) sec (c-à-d avant l'ajout de l'eau). Il sera absorbé par les granulats d'où son inefficacité avec le ciment. Le superplastifiant est plus efficace lorsque il est ajouté après l'humidification du béton (environ 75% de l'eau de gachage). [14]. Dreux et Festa [15] donne l'affaissement d'un béton adjuvanté par superplastifiant comparativement à un béton témoin (Fig. I.6).

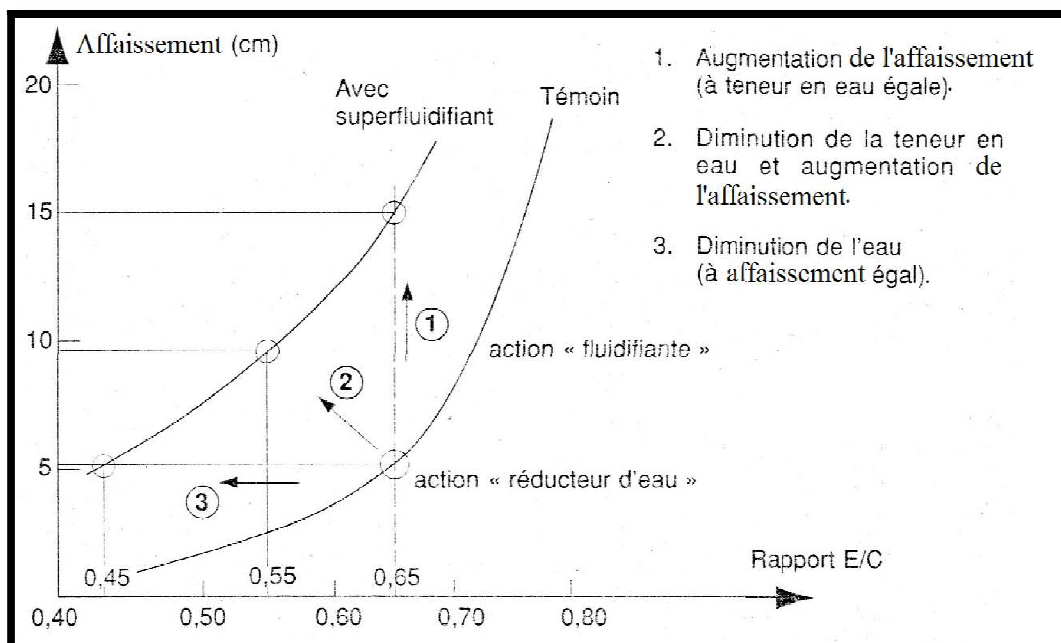


Figure I.6. L'affaissement d'un béton adjuvanté par superplastifiant [15]

I.2.4.4.2. Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Ces adjuvants modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution [7].

I.2.4.4.2.1. Accélérateurs de prise et accélérateurs de durcissement

L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer les temps de début et de fin de prise du ciment. Il agit sur la prise en diminuant les potentiels électriques à la surface des grains, ce qui favorise la diffusion des ions et donc accélère le processus d'hydratation. Il permet d'augmenter la densité d'hydrates à un temps donné donc de diminuer le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide. L'accélérateur du durcissement a pour fonction principale d'accélérer le développement des résistances initiales des bétons, avec ou sans modification du temps de prise (Fig. I.7). Il permet de mettre les bétons rapidement hors gel. Les constituants sont généralement des dérivés de la soude, de la potasse ou de l'ammoniaque.

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 [14]. Ils sont à recommander pour les bétonnages par temps froid, les décoffrages rapides, les scellements, les travaux en galerie, les travaux sous l'eau, etc. Il est à noter qu'un béton fortement accéléré, au moyen d'adjuvants, risque d'avoir une résistance mécanique finale légèrement diminuée [9].

I.2.4.4.2.2. Retardateurs de prise

Les retardateurs de prise ont pour fonction principale d'augmenter le temps de début de prise du ciment. Ils augmentent le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils permettent aussi de réguler le dégagement de chaleur dû à l'hydratation du ciment. En général, les retardateurs ralentissent la dissolution du ciment et la précipitation des hydrates et retardent ainsi la prise. Les retardateurs diminuent les résistances initiales mais ils augmentent souvent les résistances finales au-delà de 28 jours (Fig. I.7). Ils sont à base de lignosulfonates, d'hydrates de carbone ou d'oxydes de zinc ou de plomb, d'acides carboxyliques, de fluorures, de phosphates.

En se précipitant autour des grains de ciment en formant avec la chaux des précipités enrobant certaines parties des grains en hydroxydes (CaSO_4). Il y a donc une formation d'une enveloppe plus ou moins imperméable et d'épaisseur variable.

Les retardateurs de prise sont particulièrement recommandés pour les bétonnages par temps chaud et les bétonnages en grande masse afin de limiter les effets des fortes températures, qui accélèrent naturellement la prise. Ils permettent aussi de faciliter les reprises de bétonnage.

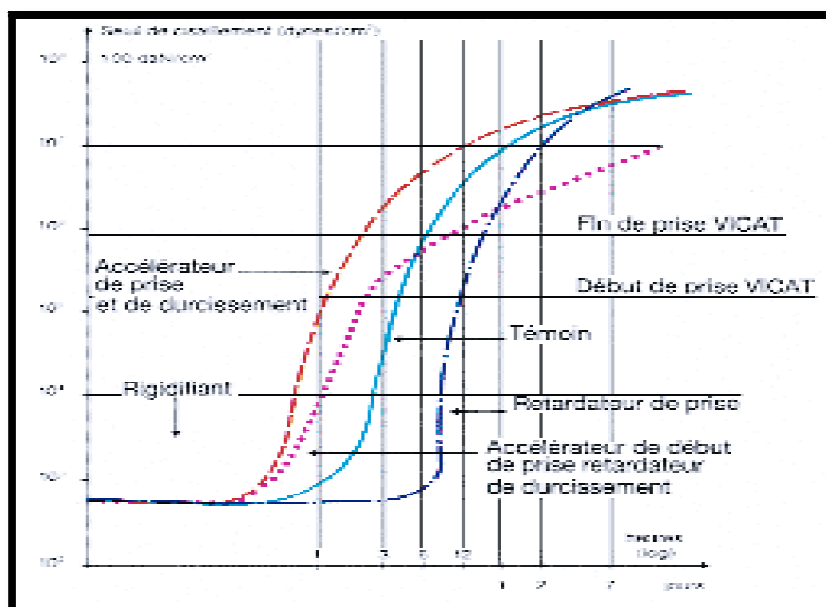


Figure I.7. Évolution du seuil de cisaillement selon le type de l'adjuvant [5]

I.2.4.4.3. Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton

I.2.4.4.3.1. Entraîneurs d'air

Les entraîneurs d'air ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton, pendant le malaxage, de microbulles d'air (de diamètre inférieur à 100 microns) uniformément réparties dans la masse qui subsistent après durcissement. Le béton durci contient naturellement une certaine quantité d'air provenant, soit d'un entraînement lors du malaxage, soit de l'évaporation de l'eau de gâchage non fixée. Cet air est réparti de manière aléatoire. En revanche, l'entraîneur d'air permet d'en entraîner un volume supérieur et de le répartir uniformément. La résistance au gel du béton durci (Fig. I.8) ainsi que sa résistance aux sels de déverglaçage sont considérablement améliorées. Les microbulles qui coupent les réseaux capillaires limitent le développement des contraintes dues au gel de l'eau interstitielle (en créant de petits vases d'expansion pour l'eau interstitielle). L'air occlus permet aussi d'améliorer la maniabilité du béton et de diminuer la résistance mécanique et le ressuage [7]. Les entraîneurs d'air sont des corps tensio-actifs : lignosulfonates, abiétates de résines, sels d'éthanolamine. Ils provoquent un effet variable sur la résistance aux agressions

atmosphériques, CO_2 et atmosphère maritime. Il est possible d'améliorer la résistance aux agents chimiques agressifs (eaux séléniteuses, eau sulfatée, etc.) [10].

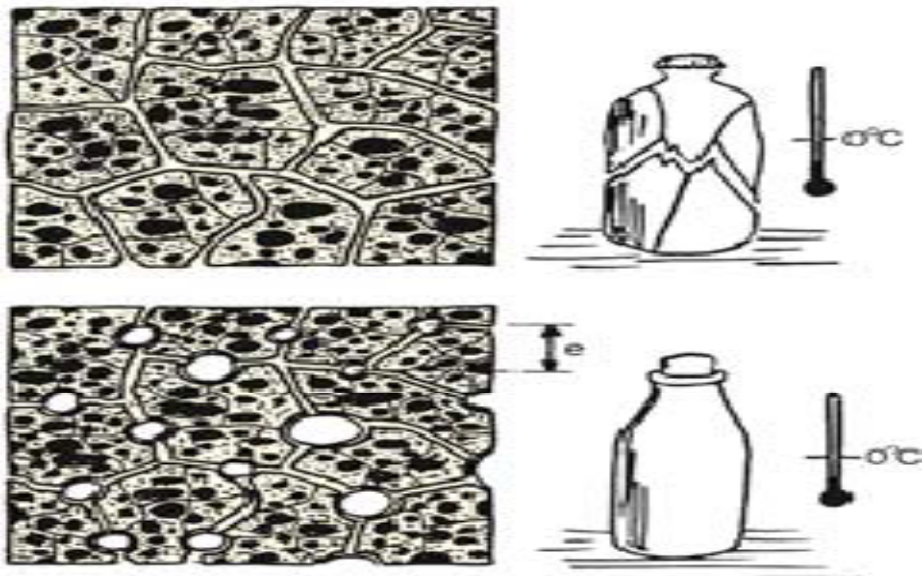


Figure I.8. Résistance au gel du béton (sans et avec des micros bulles d'air) [5]

I.2.4.4.3.2. Hydrofuges de masse

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons durcis. Il en résulte une faible porosité et donc une faible perméabilité du béton. Ils se combinent à la chaux du ciment pour former des cristallisations complémentaires qui obstruent les capillaires du béton ou du mortier. Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates).

Les hydrofuges améliorent la résistance aux agressions atmosphériques, CO_2 et atmosphère maritime grâce à la diminution de la perméabilité à l'air. Ils permettent aussi d'améliorer la résistance aux agents chimiques agressifs (eaux séléniteuses, eau sulfatée, etc.) grâce à la diminution de la perméabilité du béton [10], donc ils augmentent son durabilité [7].

Ces produits se présentent sous forme de liquide ou poudre. Ils sont introduits directement dans la bétonnière (pendant le malaxage) ou diluer dans l'eau de gâchage, s'il s'agit d'une poudre. Ils sont constitués de particules très fines qui, en se gonflant viennent combler les pores se trouvant dans le béton [14].

Ils sont utilisés pour les bétons d'ouvrages hydrauliques (canaux, murs de fondation, retenues d'eau...) et les mortiers d'étanchéité (chapes, joints de maçonnerie, galeries de tunnels).

Tableau I.1. Classification des trois familles des adjuvants [14]

<i>ADJUVANTS</i>		Réducteurs d'eau	Plastifiants	Superplastifiants	Accélérateurs de durcissement	Accélérateurs de prise	Retardateurs de prise	Entraîneurs d'air	Hydrofuges de masses
<i>PROPRIÉTÉ</i>									
Ouvrabilité			+	+				+	
Temps de prise						-	+		
Résistances	court terme (3 jours)	+		+	+	+	-	-	
	long terme (> 28 jours)	+		+		=	+	-	
Air occlus								+	
Résistance au gel du béton durci		+						+	
Compacité		+	+	+					
État de surface			+					+	
Perméabilité sous pression hydraulique				-					-

I.2.4.5. Règles générales sur l'utilisation d'adjuvants

Selon la norme NF EN 206-1 [6], les règles suivantes s'appliquent à l'emploi d'adjuvants :

- ✓ Lorsque la quantité totale d'adjuvants liquides est supérieure à 3 l/m³ de béton, il faut en tenir compte dans le calcul du rapport eau/ciment.
- ✓ La quantité totale d'adjuvants utilisés ne doit pas dépasser le dosage maximal recommandé par le fabricant, ni excéder 5 % de la masse du ciment contenu dans le béton (sauf si l'effet d'un dosage supérieur sur les performances et la durabilité est établi).
- ✓ Les adjuvants utilisés en quantités inférieures à 0,2 % de la masse du ciment doivent être dispersés dans l'eau de gâchage.
- ✓ Lorsque l'on utilise plusieurs adjuvants, leur compatibilité doit être établie.
- ✓ Pour éviter toute confusion dans le cas d'utilisation d'addition, il est recommandé de définir le dosage en adjuvant exclusivement par rapport à la masse de ciment.

I.2.5. Les additions

Une addition est un « matériau minéral finement divisé et pouvant être ajouté au béton afin d'améliorer certaines de ses propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières ».

Les additions ont deux modes d'action :

- un effet sur la granulométrie, dit également « effet filler », qui est un remplissage par les éléments les plus fins (additions) des vides laissés par les autres éléments.
- et, éventuellement, une contribution directe à la résistance par la formation d'hydrates, en général à long terme.

Les additions pouzzolaniques (cendres volantes, fumées de silices...) ont la capacité de se combiner avec la chaux libérée par le ciment pour former des silicates de calcium hydratés. Les laitiers sont activés par le ciment mais présentent une hydraulicité qui leur est propre. Enfin, les fillers calcaires peuvent produire, par l'action des aluminates du ciment, des hydrates d'un autre type (carboaluminates). Par ailleurs, ils accélèrent l'hydratation du ciment Portland.

Les éléments fins (de taille inférieure à 80 μm) contenus dans le béton ont une influence bénéfique sur la limitation du ressuage, la cohésion du béton à l'état frais, la compacité et l'aspect des parements.

La norme NF EN 206-1 [6] distingue deux types d'addition minérale :

- les additions quasiment inertes, de type I,
- les additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent, de type II.

Cette notion de type d'addition est liée au fait que certaines additions (celles de type II et certaines de type I) ont un rôle bénéfique sur les performances du béton (en terme de résistance, de durabilité...) et que cette aptitude peut être prise en compte dans la formulation du béton, en réduisant notamment la quantité de ciment : l'exigence relative au dosage minimal en ciment est remplacée par la même exigence appliquée au liant équivalent. La norme NF EN 206-1 [6] et son annexe reprennent pour cela le concept de coefficient k.

Elle définit les modalités de prise en compte de ces additions :

$$\text{Leq} = C + k.A$$

Leq: Liant équivalent [kg/m^3]
C : Quantité de ciment [kg/m^3]
A : Quantité d'addition [kg/m^3]
k : Coefficient de prise en compte de l'addition

Les laitiers, cendres volantes et fumées de silice modifient la nature et la structure des hydrates formés. Ils réduisent la taille des pores et donc la perméabilité ce qui améliore la

durabilité. C'est pourquoi ces additions sont classées en type II (coefficients k les plus élevés).

I.2.6. Les ajouts

Un ajout est un produit (en dehors du ciment, des granulats, des additions, des adjuvants et de l'eau) incorporé au béton, tels que l'inhibiteur de corrosion. Il s'agit d'un produit qui, incorporé dans le béton lors de sa fabrication, peut ralentir le phénomène de corrosion des armatures [1].

I.2.7. Formulation des bétons

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats, dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau (contenant éventuellement des adjuvants) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie de l'ouvrage en cause [15]. Donc les bétons sont conçus suivant une formulation, donnée sous forme de quantité massique de chaque composant afin d'obtenir un volume de 1 m³ de béton. Il existe différentes méthodes de formulations, qui visent à optimiser l'empilement des différentes particules (grains de ciment, sable, gravillons) afin de minimiser les espaces vides [15]. Le choix de la formulation permet d'obtenir des propriétés mécaniques ou de mises en œuvre recherchées (consistance et résistance) [16].

I.2.8. Propriétés des bétons

Pour utiliser au mieux le béton, il faut bien connaître ses propriétés à l'état frais et à l'état durci [3].

I.2.8.1. A l'état frais

Lors du malaxage, l'eau est l'élément qui va donner une capacité d'écoulement au squelette compact formé par l'empilement des grains solides. Ceci signifie que l'eau va venir desserrer le squelette compact afin de donner une mobilité aux grains suffisants pour permettre la mise en œuvre souhaitée [17]. Deux façons de caractériser le béton à l'état frais sont abordées : l'ouvrabilité et les paramètres rhéologiques [3].

I.2.8.1.1. Ouvrabilité

Le béton frais a la capacité de se déformer et de s'écouler ce qui permet de le transporter, par exemple en le pompant, et de remplir les coffrages. Cette aptitude du béton à la déformation

est souvent traduite par les termes de consistance, de maniabilité ou d'ouvrabilité, mais ces termes consacrés par la pratique ne traduisent que partiellement et de manière conventionnelle l'état du béton frais. La **consistance** traduit la quantité d'énergie à fournir au matériau pour le mettre en place en expulsant tout l'air piégé lors du malaxage et du transport. Les notions de maniabilité ou d'ouvrabilité traduisent l'aptitude du béton à se déformer pour des conditions de mise en œuvre données. L'ouvrabilité est une caractéristique du béton fondamentale en phase de construction.

Deux paramètres permettent de caractériser cette donnée : la consistance et la teneur en air du béton frais.

➤ **La consistance du béton frais**

Pour les bétons courants, on convient de caractériser globalement leur aptitude à être mis en place dans les coffrages par la mesure d'une grandeur unique. On appelle consistance la grandeur ainsi mesurée. La bonne consistance du béton est celle qui permet de mettre le béton en œuvre dans l'ouvrage avec les moyens et dans les conditions du chantier.

Pour mesurer et contrôler la consistance du béton frais, il existe différents essais parmi lesquels le cône d'Abrams et l'essai d'étalement.

➤ **La teneur en air du béton frais**

Lors du malaxage du béton, les pales du malaxeur introduisent des bulles d'air qui, si elles ne sont pas stabilisées par un adjuvant entraîneur d'air, éclatent aussitôt. Cependant un béton courant contient toujours un certain nombre de bulles d'air dont le diamètre est presque toujours supérieur à un millimètre. Cet air piégé dans le béton durci, aussi appelé *air occlus*, peut occuper 1 à 2,5 % du volume total.

Sur béton frais, l'air entraîné réduit le ressuage et améliore l'ouvrabilité, ce qui permet une réduction d'eau à maniabilité constante [1].

I.2.8.2.A l'état durci

Les propriétés mécaniques du béton sain dépendent de la qualité des constituants, de la formulation et les conditions de cure. Les propriétés de différents bétons seront donc très variables [18].

I.2.8.2.1. Résistance à la compression

Pour les ouvrages, on caractérise généralement les bétons par leur résistance à la compression R_c (la propriété la plus fréquemment mesurée sur béton durci), généralement déterminée après 28 jours de cure. La résistance à la traction R_t peut également être déterminée, elle

traduit alors la résistance à la fissuration du béton, on a aussi comme propriétés le module d'élasticité E , le coefficient de Poisson ν et la masse volumique du béton [16].

Le béton frais va évoluer pour aboutir au produit durci recherché. Il est incontournable de suivre l'évolution du béton sous différents aspects :

- Chimique, car il s'agit bien d'un ensemble de réactions,
- Physique, car le développement de la microstructure s'accompagne de phénomènes physiques qui définiront un état initial de la structure,
- Mécanique, car les aspects précédents conduisent à des cinétiques variables et des performances modulées en conséquence [17].

Le béton durci est un solide hétérogène formé de granulats enrobés par une pâte de ciment, il apparaît donc en première analyse, que ses propriétés mécaniques dépendent : de celles de la pâte liante, de celles des granulats, de l'adhérence pâte-granulats.

➤ **La teneur en air du béton durci**

Sur béton durci, bien qu'indispensable pour la durabilité des bétons exposés au gel sévère et aux sels fondants, il présente l'inconvénient de réduire la résistance du béton. Pour un rapport E/C constant, 1 % d'air entraîné supplémentaire fait chuter la résistance de 4 à 6 %. Pour des bétons courants, à teneur en air constante, la demande d'adjuvant entraîneur d'air augmente avec le dosage en ciment. De même, pour des dosages en entraîneur d'air et en ciment constants, le volume d'air entraîné augmente rapidement lorsque la dimension du plus gros granulats diminue. En pratique, on cherchera à augmenter la teneur en air du béton uniquement pour les bétons soumis aux cycles de gel-dégel. D'une façon générale, en environnement marin, on cherche à augmenter la compacité du béton afin de limiter la pénétration des agents agressifs. L'utilisation des entraîneurs d'air n'est donc pas recommandée [1].

➤ **La porosité**

Une autre propriété mécanique importante du béton est la porosité. Elle est définie comme le volume total des vides contenus dans le béton pour 1 m³ de matériau. Cette porosité augmente avec le rapport E/C et est en général comprise entre 11 et 18%. Elle est constituée de pores plus ou moins inter-connectés, ainsi que de micro ou macro-fissurations. Les dimensions caractéristiques des pores vont d'une dizaine de nanomètres au millimètre. Ils peuvent être remplis d'air ou d'eau libre.

I.2.9. Caractéristiques microstructurales des bétons

Il est indispensable de pouvoir caractériser d'une manière très rigoureuse la microstructure des matériaux cimentaires dans le but d'évaluer non seulement leurs propriétés mécaniques mais aussi celle liées à leur durabilité.

I.2.9.1 Matrice cimentaire

➤ Hydratation du ciment

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 chimiques et de processus d'hydratation. Ce processus conduit à la formation de l'hydrosilicate de calcium (C-S-H), ils sont les principaux produits de cette hydratation (au moins 50% d'une pâte de ciment ordinaire) et sont aussi appelés gel, de l'ettringite ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26(\text{H}_2\text{O})$), de la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Le C-S-H confère au ciment hydraté sa résistance [19].

Lors de l'hydratation du ciment, ces différents hydrates se forment et se développent dans les espaces situés entre les grains de ciment anhydres initiaux. Ce mode de remplissage des vides originels crée un réseau poreux très complexe [16].

I.2.9.2. Granulats et interface pâte-granulats

Les granulats en contact de la pâte de ciment peuvent être réactifs ou neutres. Les granulats réactifs (calcaire) présentent de fortes liaisons avec la pâte de ciment du fait des réactions chimiques qui se produisent au cours du temps. Les granulats neutres (siliceux) ne réagissent pas avec la pâte de ciment et présentent donc de faibles liaisons [19].

I.2.9.3. L'eau dans les bétons L'eau étant constitutive du matériau, il est parfois difficile d'évaluer le degré de liaison de l'eau avec la matrice solide [16].

Trois degrés peuvent être distingués :

- **L'eau chimiquement liée** : c'est l'eau consommée au cours des réactions d'hydratation, combinée avec d'autres composants dans les hydrates ;
- **L'eau adsorbée** : c'est l'eau fixée à la surface de la matrice solide sous l'action de forces intermoléculaires de type force de Van der Waal.
- **L'eau capillaire et l'eau libre** : l'eau capillaire est l'eau en phase condensée remplissant un capillaire sous l'effet de la condensation capillaire. Un cas particulier de l'eau capillaire est l'eau libre contenue dans les pores les plus gros et qui ne subit pas

d'influence particulière des forces superficielles (elle est en équilibre avec la phase gazeuse par l'intermédiaire d'une interface plane).

I.3. Exigences de durabilité

I.3.1. Notion de durabilité

On dit que le béton est durable s'il conserve aussi longtemps qu'il le faut à la fois son intégrité et les caractéristiques requises. La durabilité du béton armé est directement liée à [1] :

- Ses propriétés de transfert, c'est-à-dire à la résistance qu'il oppose 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 [16, 18, 20].

I.3.2. Agressivité du milieu marin

L'agression spécifique est celle de l'eau de mer. Elle est multiple : chimique de par la composition minérale du milieu, mécanique du fait de ses déplacements en masse et locaux que sont les courants et la houle. De plus, les effets climatiques, tels les variations locales de la température ambiante, l'ensoleillement et le vent, indépendamment de leur nocivité propre, peuvent inhiber ou catalyser les réactions entre l'eau de mer et les constituants du béton [1].



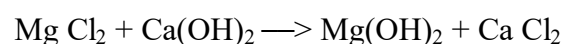
Figure I.9. Dégradation des ouvrages en environnement maritime (sous à l'attaque sulfatique)

Durant son utilisation, un béton armé exposé à un environnement maritime est soumis à plusieurs types d'agressions [1]:

- **agressions mécaniques** dues aux sollicitations d'exploitation des ouvrages, à l'action de la houle, à l'abrasion due aux chocs, à l'érosion due à l'effet des vagues,
- **agressions chimiques** dues à la pénétration des sels présents dans l'eau de mer, à la pollution des eaux (eau de mer et eau de surface), à l'agressivité des matériaux stockés sur le terre-plein,
- **agressions biologiques** dues au développement d'organismes vivants,
- **attaques internes au béton** dues aux réactions alcali-silice et sulfatiques interne,
- **attaques d'origine climatique** associées au phénomène de gel / dégel mais également de gradient thermique.

➤ **Attaque des chlorures**

Les ions chlorures présents naturellement dans l'eau de mer, principalement les chlorures de magnésium $MgCl_2$ et les chlorures de calcium $CaCl_2$ sont agressifs vis-à-vis du béton. Le chlorure de magnésium $MgCl_2$ réagit avec la portlandite $Ca(OH)_2$ et provoque la dissolution (ou lixiviation) du liant. Le chlorure de calcium $CaCl_2$ réagit avec l'aluminate tricalcique C_3A (provenant du clinker) et conduit à la formation d'un chloro-aluminate de chaux puis d'ettringite, voire même de thaumasite (en présence de silice dissoute et de carbonates), qui sont des gels expansifs pouvant générer des gonflements entraînant fissurations et éclatements du béton :



➤ **Attaque sulfatique d'origine externe**

La dégradation chimique du béton sous l'effet de sulfate a des conséquences d'ordre macroscopiques et en particulier d'ordre mécanique : chute de résistance et de rigidité, fissuration et déformation du matériau et physico-chimiques : affaiblissement des propriétés liantes, modification de la porosité [21]. Dans le milieu d'eau de mer, le béton est rapidement recouvert d'une couche blanche due à la précipitation des hydrates qui ralentissent la progression de l'attaque [22].

Les sels de sulfate présents naturellement dans l'eau de mer, notamment les sulfates de magnésium $MgSO_4$ et les sulfates de calcium $CaSO_4$ sont agressifs vis-à-vis du béton. Le sulfate de magnésium $MgSO_4$ réagit avec la portlandite $Ca(OH)_2$ et provoque la dissolution (ou lixiviation) du liant. Le sulfate de calcium $CaSO_4$ réagit avec l'aluminate tricalcique C_3A (provenant du clinker) et conduit à la formation d'ettringite, gel expansif, d'où gonflement, fissuration et éclatement du béton. Contrairement aux autres attaques, l'agressivité des sulfates est accrue dans les climats froids.

I.3.3. Autres agressivités

➤ Les attaques acides

Le béton présente un caractère basique élevé induit par les composés hydratés de la pâte de ciment (la phase interstitielle du béton a un pH très élevé). Il peut donc présenter une sensibilité vis-à-vis des solutions acides telles que les eaux naturelles chargées en dioxyde de carbone, les eaux résiduaires, les eaux des industries (y compris agro-alimentaires) contenant des acides organiques, les eaux chargées en acides minéraux, mais aussi les eaux pures [1].

➤ La lixiviation

Dans une structure en béton exposée à l'air ambiant, l'eau s'évapore sur une épaisseur limitée à quelques centimètres. Les pores sont saturés lorsque le béton est en contact de manière prolongée avec l'eau. Des ions en provenance du milieu extérieur peuvent transiter dans la phase liquide interstitielle du béton. En fonction de la nature des éléments chimiques qui pénètrent dans le matériau, il peut en résulter des réactions chimiques de dissolution ou de précipitation et donc une lixiviation progressive des hydrates (Fig. I.10).

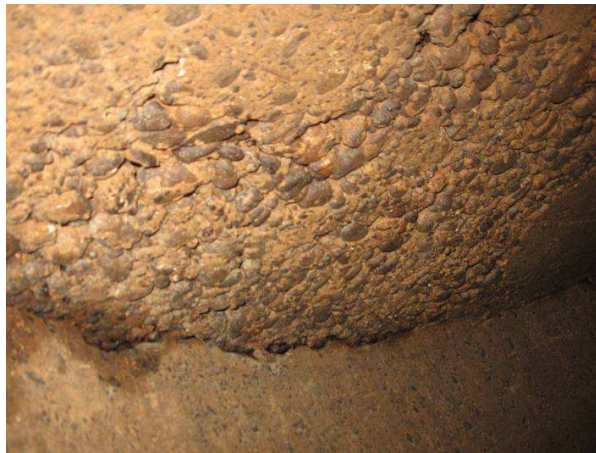
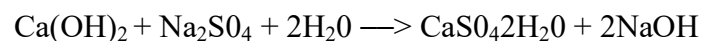


Figure I.10. Lixiviation du béton

▪ Action du sulfate de sodium

La dégradation des bétons par les sulfates est due principalement à des phénomènes d'expansion en relation avec la cristallisation de gypse ou d'ettringite secondaire expansive [23,24] Cela peut être résumé comme suit :

Formation du gypse secondaire La formation du gypse secondaire résulte d'une réaction de substitution entre la portlandite et le sulfate selon la relation suivante :



Une expansion peut se manifester mais dans la majorité des cas elle restera limitée dans la mesure où le gypse secondaire se forme selon un processus de dissolution et de cristallisation [25]

Formation de l'ettringite secondaire : la formation de l'ettringite secondaire peut résulter de la réaction chimique entre le gypse secondaire et les aluminates de calcium anhydres (C₃A). Suivant la teneur en chaux de la phase liquide, la cristallisation de l'ettringite peut être expansive ou non [26]

I.3.4. Attaques internes du béton

Tout béton peut subir une attaque interne. Les phénomènes d'attaque interne ont besoin de présence d'eau pour se produire [1].

➤ Réaction alcali-granulat

La réaction alcali-granulat (RAG) est une réaction interne au béton entre la solution alcaline interstitielle du béton et certains granulats, produisant un gel silico-calco-alcalin expansif, d'où risque de gonflement, fissuration et éclatement du béton. Trois conditions sont nécessaires pour amorcer et entretenir ces réactions (Fig. I.11) :

- Le béton contient des granulats réactifs vis-à-vis de l'alcali-réaction (roches à risque: grès, gneiss, granite, calcaires dolomitiques...);
- La teneur en alcalins actifs est élevée (essentiellement apportés par le ciment) ;
- L'environnement est humide.

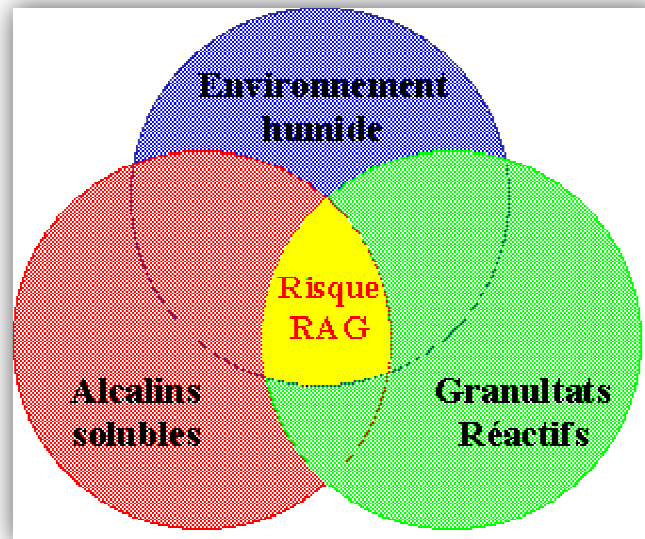


Figure I.11. La réaction alcali-granulat (RAG) [1]

Seule une partie de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment. L'autre partie, nécessaire à la bonne mise en œuvre du béton, se retrouve ensuite piégée dans le béton et peut alimenter une réaction alcali-granulat. Pour les structures maritimes immergées ou en zone de marnage et les parties d'ouvrage en environnement humide (pluie, eaux de ruissellement, sol humide, etc...), le phénomène est aggravé par l'apport d'eau extérieure.

➤ Réaction sulfatique interne

La réaction sulfatique interne (RSI) est définie par la formation différée d'ettringite (produit expansif pouvant générer des gonflements) dans un matériau cimentaire après la prise du ciment et sans apport de sulfates externes. Les ions sulfates d'origine interne peuvent provenir des granulats (pyrites), du ciment ou être libérés par les produits d'hydratation. En cas de réaction sulfatique interne (Fig. I.12), la formation d'ettringite différée, alors que le béton est mécaniquement rigide, peut être préoccupante. Cette réaction touche les structures qui ont subi une élévation excessive de température lors de la prise du béton : elle peut concerner par exemple des pièces préfabriquées traitées thermiquement ou des structures massives

(épaisseur supérieure à 1 m) coulées en période chaude. La réaction est activée par la présence d'eau (interne ou apportée par le milieu extérieur) et les symptômes sont proches de ceux de la réaction alcali-granulat : gonflement du béton avec faïençage visible en parement.

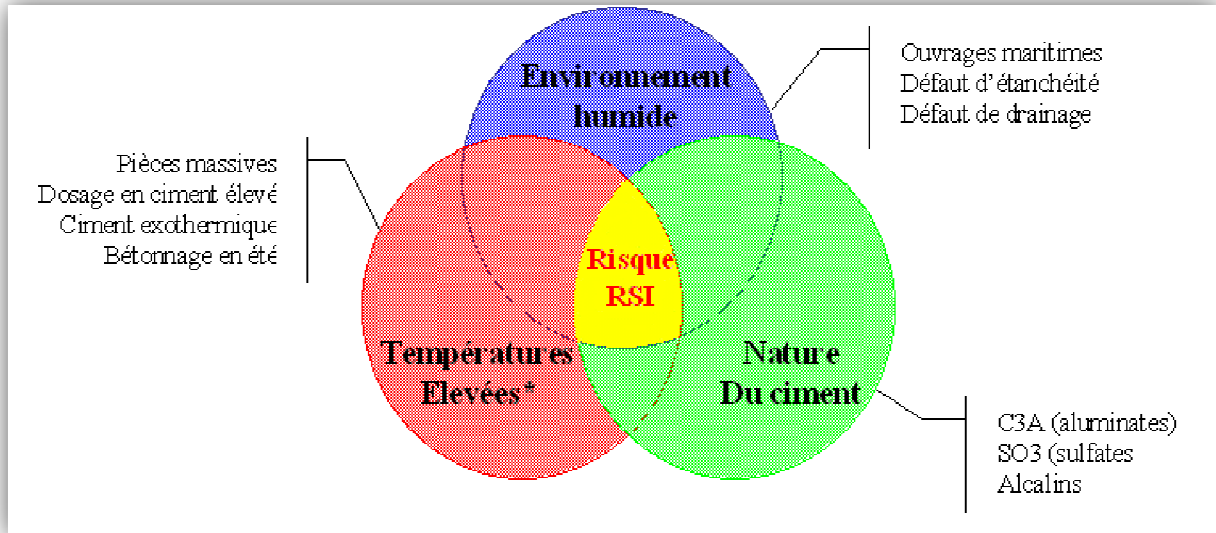


Figure I.12. La réaction sulfatique interne (RSI) [1]

I. 3.5. Cycles de gel-dégel

➤ Actions des cycles de gel/dégel

Lorsque la température extérieure descend en dessous de -3°C , l'eau contenue dans les pores du béton gèle en commençant par les plus gros pores proches du parement. En gelant, l'eau augmente de volume et provoque une pression hydraulique dans le réseau poreux qui, si elle dépasse la résistance à la traction du béton, provoque la fissuration du béton dans la masse. L'endommagement du béton est progressif : il résulte de la succession de cycles de gel-dégel. Il dépend de la vitesse de refroidissement, du nombre de cycles, de la température minimale atteinte et de la durée du gel [1].

I. 3.6. Corrosion des armatures

L'acier et le béton forment un couple complémentaire dans lequel l'acier renforce les caractéristiques mécaniques du béton en traction et le béton protège physiquement et chimiquement l'acier de la corrosion. L'hydratation du ciment produit une solution interstitielle basique de pH élevé qui confère une protection chimique aux armatures noyées dans le béton. Deux processus peuvent altérer la protection assurée par le béton : l'évolution

des caractéristiques du béton d'enrobage des armatures par carbonatation, et la pénétration d'agents agressifs, notamment les ions chlorures, jusqu'au niveau des armatures. La carbonatation affecte, de manière générale, tous les ouvrages non constamment immergés (à cause du dioxyde de carbone présent dans l'air atmosphérique) tandis que la pénétration des chlorures est spécifique à certains environnements comme le milieu marin où les zones soumises aux sels de déverglaçage [1].

➤ **Pénétration des chlorures**

En milieu saturé en eau, les chlorures pénètrent dans la porosité du béton par un phénomène de diffusion, sous gradient de concentration en chlorures entre la surface riche en chlorures et le cœur exempt de chlorure. Lorsque la structure est soumise à des cycles d'humidification-séchage, les chlorures migrent avec la phase liquide par capillarité, phénomène plus rapide que la diffusion. Lorsque la teneur en chlorures devient importante au niveau des armatures, il y a dépassivation puis corrosion des armatures. La concentration critique en chlorures libres est d'environ 0,4 % du poids de ciment.

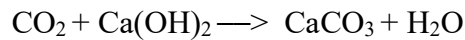
Plus le milieu environnant sera riche en chlorures, plus le risque de corrosion des armatures sera important. La vitesse de pénétration des chlorures est d'autant plus faible que la porosité de la pâte de ciment est faible. L'air contient du dioxyde de carbone à un taux moyen de 0,03 % en volume, qui réagit sur les hydrates, principalement sur la Portlandite (Ca(OH)_2), pour former du carbonate de calcium : $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ [1].

Ce phénomène consomme de la portlandite et conduit à une chute du pH de la solution interstitielle, ce qui entraîne une dépassivation des aciers. Le dioxyde de carbone pénètre à l'intérieur des pores du béton par un phénomène de diffusion. Or, dans le processus de diffusion du dioxyde de carbone, l'humidité relative des pores du béton joue un rôle primordial. Ainsi, lorsque les pores du béton sont saturés d'eau, cas des structures immergées, la pénétration est extrêmement faible et la carbonatation pratiquement inexistante. De la même façon, si le béton se trouve dans un milieu très sec, la quantité d'eau est insuffisante pour dissoudre le gaz carbonique et le béton ne se carbonate que modérément. Par contre, lorsque la structure est soumise à des cycles d'humidification-séchage (zone de marnage, zone exposée à la pluie et au vent, zone de condensation...), le phénomène de carbonatation est rapide. La vitesse de carbonatation est d'autant plus faible que la porosité de la pâte de ciment est faible.

➤ **Carbonatation**

L'air contient du dioxyde de carbone à un taux moyen de 0,03 % en volume, qui réagit sur les

hydrates, principalement sur la Portlandite (Ca(OH)_2), pour former du carbonate de calcium :



Ce phénomène consomme de la portlandite et conduit à une chute du pH de la solution interstitielle, ce qui entraîne une dépassivation des aciers.

Le dioxyde de carbone pénètre à l'intérieur des pores du béton par un phénomène de diffusion. Or, dans le processus de diffusion du dioxyde de carbone, l'humidité relative des pores du béton joue un rôle primordial. Ainsi, lorsque les pores du béton sont saturés d'eau, cas des structures immergées, la pénétration est extrêmement faible et la carbonatation pratiquement inexistante.

I. 4. La perméabilité

La perméabilité mesure la capacité de ce matériau poreux à être traversé par des fluides sous un gradient de pression. Le flux se produit dans un réseau poreux, comportant une porosité initiale (pas nécessairement connectée) ainsi que des fissures induites par les effets de chargements mécaniques, environnementaux et différés. Les fissures interconnectent généralement les chemins de percolation et diminuent la résistance du milieu au flux, provoquant ainsi une augmentation de la perméabilité. En conséquence, la perméabilité influence la durabilité des structures indirectement en gouvernant la vitesse de pénétration d'agents agressifs,

L'évolution de la perméabilité peut être regardée, d'une part, en fonction de la microfissuration diffuse (reliée à l'endommagement), et d'autre part, en fonction de la largeur, de la connectivité et de la tortuosité des fissures [27].

L'augmentation de la perméabilité au gaz, mesurée sous chargement, a été observée à partir de 75-90 % de la contrainte ultime, correspondant au développement et à l'interconnexion des fissures dans la pâte de ciment [28,29]. Picandet et al. [30] ont montré que la perméabilité résiduelle au gaz augmente avec l'endommagement induit par la compression uniaxiale dans la phase pré-pic.

I. 4.1. Perméabilité au gaz des bétons

La perméabilité au gaz est une propriété importante des bétons durcis. A l'état humide, les bétons de composition ordinaires sont dans une large mesure étanches à l'air et au gaz lorsque leur rapport eau/ ciment est inférieur à 0,65 [31]. La perméabilité d'un béton augmente en même temps que son taux d'humidité diminue. Un béton poreux avec une saturation d'eau

élevée peut témoigner d'une perméabilité au gaz inférieure à un béton à haute résistance sec, peu poreux.

La perméabilité au gaz des bétons est en général supérieure à leur perméabilité à l'eau. Elle joue un rôle, par exemple lors du stockage de gaz dans des réservoirs en béton, de stockage final de substances radioactives ou de calottes étanches au gaz sur les bassins de putréfaction des stations d'épuration des eaux usées. Elle peut être utilisée pour évaluer la durabilité de bétons, surtout lorsqu'il s'agit de carbonatation et de corrosion, et l'on s'en sert pour le contrôle de la qualité d'ouvrages en béton [31].

➤ **Le coefficient de perméabilité spécifique k**

La perméabilité au gaz d'un mortier ou d'un béton est mesurée avec des gaz tels que l'oxygène ou l'azote, lesquels sont inertes face aux matériaux; l'air, qui contient du gaz carbonique, ne convient pas vraiment mais sa disponibilité en fait qu'il est souvent utilisé. La perméabilité au gaz peut être indiquée par le coefficient de perméabilité spécifique k (désigné par la suite par perméabilité au gaz).

La perméabilité au gaz est une mesure pour la porosité ouverte d'un béton. La porosité ouverte correspond d'autre part pour l'essentiel à la porosité capillaire [32]. Dans les bétons secs, la perméabilité au gaz est de 10^{-14} à 10^{-19} m².

➤ **Principe de mesure :**

Le corps d'épreuve est soumis à un gradient de pression de gaz constant avec l'appareil CEMBUREAU. La perméabilité est alors déterminée à partir de la mesure du flux de gaz le traversant

➤ **Mesure de la perméabilité sur des éprouvettes**

La méthode Cembureau [33], utilisée en diverses variantes [32], fait partie des méthodes standard pour déterminer la perméabilité au gaz d'un béton en laboratoire. Dans des cellules d'essai qui permettent une étanchéité complète des surfaces de l'enveloppe, des disques cylindriques sont exposés d'un côté à un gaz inerte (généralement de l'oxygène) sous pression élevée (1,5 à 3,5 bars). Le volume du gaz s'écoulant est mesuré sur le côté opposé (Fig. I.13). Pour les éprouvettes de mesure, on recommande un diamètre de 250 mm et une hauteur de 50 mm [31].

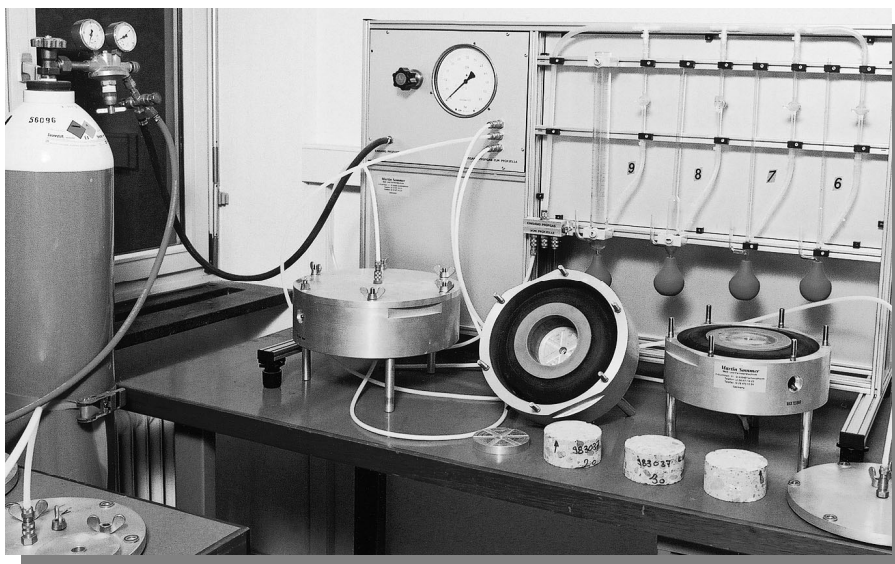


Figure I.13. Mesure de la perméabilité au gaz k selon la méthode Cembureau.

➤ Mesure de la perméabilité in situ

Diverses méthodes sont décrites dans la littérature, qui permettent de déterminer la perméabilité au gaz sur le chantier, au moyen d'une surpression dans un trou foré. Un exemple est donné par Reinhardt et Dinku: sous une pression de 11 bars, de l'azote est injecté pendant quelques secondes dans un trou foré de 45 mm de profondeur et 14 mm de diamètre. On mesure ensuite la chute de pression en fonction du temps à intervalles de 0,5 bar (béton normal) ou 0,1 bar (béton très dense). En utilisant la loi de Hagen-Poiseuille ainsi que différentes hypothèses, la perméabilité au gaz peut également être déterminée à partir du temps de chute de pression et de la géométrie du trou foré. Avant de mesurer la perméabilité, on détermine en outre l'humidité relative du béton dans le trou. Cela est nécessaire, car l'humidité du béton exerce une grande influence sur la perméabilité au gaz [31].

➤ Paramètres influant la perméabilité au gaz

- **Granulats**

Avec un volume de granulat constant, la perméabilité est d'autant plus faible que la part de fines est élevée.

- **Rapport eau/ciment**

Le type de ciment peut influencer sur la perméabilité au gaz des bétons [31]. La pâte de ciment durcie est un réseau poreux complexe où des inclusions remplies d'eau subsistent dans la pâte appelées pores de gel. De plus, pour un rapport massique entre les quantités d'eau et de ciment supérieur à 40% [34], il existe un excès d'eau qui ne participe pas aux réactions d'hydratation du ciment. Lors du durcissement de la pâte de ciment, cette eau reste contenue dans le mélange et donne naissance à des pores

connectes appelées pores capillaires. Certains pores de forme sphérique peuvent être introduits de façon artificielle par des entraîneurs d'air afin d'interrompre la formation de pores capillaires.

Le volume des pores capillaires dépend du rapport E/C et augmente parallèlement à ce rapport. C'est pourquoi la perméabilité au gaz de bétons comparables est d'autant plus grande que leurs rapports E/C sont élevés (Tab. I.2). Il ressort du même tableau que la perméabilité au gaz est d'autant plus grande que la part de pâte de ciment durcie dans le béton est élevée [31].

Tableau I.2. Influence du rapport E/C sur la perméabilité au gaz.

	Volume de la matrice (%)	Perméabilité à gaz ($\times 10^{-17}$ m ²) avec rapport E/C			
		0.40	0.50	0.60	0.70
Pâte de ciment durcie	100	91.0	220.0	260.0	340.0
Mortier	46	2.2	3.0	31.0	33.0
Béton normal	32	1.9	2.1	6.4	15.0

- **Traitement de cure**

Une cure prolongée peut améliorer l'étanchéité au gaz d'un béton. Des recherches montrent l'influence de la durée de la cure et du rapport E/C sur la perméabilité au gaz de «bétons normaux» (diamètre maximum des granulats 16 mm, ciment Portland CEM I, teneur en pâte de ciment 300 l/m³). En dehors de la durée de la cure et du rapport E/C, la teneur en eau joue également un rôle important dans les bétons jeunes: plus la cure est longue, plus il y a d'eau dans les pores (diminution de la perméabilité au gaz) [31].

- **Teneur en air**

Les bétons qui contiennent de l'air entraîné, à raison de 3 à 5 % en volume, ne témoignent pas d'une perméabilité au gaz plus élevée que des bétons comparables sans air entraîné. Cela s'explique par le fait que lors de teneurs aussi faibles, les pores d'air ne sont pas reliés. La perméabilité au gaz n'augmente nettement qu'à partir de teneurs en air de > 11 % en volume [31].

I. 5. L'effet de la température

En situation d'incendie, malgré son meilleur comportement à la température ambiante, le béton peut présenter une instabilité thermique au-delà d'une certaine température. Les incendies de tunnels sous la Manche (1996 et 2008) en France, Tauern (1999) en Autriche ou Saint-Gothard (2001) en Suisse sont les exemples illustrant l'endommagement du béton soumis à une température élevée [19]. L'instabilité thermique du béton peut se présenter sous diverses formes [35] (éclatement explosif, éclatement de surface, éclatement de granulats, éclatement d'angle ou encore éclatement en phase de refroidissement).

L'eau dans le béton existe sous diverses formes. Elle joue un double rôle d'hydratation et d'ouvrabilité du mélange. Elle se présente sous forme d'eau libre (ou capillaire), d'eau adsorbée, d'eau chimiquement liée [19]. Lorsque le béton est exposé à une température élevée, il subit diverses transformations physico-chimiques [19]. Avec l'augmentation de la température, la matrice cimentaire se dilate puis s'évapore en entraînant une déshydratation des hydrates formés [19]. Le processus de déshydratation et de réhydratation de pâte cimentaire soumise à différents cycles de chauffage-refroidissement a été étudié par Alonso et Fernandez [36].

Les principales transformations de la matrice cimentaire décrites au cours de son échauffement dans quelques études [36-40] avec l'augmentation de la température sont :

* 20 - 120°C : le départ de l'eau libre s'opère de façon marquée vers 100°C. Autour de 120°C, l'eau libre s'échappe complètement [39,40]. A 100°C, l'étringite se décompose complètement [36, 38].

* 120 - 170°C : la réaction endothermique de décomposition du gypse est observée par Carles-Gibergues et al. 1992 [41]. La destruction du C-S-H observée avant 100°C se poursuit jusqu'à 400°C [36, 38,42].

Durant la phase de refroidissement, Alonso et Fernandez [36] ont montré un processus de réhydratation des silicates qui conduit à la formation de nouveaux gels de C-S-H. De plus, une nouvelle formation de la portlandite est observée [19].

Ces transformations se reflètent sur les propriétés des bétons [43, 44]. D'une manière générale, les résultats de la littérature montrent que la résistance à la compression du béton (à chaud ou après refroidissement) baisse avec l'élévation de la température [2,45, 46,47].

La baisse de résistance est observée autour de 100°C – 150°C. Cette légère baisse de résistance est liée au départ de l'eau qui, lors de la montée en température, elle se dilate et entraîne un écartement des feuillettes du gel [19]. Cet écartement occasionne ainsi une baisse des forces de cohésion. Jusqu'à la température de 300°C - 400°C, un gain de résistance est

remarqué [19]. Le départ de l'eau peut entraîner une augmentation des forces de liaison entre les hydrates avec un accroissement des énergies de surface [44,48].

L'eau, présente dans le béton sous forme libre, liée ou adsorbée, s'échappe progressivement et représente la principale cause de perte de masse du béton. L'évolution de la perte de masse est regroupée en trois domaines : de 20 – 150°C, il a été observé observe une faible perte de l'ordre de 3%, entre 150 - 300°C une perte rapide puis au delà de 300°C, un ralentissement de perte de masse [19]. La principale transformation physico-chimique que subit le béton chauffé entre 150 – 300°C est la déshydratation des C-S-H [19].

Les bétons adjuvantés sont affectés par les hautes températures en comparaison avec ceux moins de dosage adjuvant, surtout en superplastifiants [49]. Ceci s'explique par le fait que les superplastifiants peuvent être détruits et ils ne peuvent plus jouer leur rôle une fois le béton exposé aux fortes températures. En plus les bétons adjuvantés présentent une grande masse volumique et une faible perméabilité, ce qui ne permet pas à la vapeur d'eau de s'échapper ce qui accélère l'éclatement du béton [49].

Des résultats obtenus par des essais d'écrasement réalisés après refroidissement, montrent une dégradation progressive de la résistance à la compression du béton en fonction de la température [49]. À 200°C, une diminution de 4% dans la résistance à la compression du béton a été enregistrée.

La variation de la température du béton peut influencer l'adsorption de l'adjuvant sur les grains de ciment [50, 51].

Par exemple l'efficacité du superplastifiant est liée à l'adsorption du superplastifiant sur les grains de ciment, alors la température a un effet significatif sur cette efficacité et donc influence les propriétés des bétons avec superplastifiants [52]. Quelques superplastifiants sont très sensibles à l'évolution de la température [53, 54].

I.5.1. Evolution de la résistance avec température

Les documents codificatifs (DTU et l'Eurocode 2) sont mentionnent les courbes d'évolution de la résistance en compression avec la température (Fig. I.14). Ces courbes ont été établies en se basant sur les résultats expérimentaux, obtenus sur les bétons de compositions variées par différentes équipes des chercheurs [55].

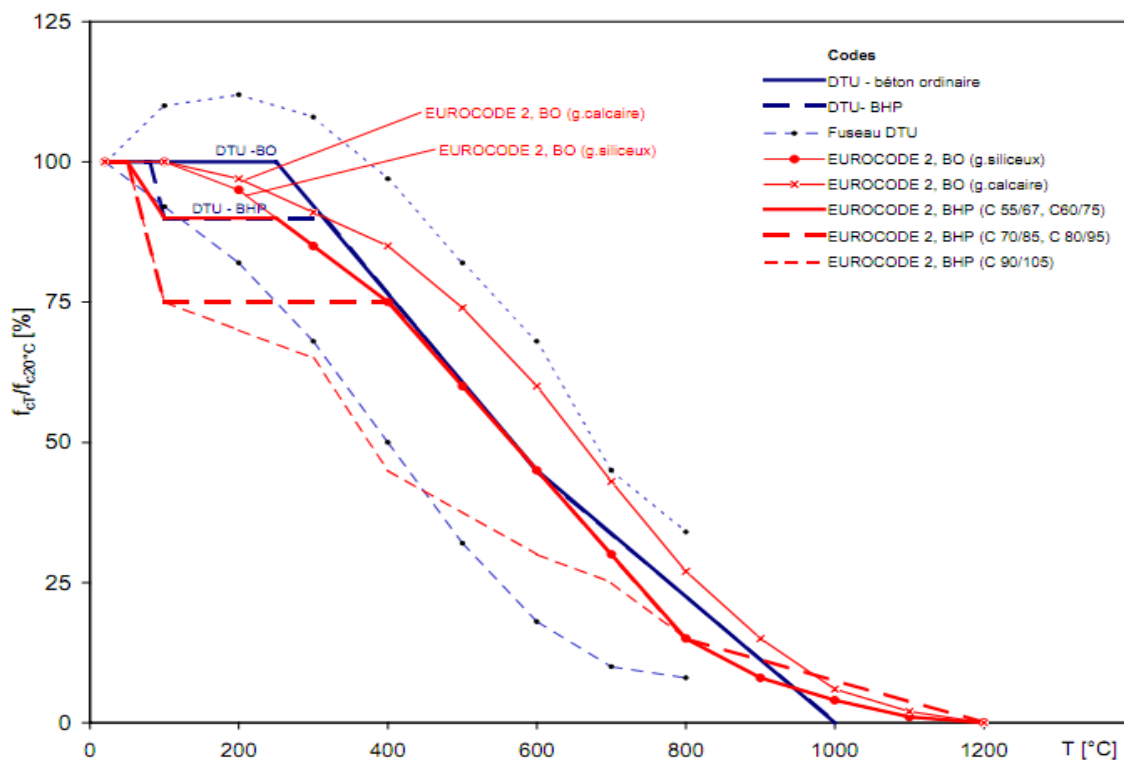


Figure I.14. Courbes de la variation de la résistance en compression selon le DTU et l'EUROCODE 2 [55]

La résistance en compression à haute température dépend essentiellement de la composition initiale du matériau (type de granulat, rapport eau/ciment, liant, ajouts, ...). Plusieurs chercheurs ont étudié l'influence de la température sur la résistance à la compression [56,57,58]

La (Fig.I.15) montre l'évolution des résistances résiduelles en compression de bétons autoplaçants[45], de bétons ordinaires et à hautes performances [2.46.47]. D'une manière générale, les résultats de la littérature montrent que la résistance à la compression du béton (à chaud ou après refroidissement) baisse avec l'élévation de la température.

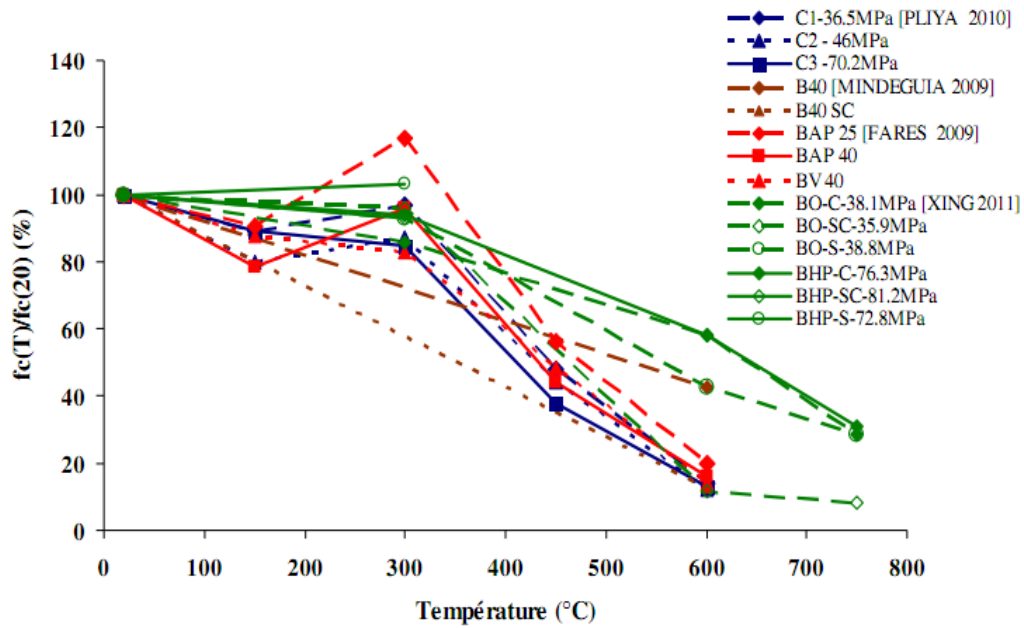


Figure I.15. Évolution de la résistance résiduelle relative à la compression des BO et BHP [19]

L'influence des additions minérales sur l'évolution des résistances mécaniques à hautes températures varie d'une étude à une autre. Selon certains auteurs le type de ciment peut avoir un impact important sur la résistance [59], alors que d'autres auteurs indiquent que le comportement des bétons est peu influencé par la nature des additions minérales en dessous de 600° [60.61].

L'influence de la nature des granulats sur la résistance en compression n'est pas significative à des températures inférieures à 400° C. Cependant, pour des températures supérieures à 400°C, l'influence des granulats est plus que visible, comme dans le cas des granulats silico-calcaire où la résistance en compression est quasi nulle dès 600°C [62].

I. 6. Conclusion:

- Les adjuvants sont devenus le quatrième ingrédient du béton, qui viennent s'ajouter au trois constituants fondamentaux : le ciment, l'eau et les granulats. La liste complète de leurs avantages est très large. Toutes fois ces avantages sont subordonnés à la bonne utilisation, à la connaissance des effets secondaires et d'autre risques.
- La propriété de la plus part 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.
- D'autres facteurs sont essentiels à la durabilité d'un béton et orientent la formulation du béton en fonction du type d'exposition du béton et l'utilisation des différents adjuvants. Ces derniers de compositions différentes ont certainement des effets différents sur l'évolution des propriétés des bétons aussi bien en situation ambiante qu'à des hautes températures.
- Donc cette utilisation des adjuvants pourrait nuire à la qualité du béton, par exemple, quant à sa durabilité ou à son comportement aux hautes températures.

Chapitre II

Caractérisation des matériaux et formulation des bétons

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et formulation des bétons

II.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 et Hydraulique (LGCH) de l'université de Guelma.

Les matériaux utilisés dans notre travail sont :

1. Granulats : un sable silico-calcaire concassé 0/5 et deux graviers silico-calcaires de classes 8/15 et 15/25 provenant de la région d'Oum el Bouaghi,
2. Un ciment portland composé CEM II-A (CPJ 42.5) : Hadjar Essoud provenant de la région de Skikda,
3. Eau de gâchage : l'eau du robinet,
4. Cinq types d'adjuvants : un superplastifiant (SUP), un accélérateur de durcissement (AC), un retardateur de prise (RET), un entraîneur d'air (EA) et un hydrofuge (HYD).

II.2. Les granulats

II.2.1. Identification des propriétés des granulats utilisés

Nous avons utilisé pour la confection du béton des granulats (région d'Oum el Bouaghi), dont les caractéristiques ont été déterminées expérimentalement, au Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique (LGCH) de l'université de Guelma conformément aux normes [63].

II.2.1.1. Masse volumique

La masse volumique est une caractéristique de base des granulats pour bétons [64]. Cette caractéristique est définie selon les normes NF P 18-554 [65] pour la masse volumique apparente et NF P 18-555 [66] pour la masse volumique absolue.

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V_1} \text{ (t/m}^3\text{)}$$

$$\rho_{abs} = \frac{M_s}{V_2 - V_1} \text{ (t/m}^3\text{)}$$

II.2.1.2. Mesure de la propreté de sable :

- Essai d'équivalent de sable

L'essai de propreté de sable consiste à déterminer le pourcentage d'éléments fins et des impuretés, pour contrôler la propreté de sable on utilise l'essai d'équivalent de sable (Fig. II.1). Conformément à la norme NA455 ou la norme NF EN-933-8.



Figure II.1. Appareillage de l'équivalent de sable

II.2.1.3. Analyse granulométrique :

La granularité du sable est déterminée selon la norme EN 933-2. Le but est de déterminer les pourcentages des grains de chaque dimension et de calculer le module de finesse (Figs. II.2, II.3),

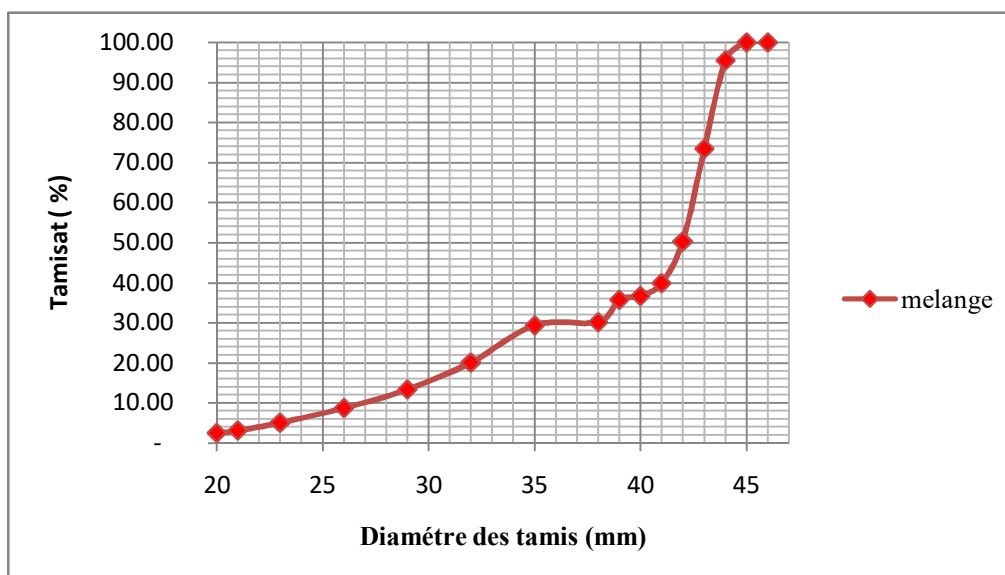


Figure II.2. Courbe granulométrique du mélange

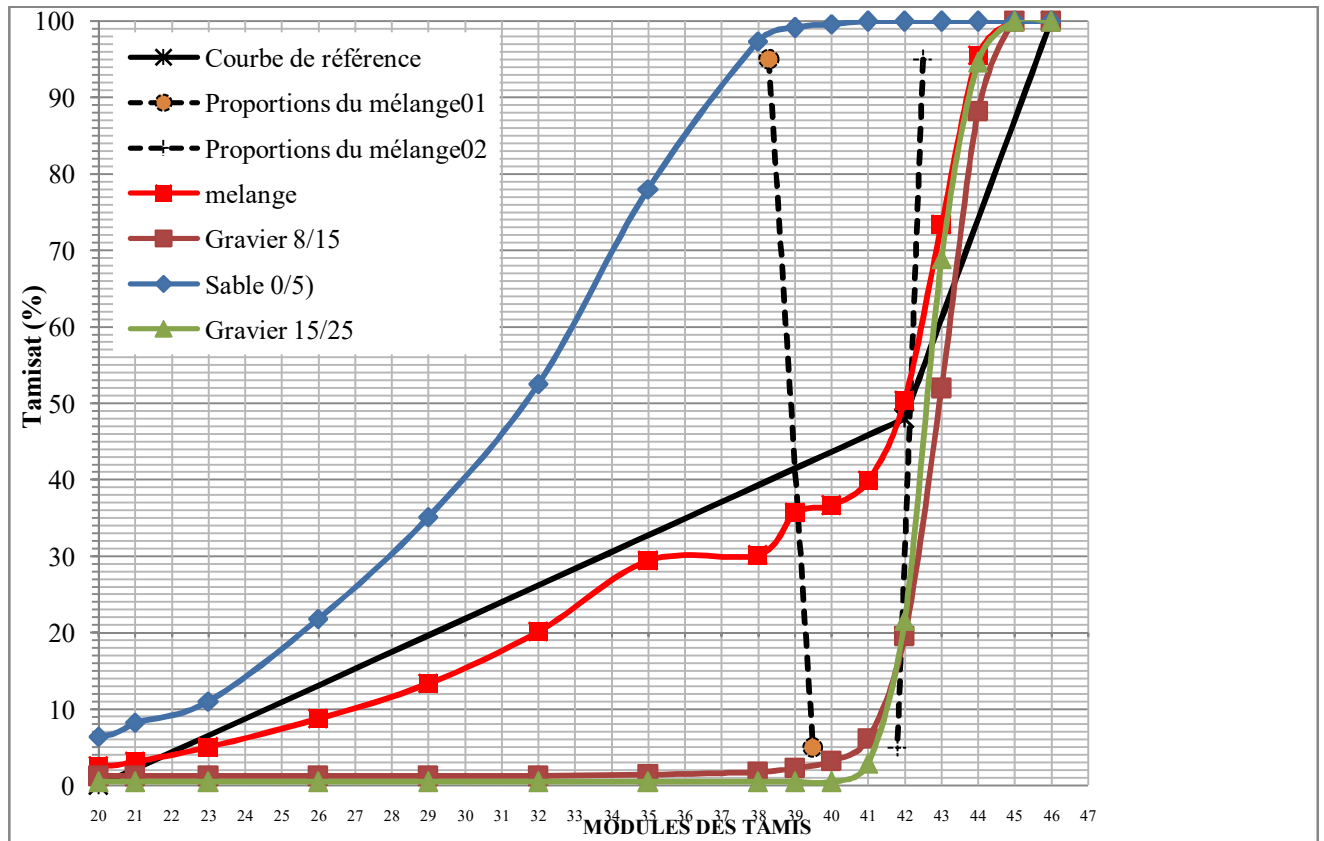


Figure II.3. Courbes granulométriques des granulats et mélanges



Figure II.4. Balance électronique



Figure II.5. Série de tamis

II.2.1.4. Module de finesse du sable

Le module de finesse permet de juger globalement de la granularité d'un sable : un module de finesse élevé indique un sable grossier, un module de finesse faible caractérise un sable fin [67]. C'est une caractéristique intéressante, surtout en ce qui concerne les sables [4,68].

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 :

$$M_f = \Sigma R_c / 100 \quad \text{avec } R_c : \text{ refus cumulé.}$$

On a $M_f = 3.04$: c'est un gros sable qui manque de fines.

Le tableau II.1 rassemble les résultats des propriétés des granulats utilisés

Tableau II.1. Propriétés des granulats d'Ain kercha - la région d'Oum el Bouaghi

Caractéristiques des granulats	Classes granulaires		
	0/5	8/15	15/25
Masse volumique apparente (t/ m ³)	1.497	1.447	1.497
Masse volumique absolue (t/ m ³)	2.639	2.650	2.644
Equivalent de sable à vue (%)	87.37	-	-
Equivalent de sable au piston (%)	77.66	-	-
Module de finesse	3.04	-	-
Pertes (%)	0.24	0.13	0.28

II.2.1.5. 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 [16].

La méthode utilisée pour formuler notre béton est celle de Dreux -Gorisse [4] qui repose sur l'utilisation des courbes granulaires de référence.

II.2.1.5.1. Dosage en masse des granulats

Traçage de la courbe théorique :

L'abscisse : au milieu de l'intervalle [5 ; D] si $D > 20$, soit : 41,5

à $D/2$, si $D \leq 20$ mm,

soit

L'ordonnée: $Y_A = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p$

$K=2$ optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment

K_s : ajustement de la granularité du sable pour $2,2 \leq M_f \leq 2,8 \rightarrow K_s = 6 \times M_f - 15$

$K_p = 0$ ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par les pompes à béton.

Ce qui donne les proportions des granulats suivantes (Fig. II.6):

Sable 0/5 → 36%

Gravier 8/15 → 40%

Gravier 15/25 → 24%

G/S=1,78

Les proportions des différentes fractions de granulats sont présentées dans tableau II.2 ci-dessous :

Tableau II.2. Composition du béton (kg/m^3)

Composants	Dosage (kg/m^3)
Granulats roulés silico-calcaires (15/25 mm)	434
Granulats roulés silico-calcaires (8/15 mm)	723
Sable (0/5 mm)	650
Ciment CEM-II A 42.5	350
Eau	196
Total	2353 Kg

La densité théorique du béton frais $\gamma_0 = 2,35$



Figure II.6. Les granulats utilisés

II.3. Ciment

Le ciment utilisé dans cette recherche est un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42,5 de la cimenterie de Hadjar Essoud de la région de Skikda (Fig. II.7), il répond aux exigences de la norme NA 442.

La composition chimique et minéralogique et les caractéristiques physiques et mécaniques du CEM II 42,5 utilisé pour la confection des bétons sont présentées dans les tableaux II.3, II.4, II.5 et II.6 elles sont fournies par la fiche technique du laboratoire de la cimenterie [69].

Tableau II.3. 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 ₀ ₃	P.A.F 975 °C
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 II.4.Composition minéralogique du ciment CEM II 42,5 utilisé

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ A
55 à 65 %	10 à 25 %	8 à 12 %	9 à 13 %

Tableau II.5.Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé

Caractéristiques	Valeur
Consistance normale (%)	≥ 27,0
Début de prise (mn)	≥ 60
Fin de prise (mn)	150-250
Classe de résistance(MPa)	42,5
Expansion à chaud (mm)	≤ 10 mm
Masse volumique apparente (t/m ³)	1.1
Masse volumique absolue (t/m ³)	3.1

Tableau II.6.Pourcentage des constituants

Clinker	≥ 74,0
Gypse	4-6
calcaire	0
Laitier	≤ 20



Figure II.7. Ciment utilisé

II.4. Eau de gâchage

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

II.5. Les adjuvants

Les adjuvants utilisés dans notre travail avec leurs dosages (0.5% ,1.0 %,1.5 % ,2.0 %)

sont :

- Le retardateur de prise : le PLASTIRETARD,
- L'accélérateur de durcissement : le SIKA PRISE SC 2,
- Le superplastifiant : le SIKA VISCOCRETE TEMPO 12,
- L'hydrofuge de masse: l'HYDROFUGE SIKA LIQUIDE,
- Enfin l'entraîneur d'air: le SIKA AER 5.

II.5.1. Retardateur de prise

Le PLASTIRETARD [70] est un retardateur de prise pouvant être utilisé dans tous les bétons. Employé à certains dosages, il se comporte comme un réducteur d'eau. Le PLASTIRETARD est introduit dans la gâchée soit mélangé à l'eau soit en même temps que l'eau. Il est recommandé d'effectuer des essais préliminaires pour déterminer la quantité d'eau de gâchage nécessaire à l'obtention de la maniabilité. La plage d'utilisation recommandée est de 0,2 à 0,5% du poids du ciment (soit 0,17 à 0,43 litre pour 100 kg de ciment) suivant l'effet retardateur de prise permet d'éviter une brusque élévation de la température du béton lors de la prise et rend son emploi indispensable recherché. Il est recommandé pour le bétonnage par temps chaud ou en grande masse.

Tableau II.7. Caractéristiques de l'adjuvant retardateur de prise

Aspect	Couleur	Densité	Extrait sec (%)	pH	Teneur en chlorure (Cl ⁻)
Liquide	Jaune, légèrement trouble	1.175 ± 0.015	29.5 à 32.6	8.5 à 10.5	< 0,1 %

II.5.2. L'accélérateur de durcissement

Le SIKA PRISE SC 2 [70] est un accélérateur pour béton qui permet d'obtenir même par temps froid des résistances mécaniques élevées à court terme. Il est de couleur brune.

Il est utilisé de 1 à 2,5 % du poids du ciment (soit 0,8 à 2 litres pour 100 kg de ciment) suivant les conditions du chantier et l'accélération recherchée. Dans tous les cas, un essai préalable est conseillé pour déterminer le dosage optimal. Il peut être utilisé avec tous types de bétons dès que les conditions climatiques ne permettent plus de garantir un délai de décoffrage normal sur chantier. Grâce à l'accélération de la prise qu'il provoque, doit être employé toutes les fois où l'on souhaite soit accélérer les cadences de production, soit réduire les temps d'étuvage. Il permet de réduire les délais de décoffrage et d'accélérer la rotation des moules.

Tableau II.8. Caractéristiques de l'adjuvant accélérateur de durcissement

Aspect	Couleur	Densité	Extrait sec (%)	pH	Teneur en chlorure (Cl ⁻)
Liquide	Brun	1.313 ± 0.020	43.0 ± 2.0	6.0 ± 1.0	< 0,1 %



Figure II.8. L'accélérateur de durcissement (SIKA PRISE SC 2)

II.5.3. Superplastifiant

le SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 [70] 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.

Tableau II.9. Caractéristiques de l'adjuvant superplastifiant

Aspect	Couleur	Densité	Extrait sec (%)	pH	Teneur en chlorure (Cl ⁻)
Liquide	Brun clair	1.06 ± 0.01	30,2 ± 1.3	6.0 ± 1.0	< 0,1 %



Figure II.9. Superplastifiant (SIKA VISCOCRETE TEMPO 12)

II.5.4. Hydrofuge de masse

- L'HYDROFUGE SIKA LIQUIDE [70] 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 bétons 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.

Tableau II.10. Caractéristiques de l'adjuvant hydrofuge de masse

Aspect	Couleur	Densité	Extrait sec (%)	pH	Teneur en chlorure : Cl ⁻ (%)
Liquide	Blanche	1.02 ± 0.01	10,0 ± 1.0	8.5 ± 1.0	< 0,1 %



Figure II.10. Hydrofuge de masse (L'HYDROFUGE SIKA LIQUIDE)

II.5.5. L'entraîneur d'air

Le SIKA AER 5 [70] est un entraîneur d'air qui permet d'augmenter la quantité d'air dans le béton sous forme de fines bulles d'air très stables et de taille régulière, uniformément réparties dans le béton. On peut l'introduire dans l'eau de gâchage avant vidange dans le malaxeur ou en même temps que l'eau de gâchage. Il est utilisé de 0,03 à 0,5 % du poids du ciment. La quantité d'air entraîné est fonction du dosage mais dépend également de la composition du béton (nature et quantité d'éléments fins), de sa plasticité, du temps de malaxage, de la propreté des granulats, du type de ciment ou de liant et de sa finesse de mouture ainsi que de la température du béton. Il est souvent utilisé pour les bétons soumis au gel-dégel.

L'entraîneur d'air convient aussi pour les bétons à faible teneur en éléments fins. Il agit comme un correcteur granulométrique, rend le béton plus maniable et facilite sa mise en œuvre par un effet «roulement à billes» des bulles d'air.

Tableau II.11. Caractéristiques de l'adjuvant entraîneur d'air

Aspect	Couleur	Densité	Extrait sec (%)	pH	Teneur en chlorure : Cl ⁻ (%)
Liquide	Brun foncé	1.03 ± 0.01	8.8 à 9.8	10.5 à 12	< 0.1



Figure II.11. L'entraîneur d'air (SIKA AER 5)



Figure II.12. Les cinq types d'adjuvants utilisés

II.6. Dénomination des adjuvants et des bétons :

La dénomination des différents adjuvants utilisés ainsi que les bétons correspondants sont mentionnées dans les tableaux II.12 et II.13.

Tableau II.12. Dénomination des adjuvants

Dénomination des adjuvants	Adjuvant
RET	Retardateur de prise (PLASTIRETARD)
AC	Accélérateur de durcissement (SIKA PRISE SC 2)
SUP	Superplastifiant (SIKA VISCOCRETE TEMPO 12)
HYD	Hydrofuge de masse (HYDROFUGE SIKA LIQUIDE)
EA	Entraîneur d'air (SIKA AER 5)

Tableau II.13. Dénomination des bétons adjuvantés

Dénomination des bétons adjuvantés	Bétons
BT	Béton témoin
BRET	Béton adjuvanté par le retardateur de prise (PLASTIRETARD)
BAC	Béton adjuvanté par l' accélérateur de durcissement (SIKA PRISE SC 2)
BSUP	Béton adjuvanté par le superplastifiant (SIKA VISCOCRETE TEMPO 12)
BHYD	Béton adjuvanté par l'hydrofuge (L'HYDROFUGE SIKA LIQUIDE)
BEA	Béton adjuvanté par l'entraîneur d'air (SIKA AER 5)

II.7. Paramètres des essais

Les paramètres influant sur la durabilité du béton sont nombreux et variés, nous avons retenu pour cette étude les paramètres suivants :

- un béton ordinaire de rapport eau/ciment $E/C = 0.56$,
- un sable silico-calcaire concassé 0/5 et deux graviers silico-calcaires de classes 8/15 et 15/25.
- Le ciment utilisé est un ciment portland composé CEM II-A (CPJ 42.5): Hadjar Essoud revenant de la région de Skikda.
- En plus de la composition du béton témoin sans adjuvant (BT), quatre dosages (0.5 %, 1.0 %, 1.5 % et 2.0 %) de chaque adjuvant ont été incorporés à la composition du béton témoin. Ces bétons sont dénommées BRET, BAC, BSUP, BHYD et BEA respectivement correspondant aux bétons avec retardateur de prise, accélérateur de durcissement, superplastifiant, hydrofuge et entraîneur d'air (Tableau II.14).
- Les adjuvants utilisés proviennent de la société SIKA /ALGERIE et sont conformes à la norme NF EN 934-2 [9].

Pour pouvoir évaluer les caractéristiques des bétons, on a pris comme composition celle d'un béton, composé en poids, comme indiqué sur le Tableau II.14 :

Tableau II.14. Composition des bétons avec les différents dosages d'adjuvants

Béton	Sable 0/5 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Eau (L)	Ciment (Kg)	Retardateur de prise (%)	Accélérateur de durcissement (%)	Super-Plastifiant (%)	Hydrofuge (%)	Entraîneur d'air (%)
BT	650	723	434	196	350	0	0	0	0	0
BRET	650	723	434	196	350	0.5, 1, 1.5, 2	0	0	0	0
BAC	650	723	434	196	350	0	0.5, 1, 1.5, 2	0	0	0
BSUP	650	723	434	196	350	0	0	0.5, 1, 1.5, 2	0	0
BHYD	650	723	434	196	350	0	0	0	0.5, 1, 1.5, 2	0
BEA	650	723	434	196	350	0	0	0	0	0.5, 1, 1.5, 2

II.8. 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 III

Techniques expérimentales

Chapitre III: Techniques expérimentales

III. 1. Introduction

Ce chapitre consiste en une présentation des essais réalisés pour l'évaluation de l'ouvrabilité, des résistances mécaniques du béton à l'état durci à base des différents adjuvants (sous l'effet de la température et après séjour des différents bétons dans deux milieux agressifs) , ainsi que la détermination des perméabilités à l'eau et à l'air.

III.2. Méthodes expérimentales

III. 2.1. Principe

A l'état frais, l'ouvrabilité est évaluée à l'aide de l'essai au cône d'Abrams pour en déduire l'affaissement.

Les essais de résistance à la compression sont réalisés sur des éprouvettes cubiques ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) des différents bétons après être soumises différentes températures (20°C , 105°C et 300°C) et aussi après séjour (30, 90 et 180 jours) dans deux milieux agressifs (eau de mer et solution sulfatée Na_2SO_4).

L'évaluation des pertes de masse est aussi réalisée pour les bétons chauffés. Enfin des mesures des perméabilités à l'air et à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression) sont conduites pour les différents bétons adjuvantés.

III.2.2. Préparation des bétons

III.2.2.1. Equipement utilisé pour la préparation des bétons

- Une balance électronique qui nous permet des peser les quantités nécessaires avec une précision de 0.001 (Fig. III.1).



Figure III.1. Balance électronique

Pour le malaxage du béton, la bétonnière électrique utilisée a une cuve de 160 litres (Fig. III.2).



Figure III.2. Malaxeurs électriques du béton

On a utilisé des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes cubiques (Fig. III.3) ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) destinées aux essais de résistance à la compression ainsi qu'autres permettant de réaliser 3 éprouvettes cubiques ($15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$) utilisées pour les essais de perméabilité à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression) (Fig. III.3). Les essais de perméabilité à l'air sont réalisés sur éprouvettes cylindriques de diamètre 15 cm et d'épaisseur 5 cm (Fig. III.3).



Figure III.3. Eprouvettes utilisés dans les essais

L'effet des adjuvants sur l'ouvrabilité de béton a été évalué par l'affaissement au cône d'Abrams juste après le malaxage (Fig. III.4). L'essai a été effectué conformément aux prescriptions de la norme NF EN 206-1 [6].



Figure III.4. Cône d'Abrams

III.2.2.2. Mode opératoire

On introduit d'abord les deux types de gravier puis le sable les malaxer ensuite le ciment et en dernier l'eau de gâchage versée à plusieurs reprises; le malaxage dure 3 minutes.

L'incorporation des adjuvants aux bétons se fait lors du malaxage ou avant la mise en œuvre (selon le type d'adjuvant).

L'addition de l'adjuvant ne doit jamais se faire sur un béton sec (c-à-d avant l'ajout de l'eau). Il sera absorbé par les granulats d'où son inefficacité.

III.2.2.3. Confection des éprouvettes

L'ensemble des éprouvettes confectionnées est indiqué dans le tableau III.1

Tableau III.1. Répartition des éprouvettes confectionnées

Béton adjuvanté	Nombre d'éprouvette		
	Cubique $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$	Cubique $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$	Diamètre 15cm Epaisseur 5cm
BT	27	03	03
BRET	108	12	12
BAC	108	12	12
BSP1	108	12	12
BHYD	108	12	12
BEA	108	12	12
Total	693	63	63

III.2.2.4. Conservation des éprouvettes

Les effets influant sur la durabilité du béton sont nombreux et variés, nous avons retenu pour ce travail les paramètres d'agressivité ainsi que la résistance aux températures élevées. Après décoffrage, les éprouvettes cubiques ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) ont été divisées en trois groupes. Le

premier groupe des éprouvettes confectionnées ont été conservés à l'eau pendant 28 jours puis ont été sorties de l'eau et séchées à la température ambiante (Fig. III.5).

Pour le deuxième et le troisième groupe : le choix a été porté sur deux types de solutions: l'eau de mer et une solution de sulfate de sodium (Na_2SO_4) de concentration massique 5% (Fig. III.6). Les éprouvettes ont séjournées dans ces deux milieux et celui de l'eau) pendant 30, 90 et 180 jours.

Après décoffrage, les éprouvettes cubiques ($15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$) et les éprouvettes cylindriques de 15 cm de diamètre et de 5 cm d'épaisseur sont complètement immergées dans un bac d'eau pendant 28 jours et ne seront sorties; qu'une journée avant les essais. Ces éprouvettes sont destinées aux essais de perméabilité.



Figure III.5. Conservation des éprouvettes dans l'eau



Figure III.6. Eprouvettes après conservation dans la solution de sulfate de sodium (Na_2SO_4)

III.3. Description des essais expérimentaux

- Les essais au cône d'Abrams (mesure l'affaissement).

- Les essais pour l'évaluation de la résistance à la compression à une température ambiante, à 105°C et à 300°C.
- L'évaluation de la perte de masse (porosité accessible).
- Les essais pour l'évaluation de la résistance à la compression après séjour des différents bétons dans deux milieux agressifs (eau de mer et solution sulfatée Na_2SO_4 à 5%).
- Des essais de perméabilité à l'eau (mesure de la profondeur de pénétration d'eau sous pression) et les essais de perméabilité à l'air (calcul du coefficient de perméabilité k).

III.3.1. L'ouvrabilité (Mesure de l'affaissement)

IL s'agit d'évaluer la plasticité, et connaître la qualité d'un béton qui permet sa maniabilité en conservant son homogénéité. Sur le plan pratique, cela se traduit par la facilité de mise en œuvre et d'obtention d'un parement brut acceptable, qu'il soit dans le plan horizontal ou vertical. Donc la condition de l'ouvrabilité est fixée par la plasticité du béton.

Il s'agit de l'essai le plus courant et l'un des plus simples. Il est décrit dans la norme Algérienne NA 431. (Fig. III.7).



Figure III.7. Essais d'affaissement au cône d'Abrams

III.3.2. Mesure des résistances à la compression

Les essais de compression ont été réalisés sur les éprouvettes cubique ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) refroidis à l'air ambiant par une presse de 2000 kN de capacité avec une vitesse de 0.5 MPa/s. Trois éprouvettes ont été testées pour chaque composition (Fig. III.8).



Figure III.8. Essais de résistance à la compression.

III.3.3. Essai pour l'évaluation de la perte de masse

Cette étude a été réalisée dans l'objectif principal est l'étude de l'évolution de la perte de masse (porosité) aux températures de 105°C et 300°C.

Les éprouvettes ont été confectionnées puis conservés à l'eau pendant 28 jours et chauffés dans un four électrique jusqu'à 105°C (Fig.III.9), puis à 300 ° C , à une vitesse de 2 ° C / min. Les figures suivantes montrent les dispositifs de chauffage des éprouvettes.



Figure III.9. Le dispositif de chauffage des éprouvettes dans un four électrique

Le processus de traitement thermique par étuvage selon le cycle adopté schématisé sur la Figure III.10.

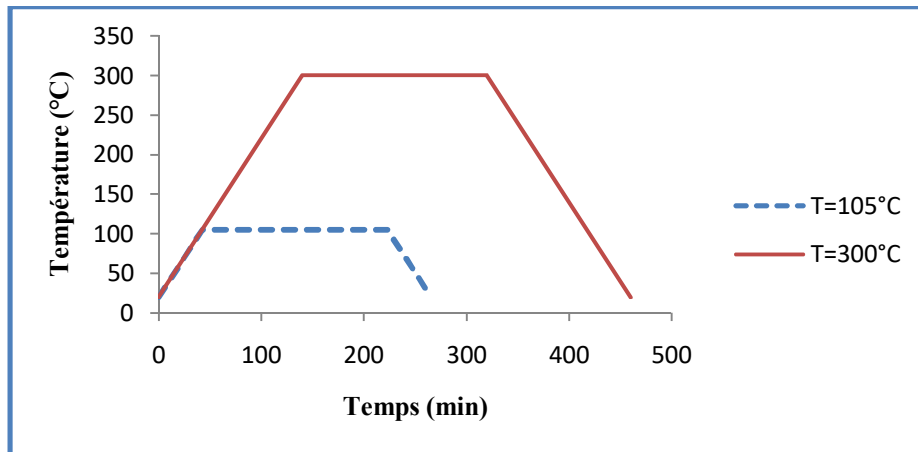


Figure III.10. Cycles de traitement thermique utilisé



Figure III.11. Mesure de la masse des éprouvettes

III.3.4. Perméabilité des bétons (mesure de perméabilité à l'eau et à l'air)

Elle est relative au déplacement d'un fluide sans l'effet d'une pression, elle dépend de la taille des espaces poreux dans les quels s'écoule le fluide ou le gaz [71].

III.3.4.1 Perméabilité à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression)

III.3.4.1.1. Principe

De l'eau est appliquée sous pression sur la surface du béton durci pendant 72 heures sous une pression de 500 ± 50 kPa. Après rupture de l'éprouvette par fendage, on mesure la profondeur de pénétration d'eau [72].

Le dispositif permet de placer l'éprouvette, de dimension donnée, de telle façon que la pression d'eau peut s'exercer sur la zone d'essai, et de lire en continu la valeur de pression (Figs.III.12, III.13). L'éprouvette doit être cubique, cylindrique ou prismatique. La dimension de l'arête ou du diamètre ne doit pas être inférieur à 150 mm. Pour notre travail on a utilisé

des éprouvettes cubiques ($15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$). La surface de l'éprouvette qui reçoit la pression d'eau est rendue rugueuse à l'aide d'une brosse métallique, immédiatement après le démoulage.



Figure III.12. Perméabilimètre à l'eau

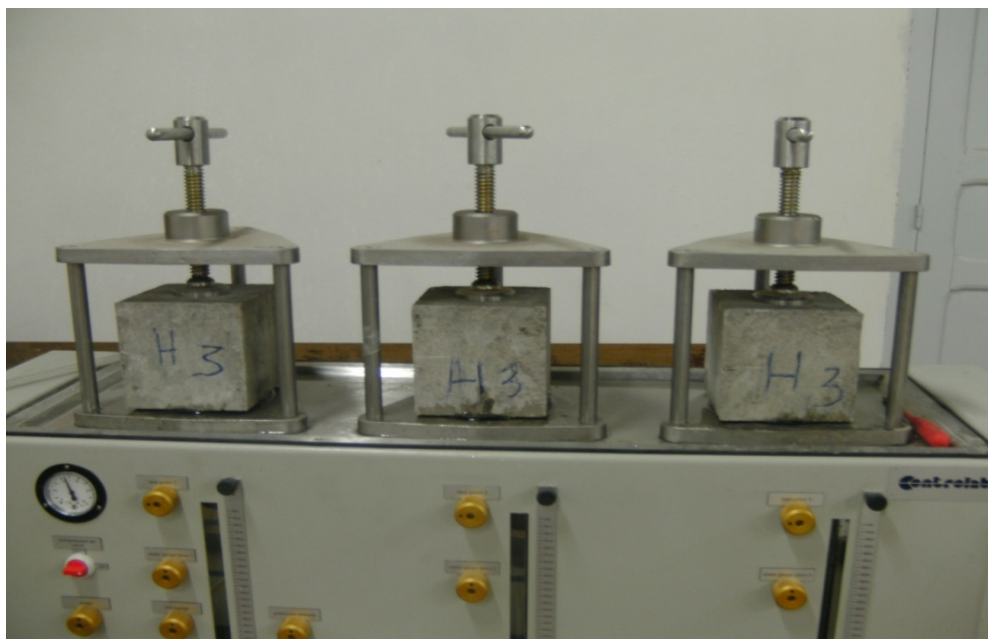


Figure III.13. Essai de perméabilité à l'eau

III.3.4.2. Mesure de perméabilité à l'air

Le système de test [73] utilisé pour déterminer la perméabilité à l'air est conçu d'une cellule de mesure et d'une unité de commande (Fig. III.14).

a-Description de la cellule de mesure

Le boîtier de base de cellule son couvercle et les pieds de support sont en aluminium. Le collier en polyuréthane permet de sceller la surface du spécimen de test. L'anneau de l'air comprimé est rempli à travers la soupape du tuyau à l'aide du manomètre à l'air comprimé.

b- Description de l'unité de commande

Le principal composant de l'unité de commande est constitué d'un cadre en aluminium.

Un manomètre de gaz de précision permet une mesure précise de la pression d'air.

La cellule de mesure est raccordée au système de test (système de mesure) par des raccords à connexion rapide. La montée des bulles d'air peut être observée au niveau des tubes de mesure capillaires. Les bulles nécessaires pour la mesure sont produites par des bulbes en caoutchouc.

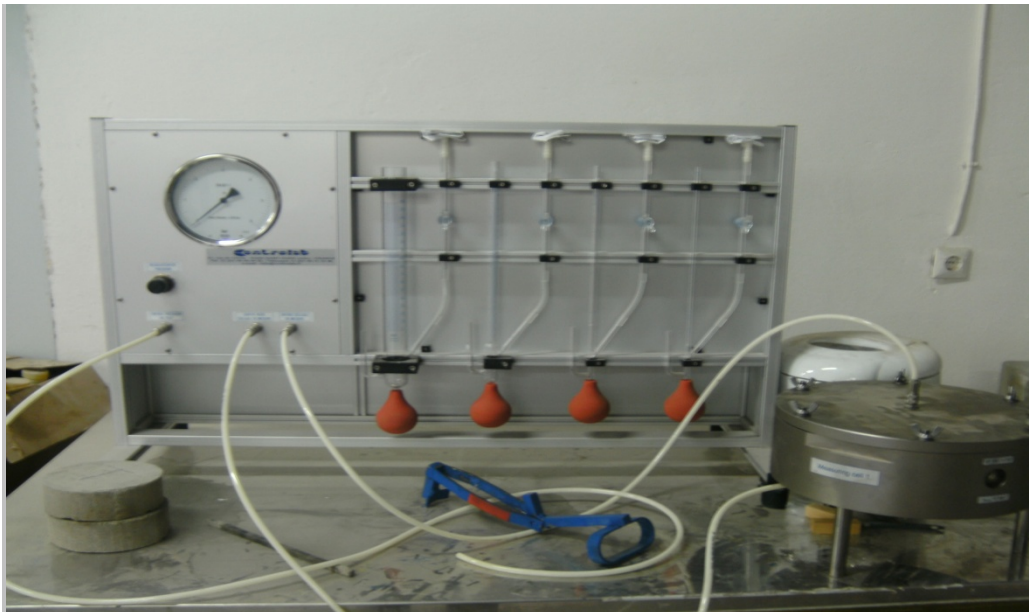


Figure III.14. Appareil pour mesurer la perméabilité à l'air (Compte-bulles)

c. Mode opératoire

Les spécimens cylindriques ont un diamètre de 150mm, et une hauteur de 50mm, les zones de surface cylindriques des spécimens de test identiques doivent être entourées d'un collier de raccordement serré en polyuréthane.

Les volumes des tubes de mesure capillaire sont : 1.5, 5, 20 et 160 cm³ et l'équation utilisée pour calculer le coefficient de perméabilité k (m²).

$$K = \eta \frac{2 Q P_0 h}{A (P^2 - P_a^2)} \text{ (m}^2\text{)}$$

Où:

K : le coefficient de perméabilité (m²)

h : hauteur du spécimen de test dans le sens du flux (en m)

A : La zone en coupe de spécimen de test (en m²)

η : la viscosité dynamique du gaz de test : air à 20°C $\eta = 1.82 \times 10^{-5}$ (Ns/m²)

Q: le débit du gaz de test dans le sens du flux (m³/s)

P: la pression d'entrée absolue (N/m²)

P_a: la pression de sortie (pour ce test, cela correspond à la pression atmosphérique N/m²)

P₀: la pression à la quelle le débit est mesuré en (N/m²), ici elle est équivalente à la pression d'entrée atmosphérique ($P_0 = P_a$).

Le coefficient de perméabilité *k* doit être séparément calculé pour le niveau de pression, il s'est avéré efficace de donner la valeur moyenne calculée à partir d'au moins 3 valeurs de *k* (qui sont mesurées pour les différents niveaux de pression).

Chapitre IV

Résultats et discussions

Chapitre IV. Résultats et discussions

IV.1. L'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 différents adjuvants utilisés (Tab. IV.1), on a observé que l'augmentation de l'affaissement est proportionnelle au dosage sauf pour le béton adjuvanté par un accélérateur de durcissement (BAC) où on observe une légère diminution de l'affaissement. Les valeurs maximales correspondent au dosage maximal.

Tous les bétons ont présenté des affaissements supérieurs à ceux des bétons témoins sauf les bétons BAC et BHYD (Fig IV.1). Cette remarque est valable pour les quatre dosages de l'accélérateur (0.5% ,1.0 % , 1.5 % et 2.0 %) et pour les trois premiers dosages de l'hydrofuge.

L'ouvrabilité du béton avec le superplastifiant est la plus élevée par rapport à tous les autres bétons adjuvantés et pour tous les dosages. Ces valeurs varient de 120 à 230 mm. Le superplastifiant change de comportement au 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 [74].

Le retardateur de prise donne des affaissements supérieures à ceux de l'accélérateur de durcissement, ce qui est logique, puisque le retardateur de prise son fonction consiste à augmenter le temps de prise du ciment pour éviter des raidissements (perte de maniabilité) précoces du béton, empêchant temporairement l'hydratation du ciment, donc en lui attribuant plus de plasticité lorsque le dosage augmente [7]. Par contre l'accélérateur de durcissement grâce à la forte accélération de la prise qu'il provoque, a diminué l'affaissement lorsqu'on augmente son dosage.

L'entraîneur d'air, connu pour son effet bénéfique à l'ouvrabilité [7], a donné des valeurs très importantes de l'affaissement qui varient de 75 mm à 140 mm.

Tableau IV.1. Affaissement des différents bétons adjuvantés

Affaissement (mm)						
Béton témoin BT	Dosage d'adjuvant (%)	Bétons adjuvantés				
		BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
58	0.5	59	47	120	50	75
	1.0	61	46	150	52	81
	1.5	63	43	190	55	90
	2.0	65	40	230	60	140

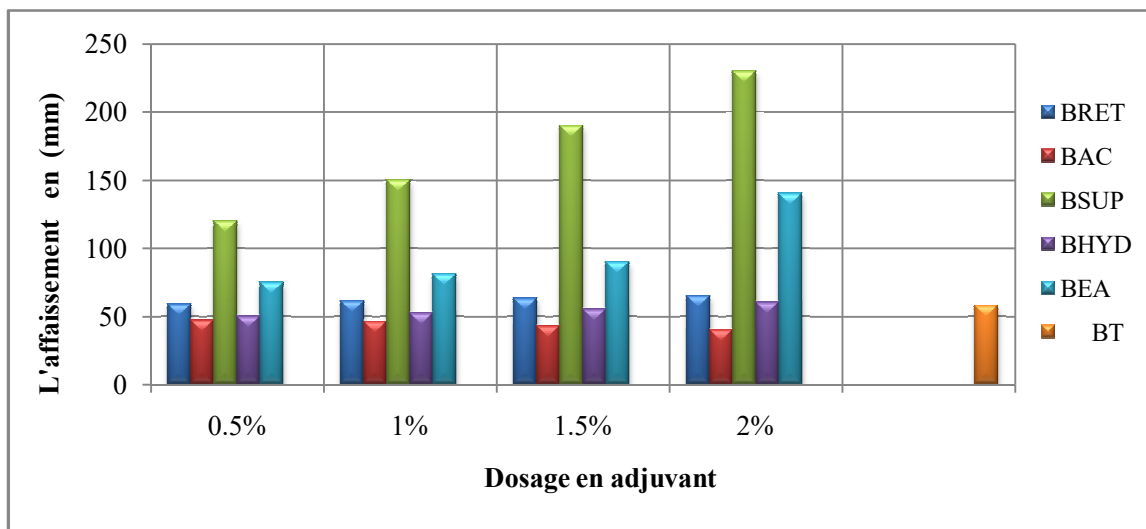


Figure IV.1. Affaissement des différents bétons

Donc on peut conclure que l'effet du dosage sur l'affaissement est plus important pour l'incorporation du superplastifiant et de l'entraineur d'air. On a doublé l'affaissement de ces bétons en faisant varier le dosage de 0.5 à 2%. L'effet du dosage sur l'affaissement restent relativement faible pour les autres adjuvants (moins de 20%). Comparativement au béton témoin, le superplastifiant et l'entraineur d'air provoquent des augmentations maximales respectivement de 400% et 240% tandis que les autres adjuvants provoquent des différences maximales se situant à 30%.

IV.2. Résistances à la compression

IV.2. 1. Béton adjuvanté par le retardateur de durcissement (BRET)

La résistance à la compression augmente avec l'augmentation du dosage en adjuvant (Fig IV.2). Le dosage de 0.5% n'a presque pas d'effet sur la résistance tandis qu'on a une augmentation de cette dernière de 7 %, 12% et 14 % par rapport au béton témoin, respectivement pour les dosages 1.0 %, 1.5% et 2% %.

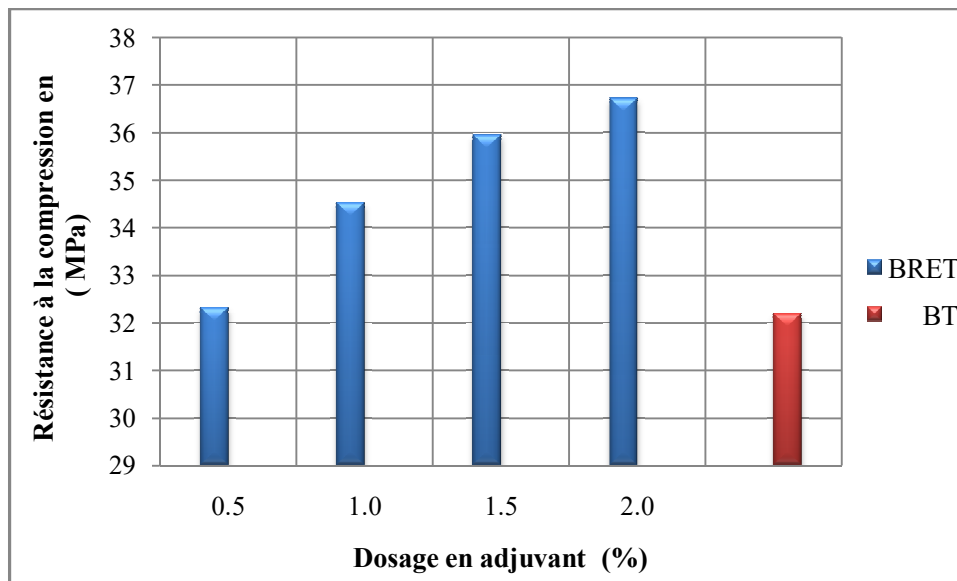


Figure IV.2. Evolution de la résistance à la compression du béton (BRET)

IV.2. 2. Béton adjuvanté par l'accélérateur de durcissement (BAC)

On observe un effet néfaste de l'accélérateur de durcissement sur la résistance même s'il est minime (Fig IV.3). On a 12% de chute maximale de la résistance (dosage de 2%) par rapport au béton témoin.

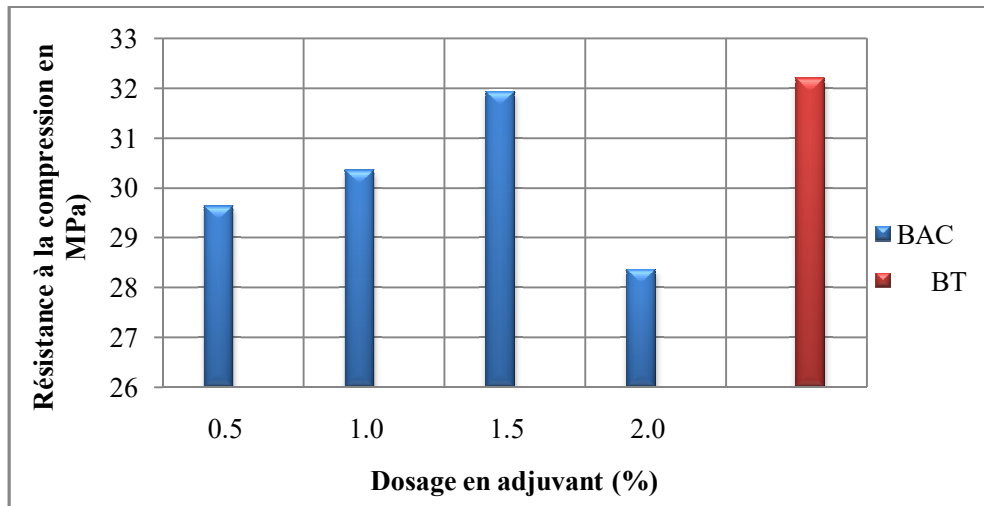


Figure IV.3 Evolution de la résistance à la compression du béton (BAC)

IV.2. 3. Béton adjuvanté par le superplastifiant (BSUP)

La résistance à la compression augmente avec l'augmentation du dosage en adjuvant (Fig V.4). Elle augmente 0.5%, 1.0%, 1.5% et 2.0% par rapport à la résistance du béton témoin.

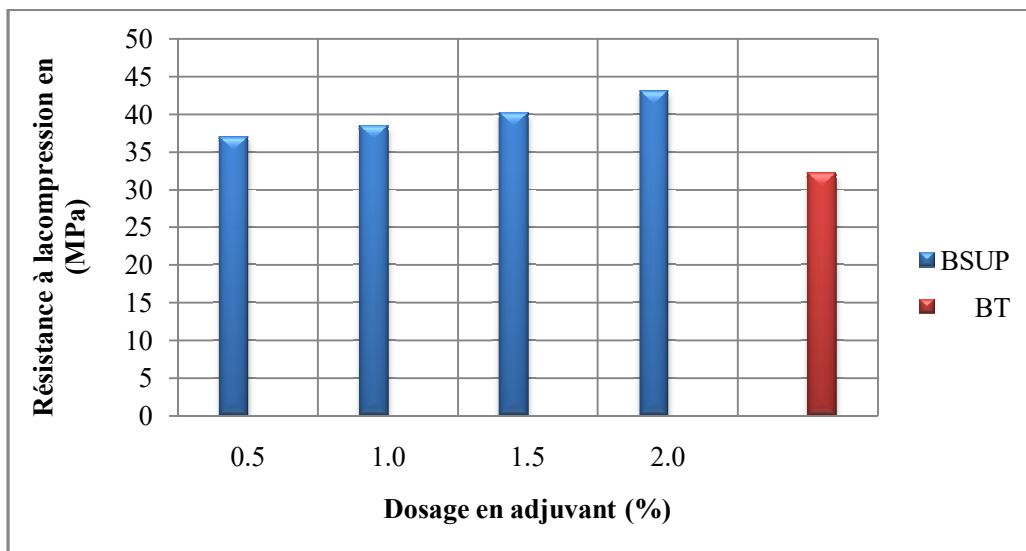


Figure IV.4. Evolution de la résistance à la compression du béton (BSUP)

IV.2. 4. Béton adjuvanté par l'hydrofuge (BHYD)

Contrairement à son effet sur l'ouvrabilité, l'hydrofuge n'a presque pas d'effet sur l'évolution de la résistance pour les dosages utilisés. On a une augmentation maximale de la résistance de 5% pour le dosage de 2% par rapport à la résistance du béton témoin (Fig IV.5).

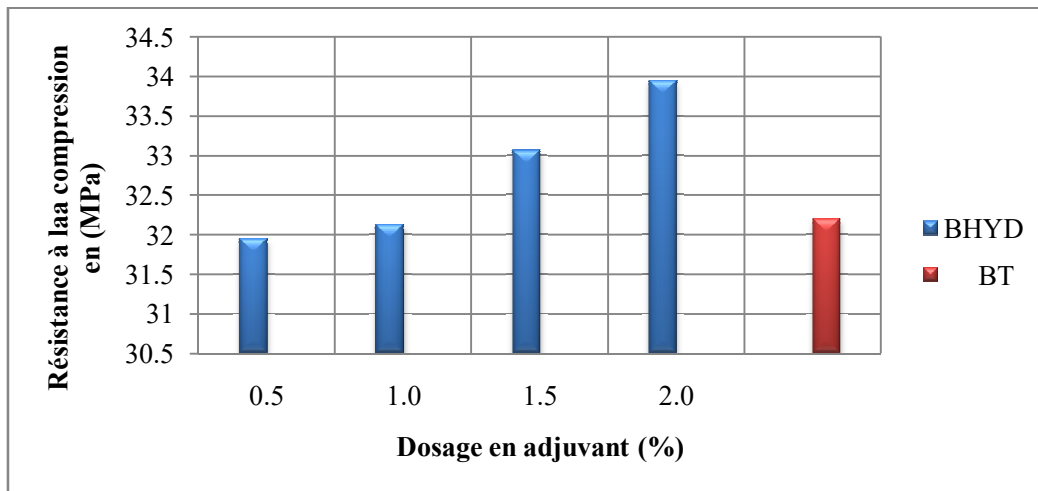


Figure IV.5. Evolution de la résistance à la compression du béton (BHYD)

IV.2. 5. Béton adjuvanté par le l'entraîneur d'air (BEA)

La résistance à la compression chute considérablement avec l'incorporation de l'entraîneur proportionnellement au dosage (Fig IV.6). Cette chute varie de 30 % pour le dosage de 0.5 % à 42 % pour le dosage de 2.0% par rapport à la résistance du béton témoin

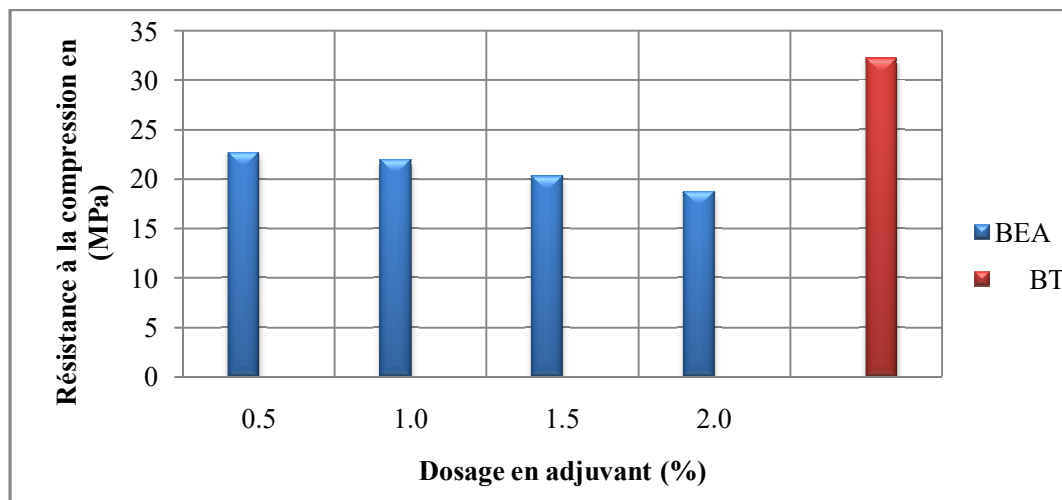


Figure IV.6. Evolution de la résistance à la compression du béton (BEA)

L'ensemble des résultats des résistances à la compression sont mentionnés dans le tableau IV.2 et illustrés par la figure IV.7. On constate que le béton avec le superplastifiant (BSUP) donne les valeurs les plus importantes où on a une augmentation de 33% par rapport à la résistance du béton témoin pour un dosage en superplastifiant de 2.0% (Fig IV.7). Cette augmentation est similaire à celle indiquée par plusieurs chercheurs [75, 76]. Le rôle du superplastifiant dans la distribution des grains de ciment et l'amélioration de la compacité du béton est mis en évidence [49].

L'hydrofuge donne des valeurs proches de celles du béton témoin, qui restent conformes aux normes ($> 85\%$ de la résistance du béton témoin). On remarque de légères augmentations des résistances de ce béton adjuvanté. L'augmentation de résistance s'accroît avec l'augmentation du dosage (Fig. IV.7).

L'accélérateur de durcissement conduit à de légères diminutions des résistances par rapport à celles du béton témoin pour les trois dosages (0.5%, 1.0% et 1.5%). Cette diminution atteint 12 % pour un dosage de 2%, donc le dosage optimal utilisé pour cet adjuvant est inférieur à 2.0%.

Les retardateurs peuvent agir en diminuant la vitesse d'hydratation de certains constituants anhydrides des ciments. Ce qui influe positivement sur les résistances mécaniques à la compression [7]. L'augmentation de résistance s'accroît avec l'augmentation de son dosage. L'effet néfaste sur la résistance à la compression est beaucoup plus important avec l'utilisation de l'entraîneur d'air (BEA), due à la l'élévation de la teneur en air qui a causé une diminution de la compacité et donc une diminution de la résistance. Ce béton présente une diminution de la résistance variant entre 30 % (pour le dosage 0.5 %) à 42 % (pour le dosage 2.0 %) par rapport à celle du béton témoin (Fig. IV.7). Donc une attention particulière est à prendre quant à l'utilisation de cet adjuvant. Les valeurs sortent de la plage autorisée par les normes (diminution $< 20\%$ de la résistance du béton témoin). Ce qui laisse penser que le dosage maximal de cet adjuvant préconisé doit être inférieur à 0.5 %.

Hormis l'entraîneur d'air, tous les adjuvants utilisés ont un effet bénéfique sur la résistance des bétons température ambiante.

Tableau IV.2. Résistances à la compression des différents bétons

Résistance en MPa						
Béton témoin BT	Dosage d'adjuvant (%)	Bétons adjuvantés				
		BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
32.20	0.5	32.32	29.63	36.95	31.95	22.70
	1.0	34.53	30.35	38.45	32.13	21.95
	1.5	35.95	31.94	40.16	33.07	20.30
	2.0	36.72	28.36	43.06	33.95	18.74

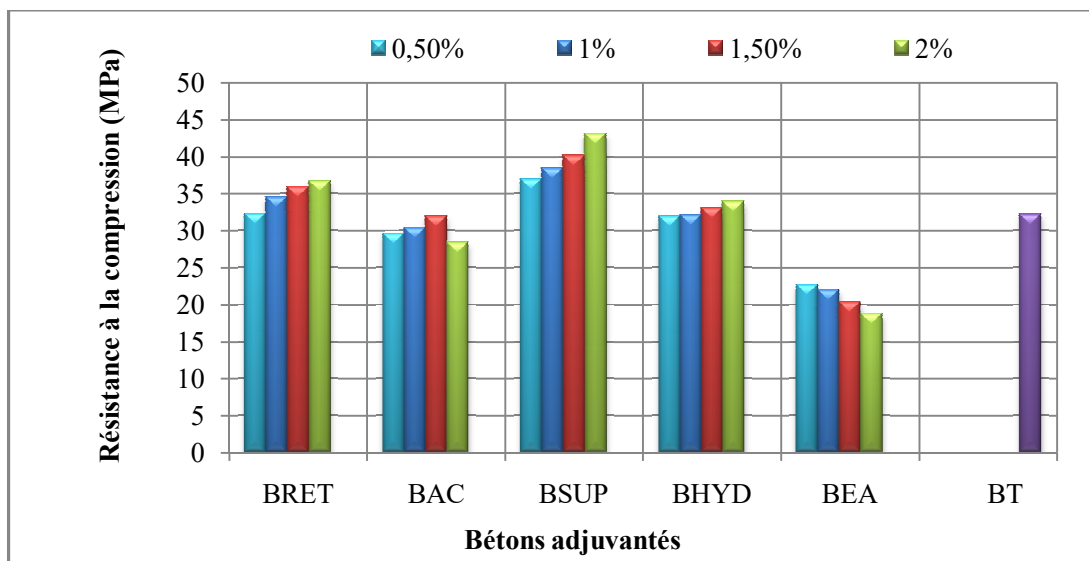


Figure IV.7. Résistances à la compression des différents bétons

IV.3. Evolution des résistances résiduelles aux hautes températures

L'ensemble des bétons (BT, BRET, BAC, BSUP, BHYD, BEA) a présenté une perte de résistance en passant d'une température d'ambiance (20 °C) à 105°C et puis à 300°C (Tab. IV.3). Ces pertes sont inférieures à 10 % et restent analogues à celles d'autres travaux antérieurs [49]. L'évolution de la résistance en compression présente une diminution entre 20°C et 105°C (Fig. IV.8) plus importante que celle entre 105°C et 300°C (Fig. IV.9).

Tableau IV.3. Evolution des résistances des bétons avec la température

Résistance en (MPa)							
T (°C)	Béton témoin	Dosage(%)	Bétons adjuvantés				
	BT		BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
20	32.20	0.5	32.32	29.63	36.95	31.95	22.70
105	31.55		31.42	29.16	36.17	31.02	22.30
300	31.39		30.85	28.82	35.98	30.64	22.03
20	32.20	1.0	34.53	30.35	38.45	32.13	21.95
105	31.55		33.23	30.05	37.95	31.20	21.41
300	31.39		32.73	29.71	37.63	30.85	21.29
20	32.20	1.5	35.95	31.94	40.16	33.07	20.30
105	31.55		34.67	31.32	39.52	32.31	19.98
300	31.39		34.31	31.13	39.42	31.92	19.68
20	32.20	2.0	36.72	28.36	43.06	33.95	18.74
105	31.55		35.77	28.09	42.45	33.11	17.78
300	31.39		35.42	27.85	42.28	32.76	17.11

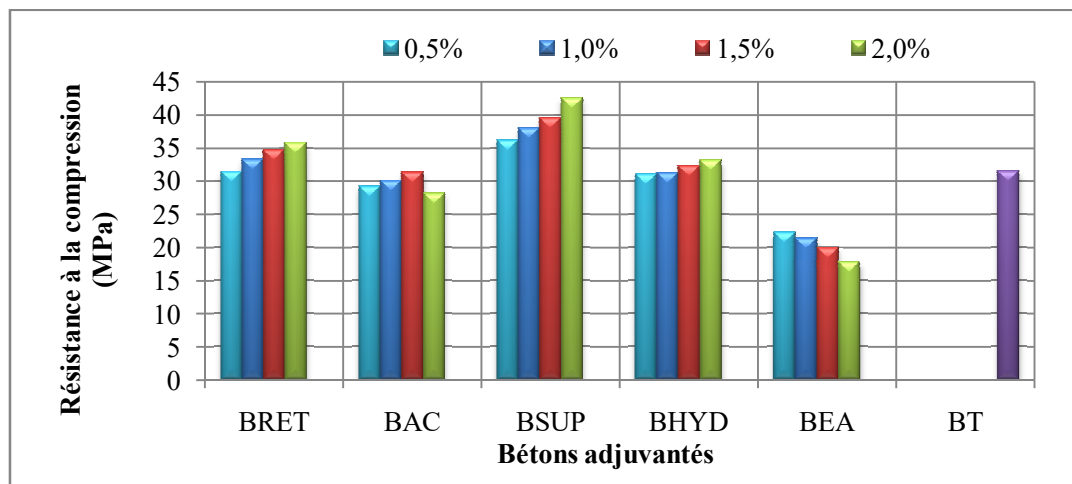


Figure IV.8. Résistances à la compression des différents bétons adjuvantés à T=105 °C

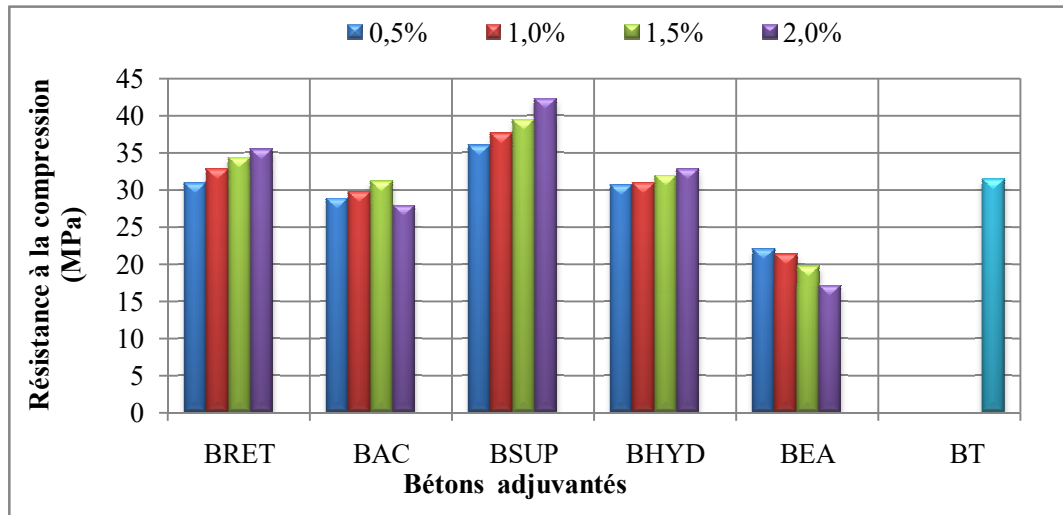


Figure IV.9. Résistances à la compression des différents bétons adjuvés à T=300 °C

La chute maximale, de la résistance en compression est obtenue à la température 300°C par le béton avec l'entraîneur d'air (BEA) dosé à 2.0 % (Fig. IV.15). Elle est de l'ordre de 8.70 % (Tab. IV.4). Les pertes de résistances les plus faibles sont celles des bétons avec superplastifiants BSUP (Fig. IV.13) à cette température qui reste inférieures à 3 % (Tab. IV.4). La baisse de résistance observée à 105 °C (Figs. IV.10-15) est causée par l'eau libre et une partie de l'eau adsorbée qui s'échappent du béton, elle est complètement éliminée, qui lors de la montée en température, se dilate et entraîne un écartement des feuillets du gel de CSH [19,42]. Cet écartement génère une réduction des forces de cohésion [77], l'affaiblissement des liaisons entre les hydrates entraînant une diminution de la résistance mécanique [78]. La résistance continue à démunier jusqu'à 300°C (Figs. IV.10-15) où on a la première étape de la déshydratation. L'eau liée chimiquement commence à s'échapper du béton [42].

Tableau IV.4. Résistances résiduelles relatives des bétons adjuvés aux températures de 105°C et 300 ° C

T (°C)	Béton témoin BT	Bétons adjuvés					
		Dosage (%)	BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
105	-2.0	0.5	-2.8	-1.6	-2.1	-2.9	-1.8
300	-2.5		-4.5	-2.7	-2.6	-4.1	-3.0
105	-2.0	1.0	-3.8	-1.0	-1.3	-2.9	-2.5
300	-2.5		-5.2	-2.1	-2.1	-4.0	-3.0
105	-2.0	1.5	-3.6	-1.9	-1.6	-2.3	-1.6
300	-2.5		-4,6	-2.5	-1.8	-3.5	-3.1
105	-2.0	2.0	-2,6	-1.0	-1.4	-2.5	-5.1
300	-2.5		-3.5	- 1.8	-1.8	-3.5	-8.7

(-): Perte de résistance

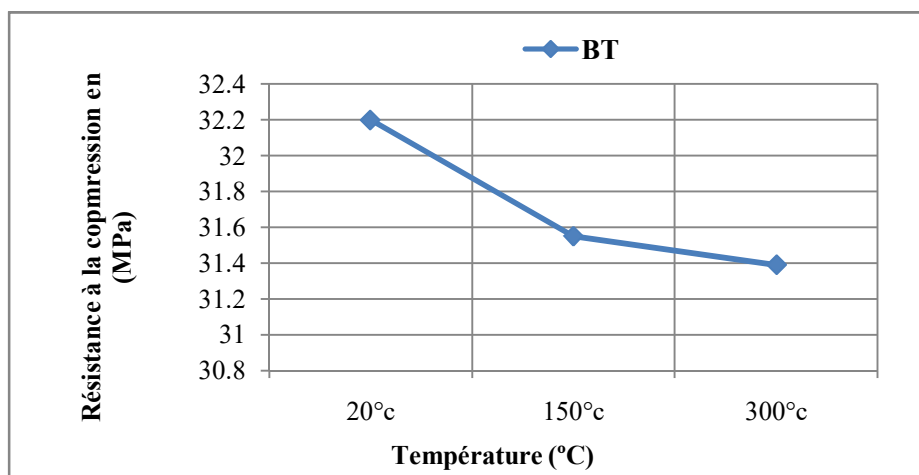


Figure IV.10. Evolution des résistances à la compression du béton témoin avec la température

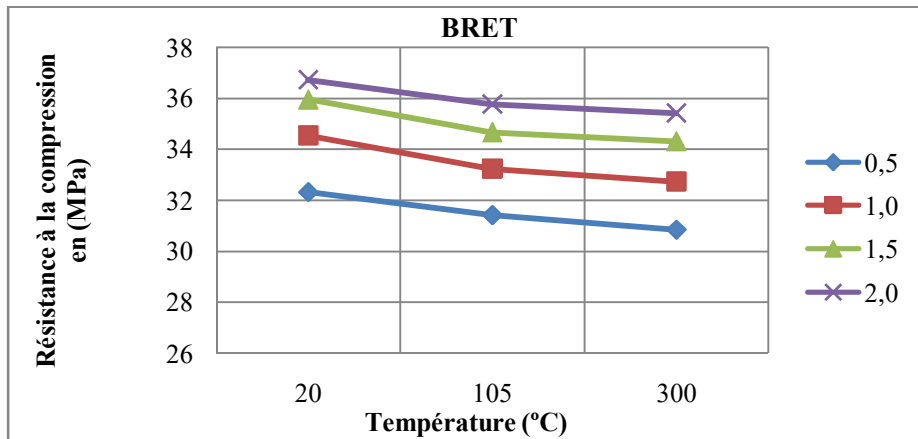


Figure IV.11. Evolution des résistances à la compression du béton BRET avec la température

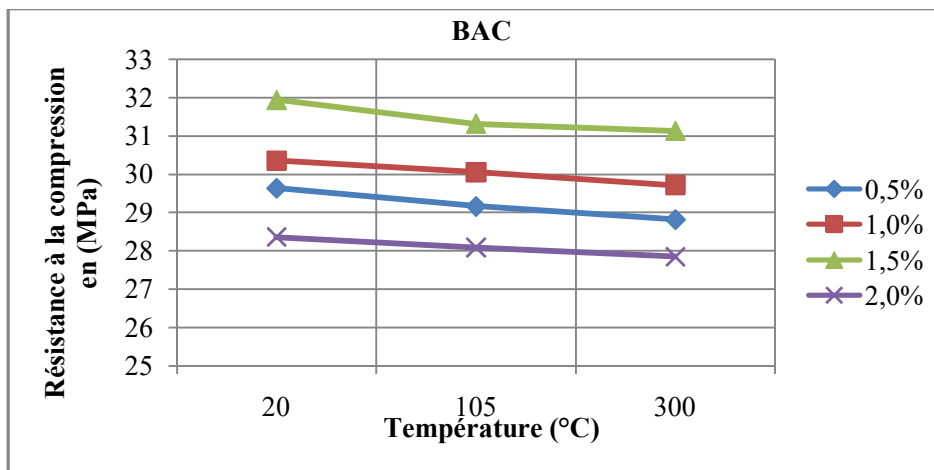


Figure IV.12. Evolution des résistances à la compression du béton BAC avec la température

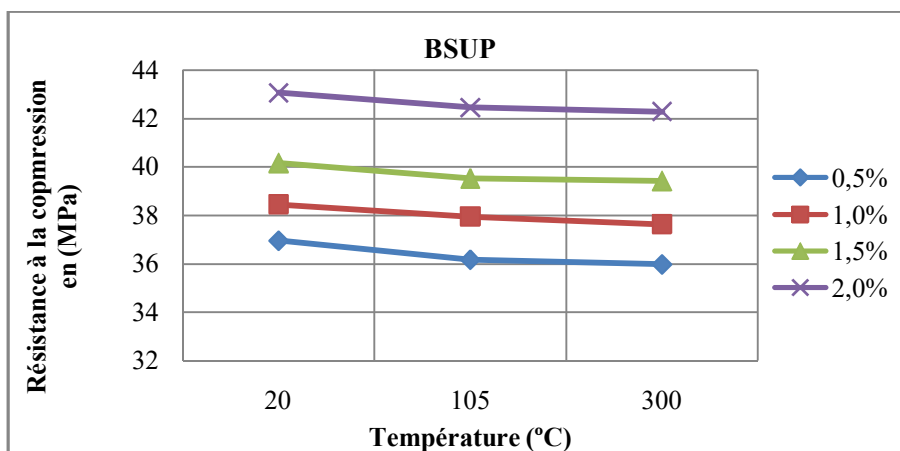


Figure IV.13. Evolution des résistances à la compression du béton BSUP avec la température

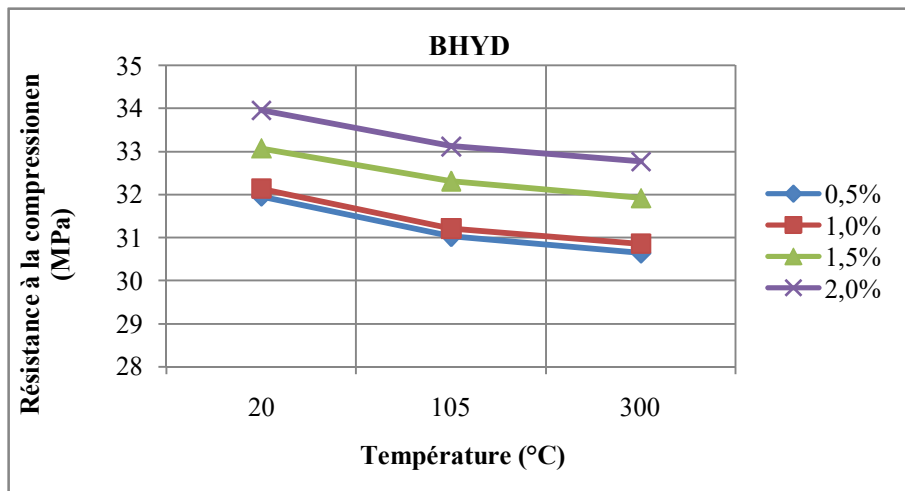


Figure IV.14. Evolution des résistances à la compression du béton BHYD avec la température

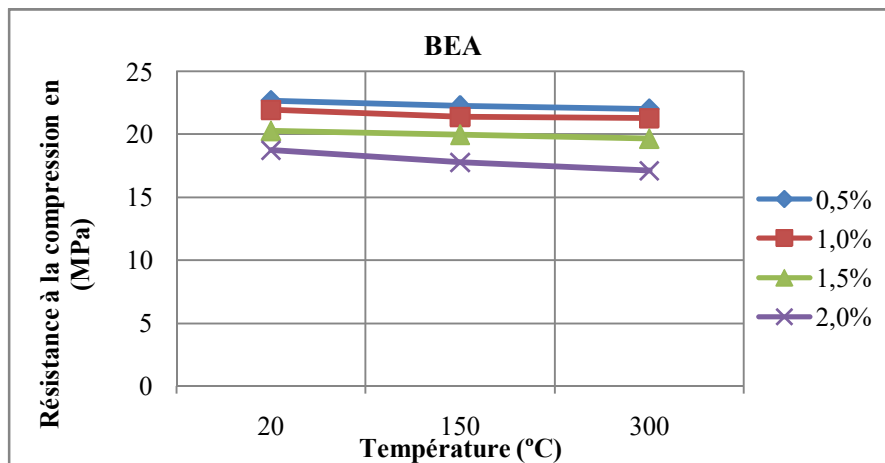


Figure IV.15. Evolution des résistances à la compression du béton BEA avec la température

IV.4. Pertes de masse

L'augmentation de la température jusqu'à 105 °C provoque l'évacuation de l'eau libre accessible, ce qui provoque une première perte de masse (Tab.IV. 11).

Tableau IV.5.Pertes de masse des différents bétons

Dosage en adjuvant (%)	Perte de masse à 105°C (%)					
	Bétons					
	BT	BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
0.5	3.32	3.29	3.67	2.85	3.27	4.04
1.0		3.16	3.43	2.79	3.22	4.21
1.5		3.03	3.25	2.63	3.13	4.51
2.0		2.92	3.50	2.40	3.10	5.49
Dosage en adjuvant(%)	Perte de masse à 300 °C (%)					
	Bétons					
	BT	BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
0.5	5.53	5.54	5.87	5.03	5.55	7.22
1.0		5.41	5.71	4.71	5.49	7.51
1.5		5.12	5.60	4.59	5.35	8.16
2.0		5.01	5.94	4.18	5.31	10.00

L'ensemble des bétons (BT, BRET, BAC, BSUP, BHYD, BEA) a présenté une perte de masse en passant d'une température d'ambiance à 105°C puis à 300°C. Les pertes de masse pour le béton témoin aux températures 105 et 300 °C sont respectivement de 3.32 % et 5.53 % (Figs IV. 16, 22 et 23).

Le béton adjuvanté par le superplastifiant (BSUP) présente les pertes de masse les plus faibles, ceci pour les quatre dosages en adjuvant (Figs IV. 19, 22 et 23). Ce qui confirme les résultats des résistances. Ces pertes aux températures 105 et 300 °C sont respectivement de 2.40 % et 4.18 %, elles sont obtenues par le dosage maximal de 2.0 %. La même remarque est à faire pour l'utilisation du retardateur de prise (RET), les pertes sont inférieures ou égales à celle du béton témoin pour les quatre dosages en adjuvant (Figs IV. 17, 22 et 23). Les pertes les plus faibles à 105 et à 300 °C sont respectivement de 2.92 % et 5.01%, elles sont obtenues aussi par le dosage max (2.0 %). L'hydrofuge (HYD) aussi provoque des pertes de masse inférieures à celle du béton témoin pour les quatre dosages en adjuvant (Figs IV. 20, 22 et 23), avec des pertes de 3.10 % et 5.31% respectivement à 105 et 300°C pour le dosage maximal. L'accélérateur de durcissement (AC) conduit à des pertes plus importantes que celles du béton témoin (Fig IV. 18, 22 et 23). Les pertes les plus importantes sont obtenues par le béton

adjuvanté par l'entraîneur d'air (Figs. 21, 22 et 23) avec des pertes maximales à 105 et à 300 °C respectivement de 5.49 % et 10 pour le dosage max (2.0 %). Ce qui confirme les résultats des résistances.

On remarque que le processus de perte de masse est conforme à la description avancée par plusieurs travaux [2,43,46, 55, 57, 79 et 80]. Généralement, ce processus se déroule en trois étapes liées à la perte d'eau dans le béton de la température ambiante jusqu'à 100 - 150°C, il y a une faible perte de masse due au départ de l'eau libre contenue dans le béton [19].

Entre 150 et 300°C, la perte de masse continue généralement à augmenter. Ceci est lié au départ de l'eau contenue initialement dans les hydrates C-S-H et à la décomposition du gypse (CaSO4 2H2O). Jusqu'à 300°C, le béton perd approximativement 65 à 80 % de la masse d'eau totale [2,19, 77, 79 et 80].

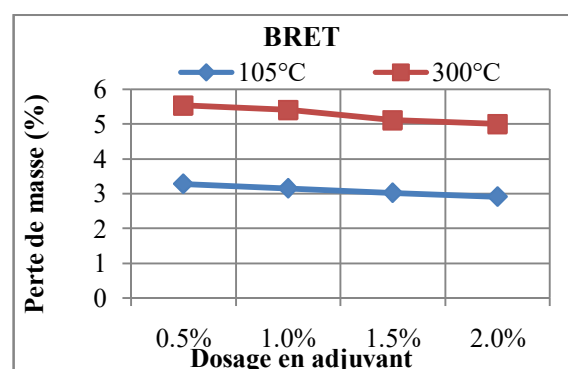
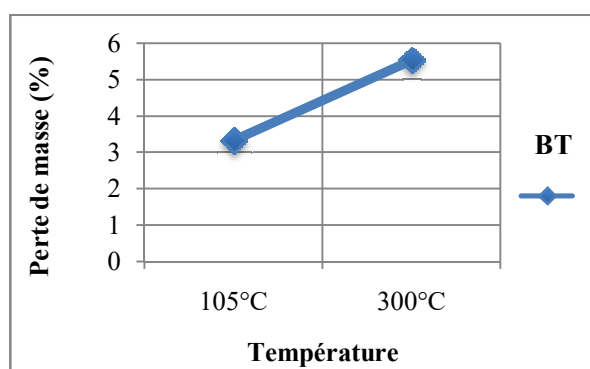


Fig.6. Variation de la masse du béton témoin(BT)

Figure IV.16. Variation de la masse du béton témoin (BT) à 105 °C et à 300 °C

Figure IV.17. Variation de la masse du béton adjuvanté (BRET) à 105 °C et à 300 °C

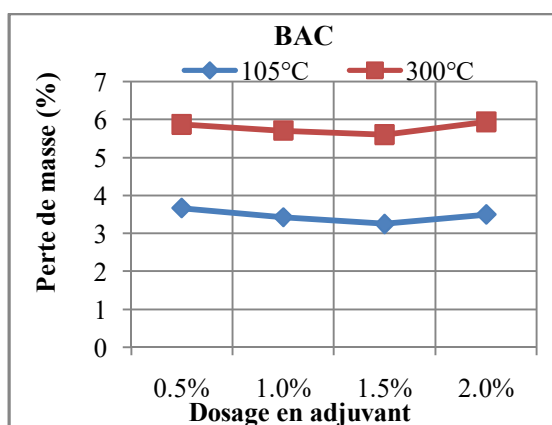


Figure IV.18. Variation de la masse du béton adjuvanté (BAC) à 105°C et à 300 °C

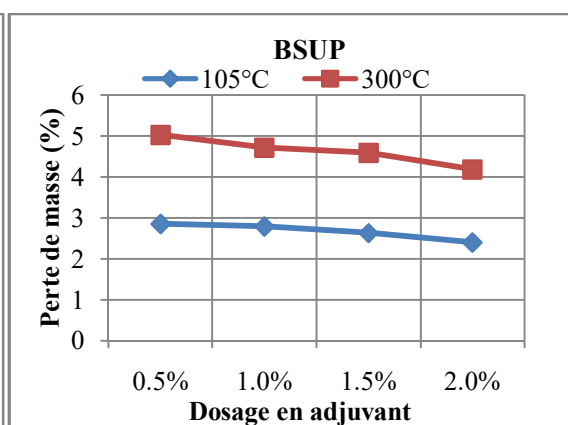


Figure IV.19. Variation de la masse du béton adjuvanté (BSUP) à 105°C et à 300 °C

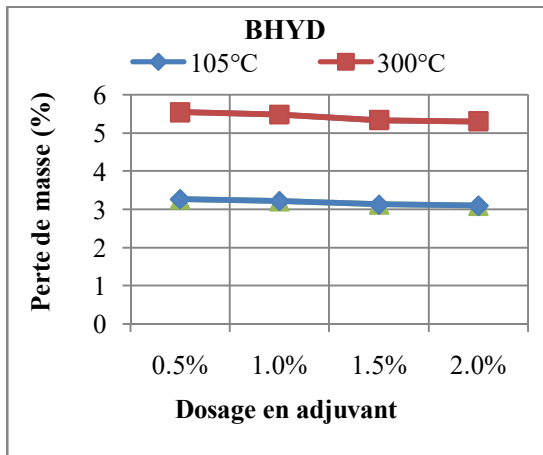


Figure IV.20. Variation de la masse du béton adjuvanté (BHYD) à 105°C et à 300 °C

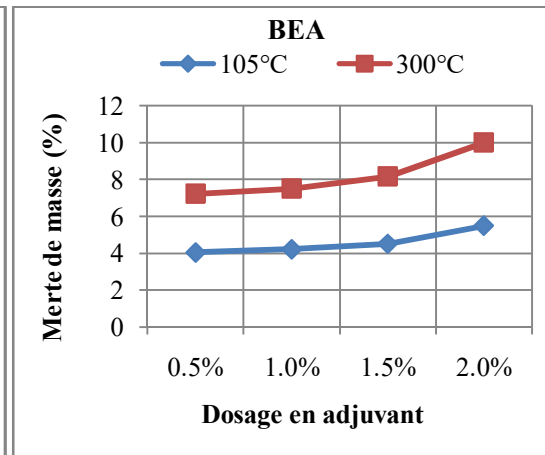


Figure IV.21. Variation de la masse du béton adjuvanté (BEA) à 105°C et à 300 °C

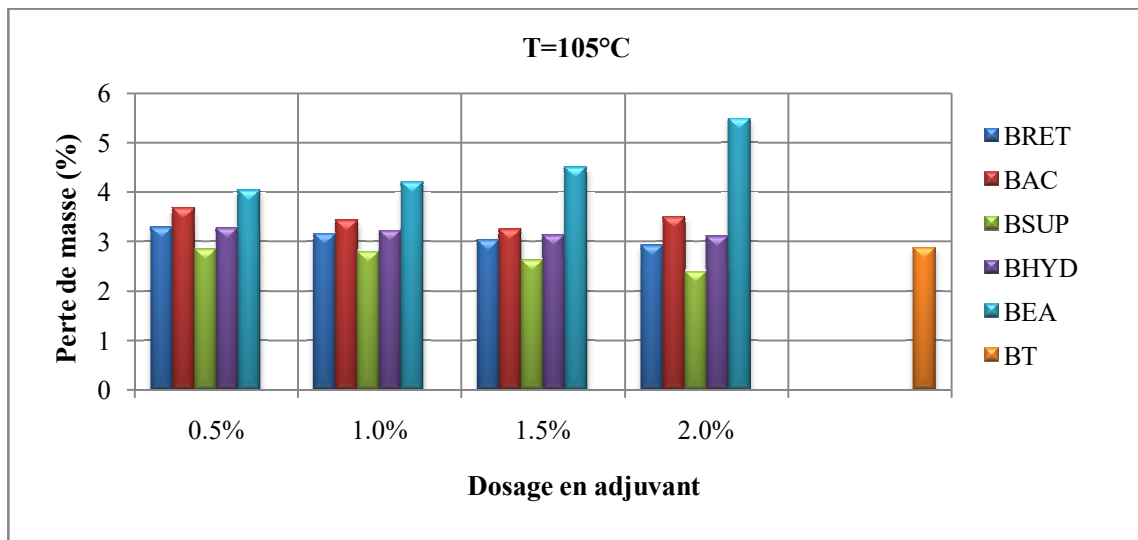


Figure IV.22. Variation de la masse des différents bétons à 105 °C

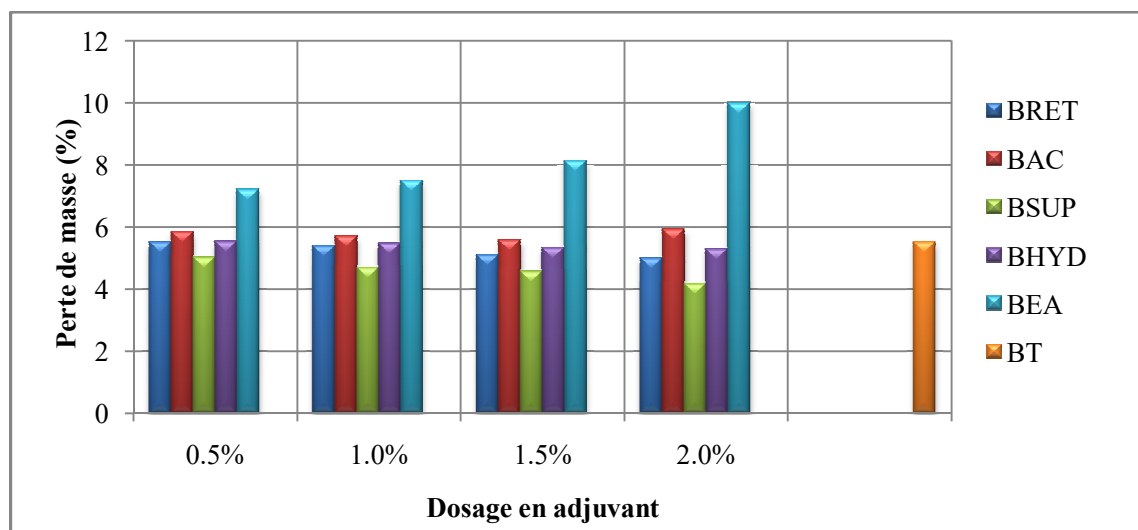


Figure IV.23. Variation de la masse des différents bétons à 300 °C

IV.5. Résistance à la compression des des différents bétons adjuvantés dans deux milieux agressifs

Cette partie de l'étude concerne l'effet des différents adjuvants sur la résistance du béton conservé dans deux milieux agressifs différents, à savoir l'eau de mer et une solution de sulfate de sodium.

IV.5.1. Résistance à la compression des bétons adjuvantés conservés dans l'eau de mer

Les résultats de la résistance à la compression des éprouvettes conservées dans l'eau de mer sont mentionnés dans le tableau IV.12 et illustrés par les figures (IV.24- 29).

D'après les résultats obtenus pour les différents bétons, on a observé une diminution de la résistance, elle est proportionnelle à la durée de conservation dans ce milieu, sauf pour les bétons (BSUP) et (BHYD) où on observe des gains de résistance (Tab. IV.13). Ces tendances de résistances vont dans le même sens que celles trouvés par Guetari [23].

Des ions en provenance de ce milieu peuvent transiter dans la phase liquide interstitielle du béton provoquant ainsi des réactions chimiques de dissolution ou de précipitation et donc une lixiviation progressive des hydrates [1]. On a un lessivage des produits solubles de la pâte de ciment durcie (portlandite, ettringite, monosulfoaluminate de calcium hydraté, C-S-H) [81], ce qui diminue la résistance à l'exception, des bétons adjuvantés (BSUP) et (BHYD). Ces derniers présentent des augmentations de résistance. L'augmentation de la résistance des ces deux bétons acquises par l'augmentation de leur âge est plus importante à sa perte due l'agressivité de l'eau de mer.

Les diminutions de résistance pour le béton témoin conservé dans l'eau de mer après 90 jours et 180 jours sont respectivement l'ordre de 9 % et 17 % par rapport à celles à 30 jours.

L'entraîneur d'air conduit une diminution de résistances. Mais les diminutions des résistances les plus importantes sont obtenues par le béton adjuvanté par l'accélérateur de durcissement (BAC), elle est de l'ordre de 25 % pour le dosage max (2.0 %) à l'âge de 180 jours. Ce béton subi des phénomènes inverses à ceux du béton adjuvanté en superplastifiant. On a une acquisition rapide de la résistance maximale et donc le séjour dans l'eau de mer est plus nuisible.

Tableau IV.6. Résistance à la compression des bétons adjuvantés agressés par l'eau de mer

Résistance (MPa)							
Durée de conservation (j.)	Béton témoin	Bétons adjuvantés					
	BT	Dosage (%)	BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
30	29.30	0.5	30.85	27.45	34.05	30.85	20.75
90	26.65		29,8	23.75	35,7	33.08	18.13
180	24.31		28,31	20.96	38,13	37.15	16.33
30	29.30	1.0	32.73	27.83	35.56	31.25	20.03
90	26.65		31,11	24.30	37,03	33.70	17.45
180	24.31		30,05	20.89	39,63	37.50	15.81
30	29.30	1.5	34.31	27.70	36.26	31.83	17.73
90	26.65		32,51	23.57	37,90	33.95	16.83
180	24.31		31,12	21.19	40,01	38.01	15.73
30	29.30	2.0	35.42	27.91	37.33	32.60	17.09
90	26.65		33,86	24.34	38,90	34.13	16.02
180	24.31		31,96	21.12	40,85	38.65	15.07

Tableau IV.7. Evolution des résistances relatives des bétons adjuvantés agressés par l'eau de mer

Résistance relative (%)							
Durée de conservation (j.)	Béton témoin BT	Bétons adjuvantés					
		Dosage (%)	BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
90	-9,04	0.5	-3,40	-13,48	+ 4,85	+ 7,23	-12,63
180	-17,03		-8,23	-23,64	+ 11,98	+ 20,42	-21,30
90	-9,04	1.0	-4,95	-12,68	+ 4,13	+ 7,84	-12,88
180	-17,03		-8,19	-24,94	+ 11,45	+ 20,00	-21,07
90	-9,04	1.5	-5,25	-14,91	+ 4,52	+ 6,66	-5,08
180	-17,03		-9,30	-23,50	+ 10,34	+ 19,42	-11,28
90	-9,04	2.0	-4,40	-12,79	+ 4,21	+ 4,69	-6,26
180	-17,03		-9,77	-24,33	+ 9,43	+ 18,56	-11,82

(+): Gain de résistance , (-): Perte de résistance

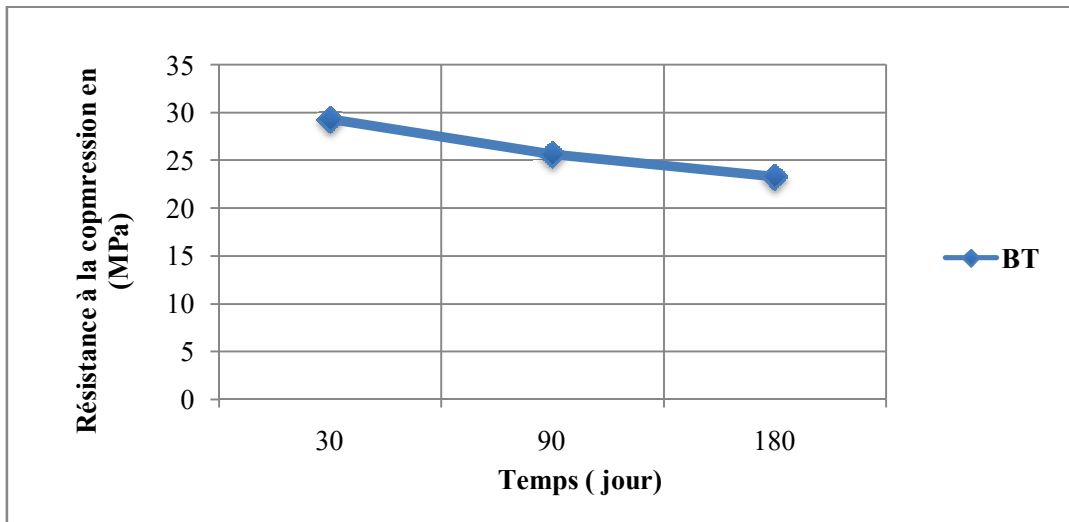


Figure IV.24. Résistance à la compression du béton témoin (BT) conservé dans l'eau de mer.

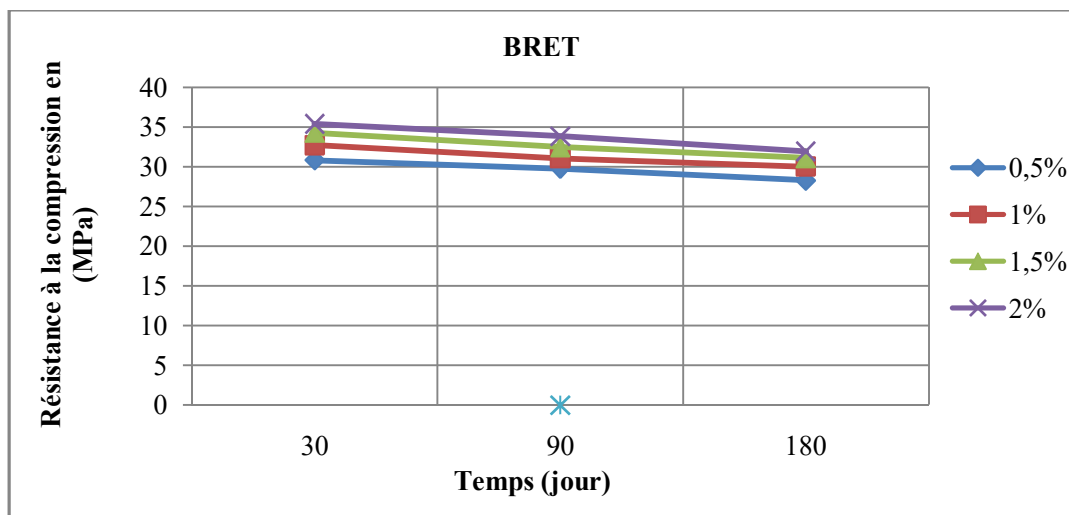


Figure IV.25. Résistance à la compression de béton (BRET) conservé dans l'eau de mer

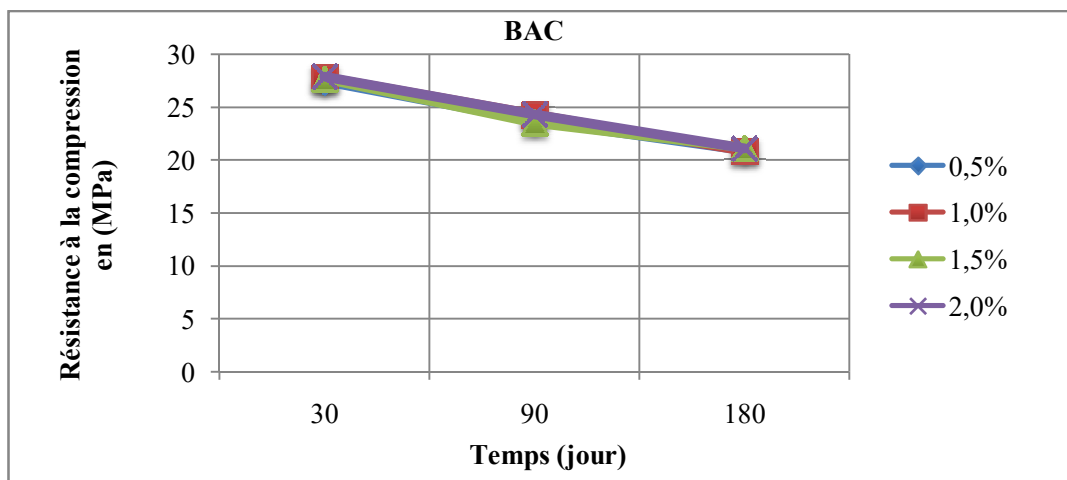


Figure IV.26. Résistance à la compression de béton (BAC) conservé dans l'eau de mer

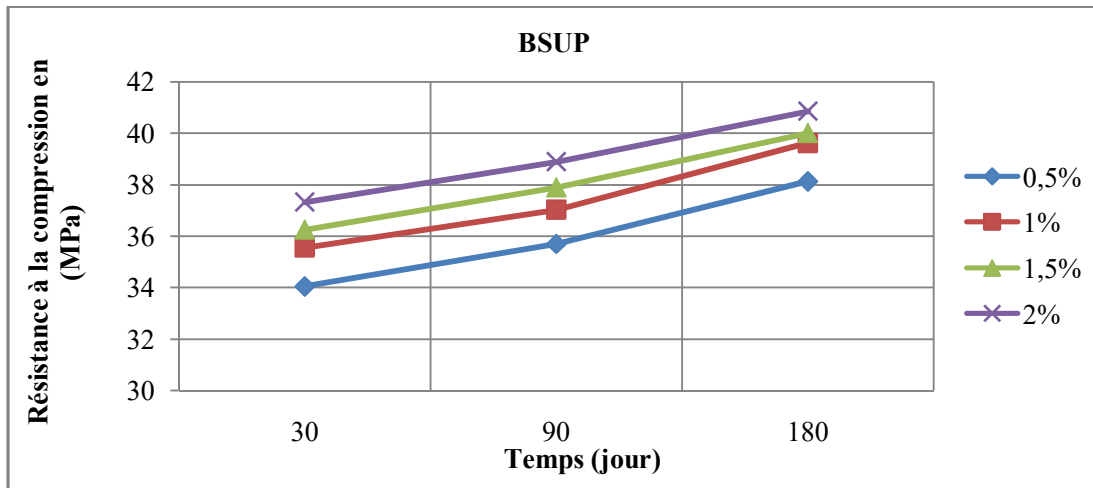


Figure IV.27. Résistance à la compression de béton (BSUP) conservé dans l'eau de mer

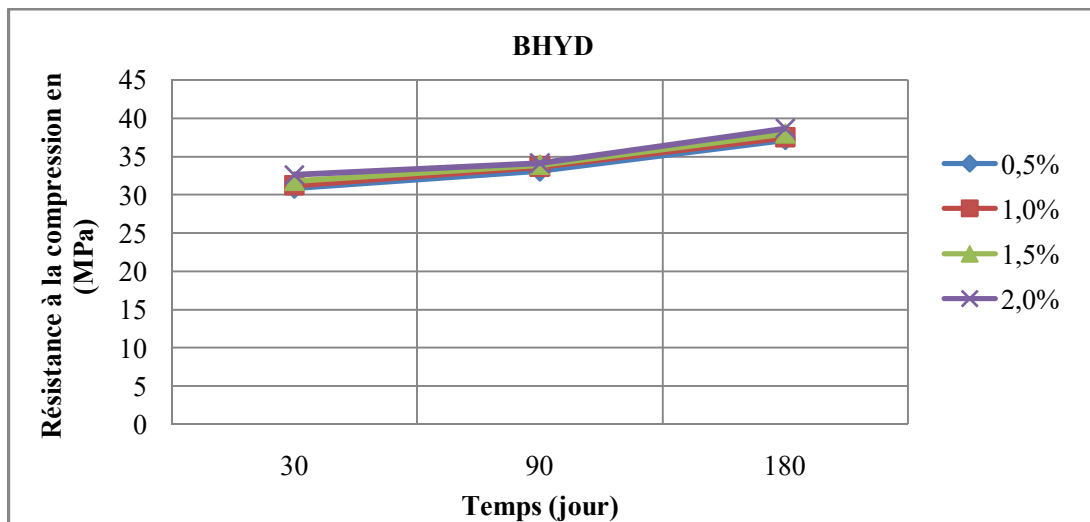


Figure IV.28. Résistance à la compression de béton (BHYD) conservé dans l'eau de mer

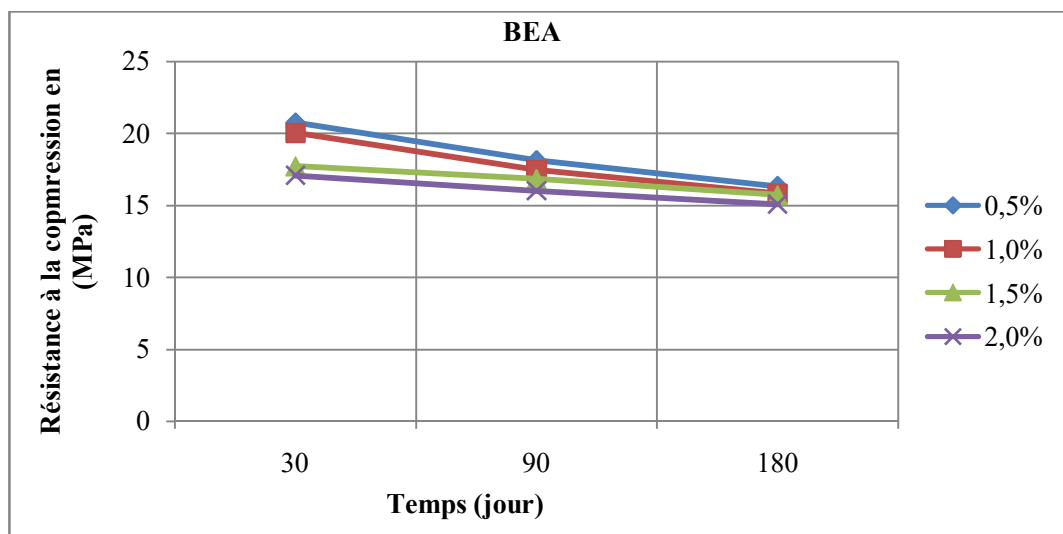


Figure IV.29. Résistance à la compression de béton (BEA) conservé dans l'eau de mer

IV.5.2. Résistance à la compression des bétons adjuvantés agressés par du sulfate de sodium (Na_2SO_4 à 5%)

Les résultats de la résistance à la compression des éprouvettes conservées dans la solution de sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%) sont mentionnés dans le tableau IV.14 et illustrés par les figures (IV.30 à 35). D'après les résultats obtenus pour les bétons BEA et BHYD, il est observé des gains de résistances proportionnelles à la de conservation dans ce milieu.

Les résultats indiquent aussi des gains de résistances, à la compression pour les bétons BT, BRET et BSUP à 90 jours. Au delà de ce temps, on a observé une réduction de la résistance après 180 jours de conservation dans ce milieu (Tab.IV.15). Ces résultats ont les mêmes tendances que les travaux de plusieurs chercheurs [82]. L'augmentation de la résistance jusqu'à 90 jours pour les bétons BT, BRET, BSUP, BHYD et BEA semble être due à l'hydratation continue des produits anhydres de ciment et à la réaction de Na_2SO_4 avec $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pour former le gypse et l'ettringite, qui complètent les micropores menant à une structure plus compacte, ce qui conduit à une augmentation des résistances mécaniques à la compression.

La très légère diminution de la résistance pour les bétons BT, BRET et BSUP, à 180 jours de conservation indique l'effet d'expansion de l'attaque de sulfate, la formation d'un hydrate sulfaté gonflant conduit à la création des microfissures signe d'une déstructuration ultérieure du matériau [83-85].

L'augmentation successive de la résistance pour les bétons BEA et BHYD conservées dans la solution de sulfate de sodium, à 90 jours et à 180 jours, indique que l'hydrofuge de masse HYD et l'entraîneur d'air EA ont un effet bénéfique pour les résistances mécaniques à la compression [5].

L'hydrofuge de masse provoque de particules très fines qui, en se gonflant viennent combler les pores se trouvant dans le béton, diminuant ainsi l'absorption capillaire des bétons [14].

Les diminutions des résistances les plus importantes sont celles des bétons adjuvantés par l'accélérateur de durcissement (BAC), elle est de l'ordre de 15 % pour le dosage max (2.0 %) après 180 jours de conservation.

Les pertes des résistances dans les deux milieux agressifs dues à l'altération chimique des matrices cimentaires sont les causées par phénomènes de dissolution des hydrates ou décalcification progressive de la pâte de ciment et la diffusion des ions de la solution interstitielle. On a une dissolution de la portlandite par contact avec la solution aqueuse, puis une dissolution progressive des C-S-H [23]. La dégradation chimique du béton a des conséquences d'ordre macroscopiques et en particulier d'ordre mécanique en provoquant une

chute de résistance et de rigidité. On a aussi une fissuration et un affaiblissement des propriétés liantes conduisant à la modification de la porosité [21].

Tableau IV.8. Résistance à la compression des bétons adjuvantés agressés par solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%).

Résistance (MPa)							
Durée de conservation (j.)	Béton témoin	Bétons adjuvantés					
	BT	Dosage (%)	BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
30	28.35	0.5	30.85	26.63	35.55	31.07	21.85
90	29.83		32,51	24.87	38,13	33.85	22.80
180	28.52		31,14	24.03	37,1	38.37	23.40
30	28.35	1.0	32.73	26.93	37.51	31.88	20.78
90	29.83		34,85	25.13	39,98	34.25	21.35
180	28.52		33,08	24.59	38,63	38.84	22.80
30	28.35	1.5	34.31	26.98	39.89	32.25	18.43
90	29.83		35,89	24.56	42,18	34.96	18.58
180	28.52		34,53	24.08	41,11	38.75	18.90
30	28.35	2.0	35.42	27.12	41.95	32.81	17.88
90	29.83		37,05	24.19	44,89	35.65	18.03
180	28.52		36,22	23.13	43,85	39.10	18.47

Tableau IV.9. Evolution des résistances relatives des bétons adjuvantés agressés par le sulfate de sodium (Na_2SO_4 à 5%)

Durée de conservation (J.)	Béton témoin BT	Bétons adjuvantés					
		Dosage (%)	BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
90	+ 5,22	0.5	+ 5,38	- 6,61	+ 7,26	+ 8,95	+ 4,35
180	+ 0,60		+ 0,94	- 9,76	+ 4,36	+ 23,50	+ 7,09
90	+ 5,22	1.0	+ 6,48	- 6,68	+ 6,58	+ 7,43	+ 2,74
180	+ 0,60		+ 1,07	- 8,69	+ 2,99	+ 21,83	+ 9,72
90	+ 5,22	1.5	+ 4,61	- 8,97	+ 5,74	+ 8,40	+ 0,81
180	+ 0,60		+ 0,64	- 10,75	+ 3,06	+ 20,16	+ 2,55
90	+ 5,22	2.0	+ 4,60	- 10,80	+ 7,01	+ 8,66	+ 0,84
180	+ 0,60		+ 2,26	- 14,71	+ 4,53	+ 19,17	+ 3,30

(+): Gain de résistance , (-): Perte de résistance

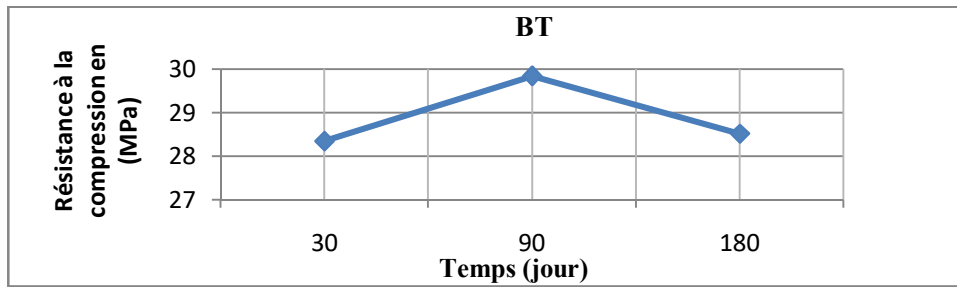


Figure IV.30. Résistance à la compression du béton témoin (BT) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)

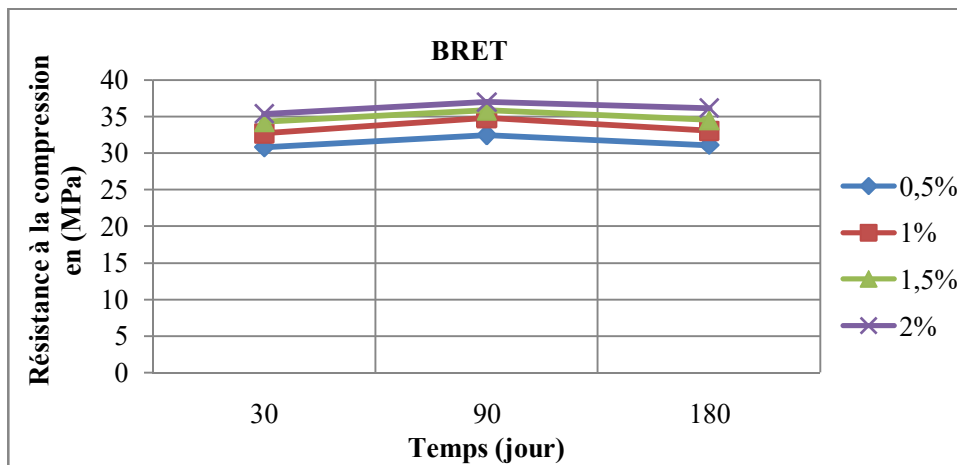


Figure IV.31. Résistance à la compression du béton (BRET) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)

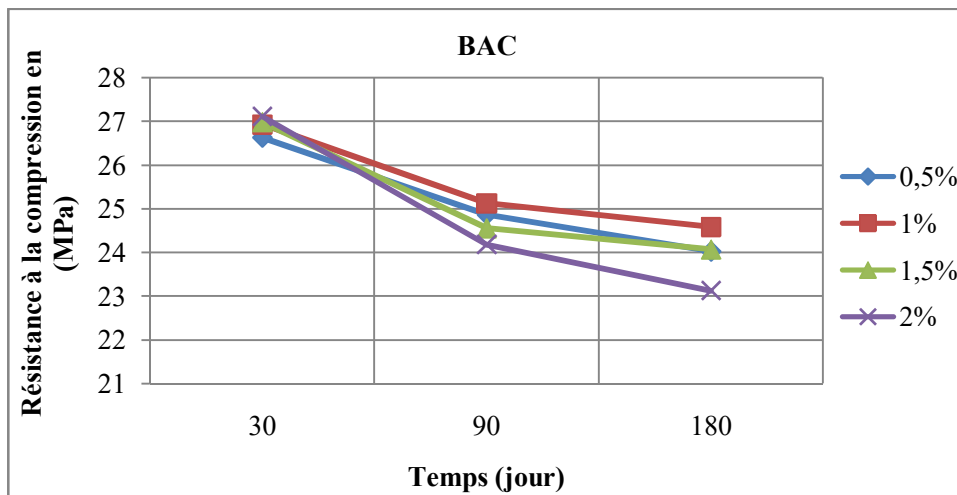


Figure IV.32. Résistance à la compression du béton (BAC) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)

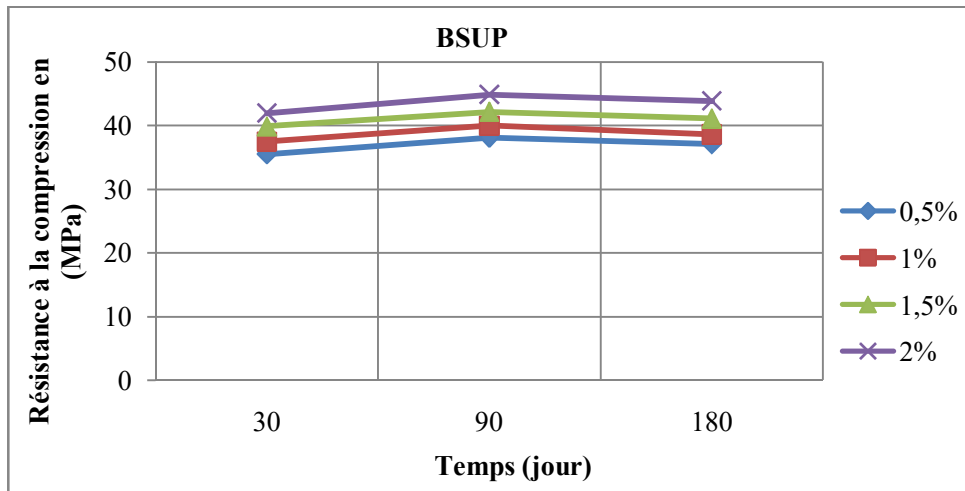


Figure IV.33. Résistance à la compression du béton (BSUP) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)

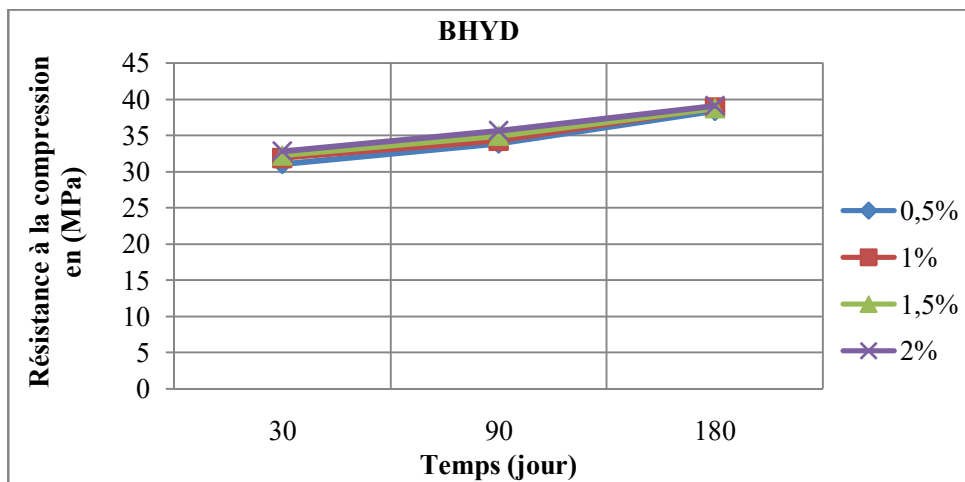


Figure IV.34. Résistance à la compression du béton (BHYD) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)

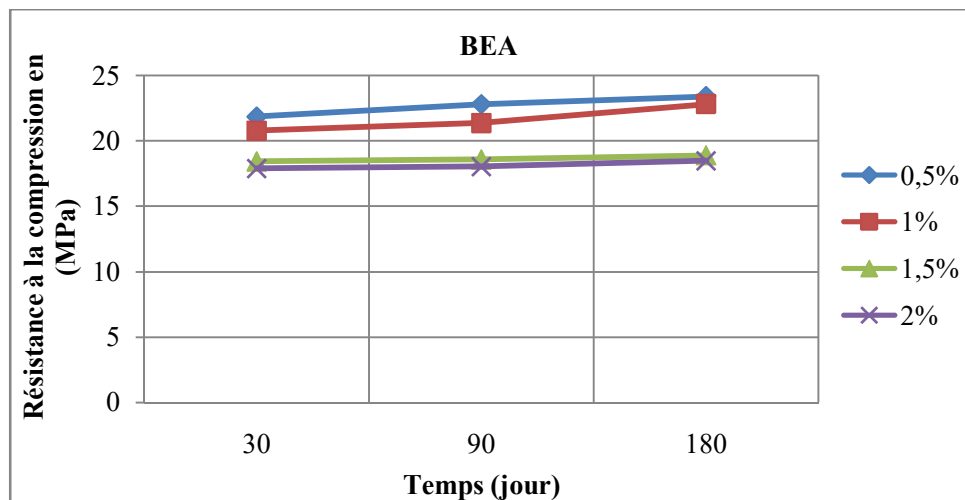


Figure IV.35. Résistance à la compression du béton (BEA) conservé dans la solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%)

IV.6. Perméabilités des bétons

Les perméabilités à l'eau et aux gaz sont des indicateurs principaux de la durabilité des bétons. L'incorporation des différents adjuvants dans les bétons peuvent des effets différents sur ces deux propriétés de transfert.

IV.6.1. Perméabilité à l'eau

L'effet du dosage des différents adjuvants sur la profondeur de pénétration d'eau dans les bétons est résumé par le tableau IV.16 et illustré par la figure IV.36:

La profondeur de pénétration d'eau présente une diminution, pour les bétons adjuvantés BRET, BSUP et BHYD, proportionnellement au dosage en adjuvant utilisé.

Par contre on obtient une augmentation des profondeurs de pénétration d'eau pour les bétons adjuvantés BAC et BEA, toujours proportionnellement eau dosage [7]. L'entraînement d'air favorise l'étanchéité mais a peu d'effet sur la perméabilité comme le note Goran [86]. Les bétons BSUP, BHYD ont présenté les profondeurs de pénétration d'eau inférieure à celle du béton témoin [7]. Par contre pour les bétons BAC et BEA, on observe un effet inverse qui est similaire aux résultats des résistances et de porosité. Ces derniers bétons ont présenté des profondeurs de pénétration d'eau supérieures à celle de béton témoin.

Le béton BRET a présenté des profondeurs de pénétration d'eau légèrement supérieure à celle de béton témoin, pour deux dosages (0.5% et 1.0 %), et légèrement inférieure à celle du béton témoin pour les deux autres dosages (1.5% et 2.0%). Donc le béton avec le retardateur de prise se comporte de manière similaire à celle du béton témoin.

Le béton adjuvanté par le superplastifiant BSUP présente les profondeurs de pénétration les plus faibles. Ces profondeurs correspondent à la moitié de celle du béton témoin pour le dosage max [7].

L'hydrofuge a conféré au béton une imperméabilité meilleure que le béton témoin, à cause de ses particules très fines qui, en se gonflant, viennent comblées les pores se trouvant dans le béton [7]. La profondeur de pénétration du BHYD est 40 % plus faible que celle du béton témoin pour le dosage maximal.

Le retardateur de prise n'a que peu d'influence sur la perméabilité à l'eau, tandis que l'accélérateur de durcissement a un effet néfaste avec l'augmentation de son dosage. L'entraîneur d'air a un effet très néfaste avec l'augmentation de son dosage. On y trouve les

profondeurs les plus importantes de tous les bétons. Ce qui peut impliquer que le dosage optimal, pour la perméabilité, est inférieur ou égal au dosage 0.5 % pour cet adjuvant.

Tableau IV.10. Perméabilité à l'eau des différents bétons

Profondeur de pénétration d'eau (mm)						
Béton témoin BT	Bétons adjuvés					
	Dosage (%)	BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
33	0.5	35	34	25	31	40
	1.0	34	35	21	29	53
	1.5	32	39	18	27	64
	2.0	31	55	16	20	69

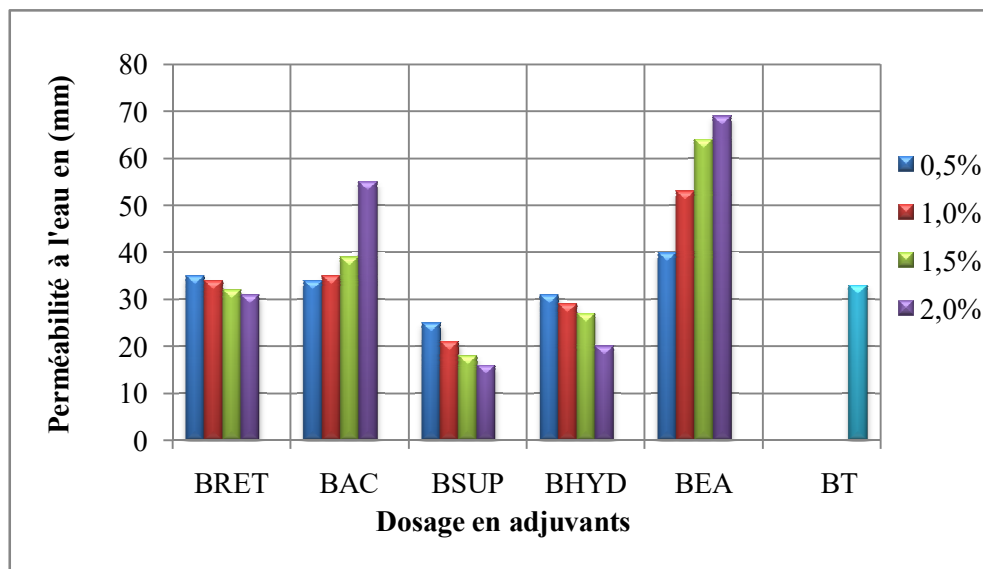


Figure IV.36. Profondeur de pénétration de l'eau

IV.6.2. Perméabilité à l'air

Les résultats de la perméabilité à l'air sont mentionnés dans le tableau IV.23 et illustrés par les figures (IV.37-38). Cette perméabilité est caractérisée par le coefficient spécifique K

$$K = \eta \frac{2 Q P_0 h}{A (P^2 - P_a^2)} (\text{m}^2)$$

Où:

K : le coefficient de perméabilité (m^2)

h : hauteur du spécimen de test dans le sens du flux (en m)

A : La zone en coupe de spécimen de test (en m^2)

η : la viscosité dynamique du gaz de test : air à 20 °C $\eta = 1.82 \times 10^{-5}$ (Ns/ m^2)

Q : le débit du gaz de test dans le sens du flux (m^3/s)

P : la pression d'entrée absolue (N/m^2)

P_a : la pression de sortie (pour ce test, cela correspond à la pression atmosphérique N/m^2)

P_0 : la pression à la quelle le débit est mesuré en (N/m^2), ici elle est équivalent à la pression d'entrée atmosphérique ($P_0 = P_a$).

Tableau IV.11. Coefficients spécifiques de perméabilité moyen K (m^2) des différents bétons

Dosage en adjuvant (%)	Perméabilité à l'air K (m^2)					
	Béton témoin BT	Bétons adjuvantes				
		BRET	BAC	BSUP	BHYD	BEA
0.5	1,58E-17	1,63E-17	6,02E-17	0,48E-17	1,00E-17	50,6E-17
1.0		1,56E-17	6,51E-17	0,44E-17	0,80E-17	53,9E-17
1.5		1,51E-17	6,84E-17	0,40E-17	0,72E-17	57,4E-17
2.0		1,46E-17	7,47E-17	0,37E-17	0,67E-17	63,5E-17

Les perméabilités à l'air des bétons adjuvés par le superplastifiant BSUP sont les plus faibles pour les quatre dosages (0.5%, 1.0%, 1.5% et 2.0%). Elles sont aussi influencées par le dosage où on peut constater une chute très sensible de la perméabilité proportionnellement avec le dosage. La perméabilité du dosage maximal chute jusqu'à moins de 23 % de celle du dosage minimal pour ces bétons. La perméabilité maximale du béton BSUP présente 30 % de celle du béton témoin.

Le béton BHYD (avec l'hydrofuge) a une perméabilité égale à 63% de celle du béton témoin pour le dosage de 0.5 % et 42 % pour celui de 2.0%.

Le béton avec le retardateur de prise BRET se comporte de manière similaire que celle du béton témoin leurs perméabilités à l'air sont proches (moins de 8% de différence).

Les bétons BAC et BEA ont des perméabilités plus importantes que celle du béton témoin. Contrairement aux autres bétons, les bétons BAC et BEA ont des perméabilités qui augmentent avec le dosage. L'effet du dosage en adjuvant, pour ces bétons, n'est pas aussi important que pour les bétons avec le superplastifiant et l'hydrofuge.

Comme pour les autres propriétés, le béton BEA présente les perméabilités à l'air les plus importantes [33,87-92], on a des augmentations de perméabilité de 32 à 40 fois que celle u béton témoin.

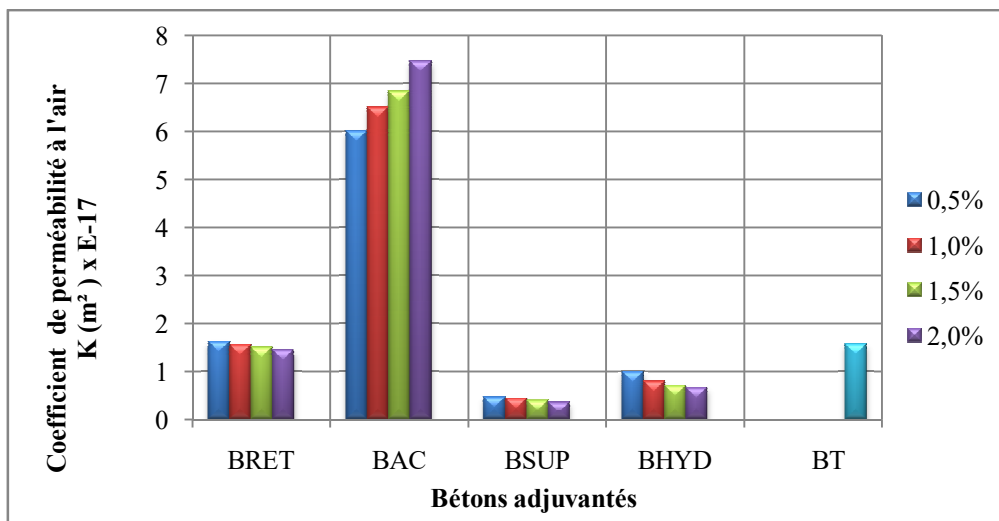


Figure IV.37. Coefficients spécifiques de perméabilité moyens $K \text{ (m}^2\text{)}$ des bétons (BT, BRET, BAC, BSUP, MHYD)

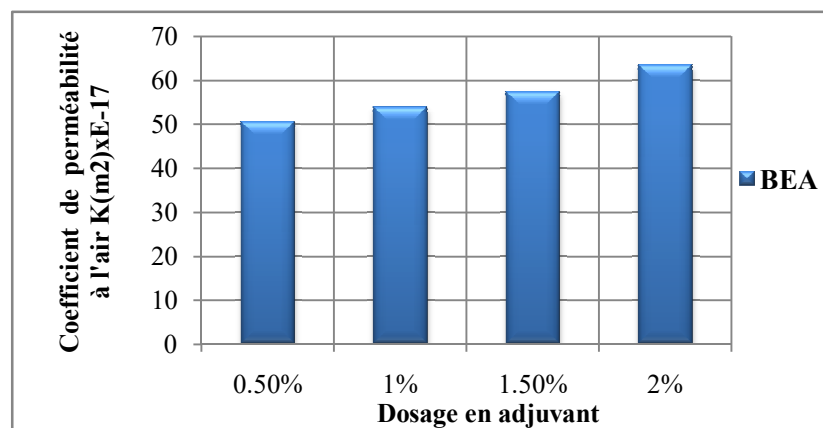


Figure IV.38. Coefficient spécifique de perméabilité moyen $K \text{ (m}^2\text{)}$ du béton BEA

IV.7. Conclusion

Il en ressort que les superplastifiants ont amélioré toutes les propriétés étudiées, en terme de résistance et de durabilité.

Les chutes des performances les plus marquantes sont celles du béton adjuvanté avec l'entraîneur d'air sauf dans le milieu de sulfate de sodium où il se comporte mieux.

Si le retardateur de prise n'affecte que très peu les propriétés des bétons, l'accélérateur de durcissement joue un rôle négatif surtout en terme de perméabilité.

Les bétons avec l'hydrofuge se comportent généralement mieux que le béton témoin surtout en termes de perméabilité à l'eau et à l'air.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans cette étude expérimentale, on a pu quantifier l'effet de cinq types d'adjuvants sur le comportement à l'état frais à travers la maniabilité des différents béton. La projection à l'état durci a concerné l'évolution des résistances des différents bétons adjuvantés à une température d'ambiance (20°C) et à deux températures relativement élevées (105°C et 300°C). L'aspect durabilité a concerné l'évolution de la résistance à la compression après des séjours dans une eau de mer et une solution de sulfate de sodium pendant 30, 90 et 180 jours ainsi que les perméabilités à l'eau et l'air. En plus d'un béton témoin (sans adjuvant), quatre dosages de chaque adjuvant ont été utilisés (0.5, 1.0, 1.5 et 2.0 %).

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

- Les affaissements maximaux sont obtenus par les dosages maximaux en adjuvants. L'ouvrabilité avec le superplastifiant a les valeurs les plus élevées pour tous les dosages. Ces valeurs varient de 120 à 230 mm en correspondance au dosage de 0.5 à 2.0 %.
- On note aussi l'importance de l'entraîneur d'air sur l'affaissement où on atteint un affaissement de 140 mm pour le dosage max.
- Le retardateur et l'hydrofuge conduisent à des affaissements proches de celui du béton témoin. L'accélérateur de durcissement conduit à des affaissements relativement moindres que ceux du béton témoin.
- Les résistances en compressions les plus importantes sont obtenues par le superplastifiant. Le gain varie de 15 % (dosage min.) à 34% (dosage max.). Si le retardateur de prise donne des gains de résistances qui varient de 0.4 % (dosage min.) à 14% (dosage max) par rapport au béton témoin, celles obtenues par l'accélérateur de durcissement sont plus faibles. Cette chute de résistance reste conforme aux normes (diminution inférieure à 10 % de la résistance du béton témoin). L'hydrofuge donne des valeurs proches de celles du béton témoin. L'adjuvant le plus néfaste pour la résistance est l'entraîneur d'air, son utilisation a conduit à des diminutions de résistances de compression variant entre 30% à 42% de la résistance du béton témoin. Cette chute de résistance s'accroît avec l'augmentation du dosage. Donc une attention particulière est à prendre à l'utilisation de cet adjuvant. Les valeurs sortent de la plage autorisée par les normes (diminution < 20 % de la résistance du béton

témoin). Ce qui laisse penser que le dosage maximal de cet adjuvant doit être inférieur à 0.5%.

- L'évolution de la résistance résiduelle en compression est similaire pour tous les bétons (BT, BRET, BAC, BSUP, BHYD, BEA) en passant d'une température d'ambiance jusqu'à 300 °C, la plus part des dommages à cette étape dépend de l'élimination de l'eau libre par évaporation, lors de la montée en température, et la déshydratation des CSH de la pâte de ciment et par conséquence une diminution de la résistance. Ces chutes restent modérées (inférieures à 9 %).
- L'évolution de la résistance en compression passe par deux étapes. La première phase, de la température ambiante à la température de 105°C est caractérisée par une diminution de la résistance. La deuxième phase entre 105 et 300°C est caractérisée par stagnation de cette perte de résistance.
- L'ensemble des bétons (BT, BRET, BAC, BSUP, BHYD, BEA) a présenté une perte de masse inférieure à 10 %. L'utilisation des adjuvants testés peut conduire à une diminution de la masse pour les bétons BSUP, BRET, BHYD. La perte de masse la plus faible est celle béton avec superplastifiant BSUP (dosage max.), donc le superplastifiant conduit au béton le moins poreux.
- La corrélation entre les résistances à la compression et les pertes de masses est cohérente ce qui confirme les résultats connus. Les bétons adjuvés par l'entraîneur d'air BEA et l'accélérateur de durcissement BAC conduisent à une augmentation de la porosité ce qui provoque les pertes de masse et les chutes des résistances les plus importantes aux hautes températures.
- La conservation des bétons dans l'eau de mer a provoqué une diminution de la résistance proportionnelle à durée de séjour dans ce milieu sauf pour les bétons (BSUP) et (BHYD). Ces derniers bétons présentent des gains de résistance. Les diminutions de résistance pour le béton témoin conservé dans l'eau de mer pendant 90 jours et 180 jours sont respectivement l'ordre de 9 % et 17 %. Les diminutions des résistances les plus importantes sont obtenues par le béton adjuvé par l'accélérateur de durcissement (BAC), elle est l'ordre de 24 % pour le dosage maximal (2.0%) pour une durée de conservation de 180 jours.

- Les bétons (BEA) et (BHYD), conservés dans une solution du sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 5%), ont présenté des gains de résistances proportionnelles à la durée de conservation.
- Pour les bétons BT, BRET et BSUP les résultats indiquent aussi des gains de résistances, à la compression à 90 jours et une diminution à 180 jours. L'augmentation de la résistance jusqu'à 90 jours est essentiellement due à l'hydratation continue des produits anhydres de ciment et à la réaction de Na_2SO_4 avec $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pour former le gypse et l'ettringite, qui complètent les micropores menant à une structure plus compacte, ce qui conduit à une augmentation des résistances mécaniques à la compression. Mais la légère diminution de la résistance (presque nulle) pour les bétons BT, BRET et BSUP à 180 jours est due à l'effet d'expansion de l'attaque de sulfate, la formation d'un hydrate sulfaté gonflant conduit à la création des microfissures signe d'une déstructuration ultérieure du matériau.
- La diminution successive des résistances les plus importantes que ce soit à 90 jours ou à 180 jours est obtenue par le béton adjuvanté par l'accélérateur de durcissement (BAC), elle est de l'ordre de 15 % pour le dosage max (2.0 %) à l'âge de 180 jours.
- Les différents bétons présentent une certaine proportionnalité entre le dosage et la profondeur de pénétration d'eau sauf les bétons BAC et BEA où la tendance s'inverse. Le béton BHYD a présenté des profondeurs de pénétration d'eau inférieure que celle de béton témoin, donc une imperméabilité meilleure mais il reste moins performant que le BSUP. Par contre pour les bétons BAC et BEA, on observe un effet inverse qui est similaire aux résultats des résistances. On y trouve les profondeurs les plus grandes de tous les bétons. Le retardateur de prise n'a que peu d'influence sur la perméabilité à l'eau.
- Les perméabilités à l'air des bétons adjuvantés confirment celles à l'eau. Le béton BSUP a une perméabilité maximale de l'ordre de 30% de celle du béton témoin.
- Les perméabilités des bétons adjuvantés par l'entraîneur d'air sont de loin les plus importantes, elles atteignent plus 45 fois celles du béton témoin.

Perspectives

Les perspectives envisageables à cette étude concerneront surtout les aspects suivants :

- ☒ 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 l'effet des températures plus élevées que celles étudiées.

Références Bibliographiques

Références bibliographique

- [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].**Boukli S. M .E.**, Contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen. Thèse de doctorat université Abou Beker Belkaid, Tlemcen, (2009).
- [4].**Dreux. G.**, Nouveau guide de béton, Editions Eyrolles, Paris, p.154, (1979).
- [5].**Fiches Techniques, Tome 1**, Les constituants des bétons et des mortiers : Les Adjuvants, Paris, (2005).
- [6].**NF-EN-206-1** : Béton - partie 1 : Spécification, performances, production et conformité. AFNOR, (2004).
- [7].**Solutions béton, Les adjuvants** : pour des bétons à l'épreuve des chantiers et du temps, Revue, Construction Moderne / Annuel Ouvrages d'art, (2014).
- [8].**Dossier technique de la société algérienne, Granitex**, Algérie, (2010).
- [9].**NF EN 934-2** (tableau 7): Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Partie 2, Adjuvants pour béton et mortier, définition et exigences, (2012).
- [10].**Fiches Techniques, Tome 1**, Les constituants des bétons et des mortiers : Les Adjuvants, Paris, p.44, (2005).
- [11].**Jolicoeur C., Nkinamubanzi P. C., Simard M. A. and Piotte M.**, Progress in understanding the functional properties of superplasticizers in fresh concrete, Fourth CANMET/ACI international conference on superplasticizers and other chemical admixtures in concrete, Montréal, ACI, ED., SP-148, pp. 63-88, (1994).
- [12].**Rixom M. R., Mailvaganam N. P.**, Chemical admixtures for concrete, E & F. N. Spon,Ed., London,(1986).
- [13].**Dodson V. H.**, Concrete admixtures, Van Nostrand Reinhold, Structural Engineering Series, Ed., New York, (1990).
- [14].**SYNAD.**, Les constituants des bétons et des mortiers : Adjuvants pour Béton et Mortiers, Paris, (2005).
- [15].**Dreux G., et Festa J.**, Nouveaux guide du béton et de ces constituants, Huitième édition Eyrolles, Paris, p.32, (1998).
- [16]. **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).
- [17].**Chanvillar G.**, Connaissances générales sur le matériau béton, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, p 169, (1999).
- [18].**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).

- [19]. **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).
- [20]. **Taché G.**, Durabilité des armatures du béton armé et précontraint. Enquête IREX, (1994).
- [21]. **Planel D.**, Les effets couplés de la précipitation d'espèces secondaires sur le comportement mécanique et la dégradation chimique des bétons. Thèse de doctorat en Génie civil, université de Marne la vallée (2002).
- [22]. **Boualleg S.**, Effet des milieux Agressifs sur les caractéristiques de durabilité des bétons et des matrices cimentaires .Thèse de magister, université de mohamed boudiaf ,M'sila, Algérie, (2004).
- [23]. **Guétari Z.**, L'effet de la dégradation chimique sur le comportement mécanique des bétons. Thèse de magister, Génie Civil ,université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, (2013).
- [24]. **Alexandre L., Sebileau J L .**, Le laitier de haut fourneau, édité par le centre technique et de promotion des laitiers, p.340, (1988).
- [25]. **Duval R. , HORN AIN H .**, La durabilité des bétons vis à vis des eaux agressives , in la durabilité des bétons. Presses de l'ENPC, (1992).
- [26]. **Regourd M .**, Les laitiers de haut fourneau », rapport principal du 8ème Congrès International de la Chimie du Ciment, Rio, volume 1, thème 3, pp .200 – 229, (1986).
- [27]. **Choinska M.**, Etude expérimentale de l'interaction endommagement température perméabilité du béton, XXIV^{èmes} Rencontres Universitaires de Génie Civil, France, (2006).
- [28]. **Takafumi S, Theodore W. Bremner, and Thomas A. Holm.**, Effect of Stress on Gas Permeability in Concrete. ACI Materials, Journal 93 ,pp.443-450(1996).
- [29]. **Hearn N. and Lok G.**, "Measurement of Permeability under Uniaxial Compression-A Test Method", ACI Materials Journal 95, pp. 691-694, (1998).
- [30]. **Picandet V., Khelidj A., Bastian G.**, "Effect of axial compressive damage on gas permeability of ordinary and high-performance concrete". Cement and Concrete Research ,pp.31 1525-1532, (2001).
- [31]. **Hermann, K.**, Perméabilité au gaz des bétons. Bulletin du ciment. vol. 68, n°11, pp. 3-7 (2000).
- [32]. **Hermann, K.**, L'humidité du béton, Bulletin du ciment vol. 68, n°10, pp. 3-7, (2000).
- [33]. **Kollek, J. J.**, The determination of the permeability of concrete to oxygen by the Cembureau method -a recommendation», Materials and Structures 22, pp.225-230, (1989).
- [34]. **Bongue Boma M.**, Modélisation de fissuration pour l'évaluation de la perte d'étanchéité des structures en béton armé sous chargements mécaniques. Doctorat ENPC, Paris, France, (2007).
- [35]. **Arupfire, HSE.**, Fire resistance of concrete enclosures, Work Package 1: data collection - Work Package 2: spalling categories, 0001 Report Work Package 1 and 2, London, (2005).

- [36]. **Alonso C., Fernandez L.**, Dehydration and rehydration processes of cement paste exposed to high temperature environments, *Journal of Materials Science*; vol. 39, n°9, pp. 3015-3024 ,(2004).
- [37]. **Toumi B.**, Étude de l'influence des hautes températures sur le comportement du béton. Thèse de doctorat en Génie civil ,université Mentouri constantine , Algérie ,(2013).
- [38]. **Castellote M., Alonso C., Andrade C., Turrillas X., Ampo J.**, Composition and microstructural changes of cement pastes upon heating, as studied by neutron diffraction. *Cement and Concrete Research*, vol. 34, n°9, pp. 1633-1644,(2004).
- [39]. **Noumowé A.**, Mechanical properties and microstructure of high strength concrete containing polypropylene fibres exposed to temperatures up to 200°C. *Cement and Concrete Research*, vol.35, n°11, pp. 2192-2198,(2005).
- [40]. **Schneider U., Diederichs U., Ehm C.**, Effect of temperature on steel and concrete for PCRV's, *Nuclear Engineering and Design*, vol. 67, n°2, pp. 245-258,(1982).
- [41]. **Carles-Gibergues A.,Pigeon M.**, La durabilité des bétons en ambiance hivernale rigoureuse. Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, (1992).
- [42]. **Bazant Z.P., Kaplan M.**, Concrete at high temperature: material behaviour and mathematical modelling. londonlonman concrete design and construction series. p. 412,(1996).
- [43]. **Phan T.,Carino N.J.**, Mechanical properties of high-strength concrete at elevated temperatures, report NISTIR 6726, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland,(2001).
- [44]. **Castillo C.**, Effect of transient high temperature on High strength concrete, Master of Science, Rice University, (1987).
- [45]. **Fares H., Noumowé A., Rémond S.**, Self- consolidating concrete subjected to high temperature: Mechanical and physicochemical properties, *Cement and Concrete Research*, vol. 39, n°12, pp. 1230-1238,(2009).
- [46]. **Pliya P.**, Contribution des fibres de polypropylène et métalliques à l'amélioration du comportement du béton soumis à une température élevée», Thèse de Doctorat, Génie civil, Université de Cergy-Pontoise, France, (2010)
- [47]. **Mindeguia J.C.**, Contribution expérimentale à la compréhension des risques d'instabilité thermique des bétons», Thèse de doctorat, Génie Civil, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France, (2009).
- [48]. **Dias W.P.S., Khoury G.A.,Sullivan P.J.E.**, Mechanical Properties of Hardened Cement Paste Exposed to Temperatures up to 700°C (1292°F), *ACI Materials Journal*, vol. 87, n°2, pp. 160-166,(1990).
- [49]. **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 XXXeRencontres AUGC-IBPSA Chambéry ,France ,(2012).
- [50]. **Yamada K., Hanehara S.,Yanagisawa T.**,Influence of temperature on the dispersibility of polycarboxylate type superplasticizer for highly fluid concrete. 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, pp. 437–448 ,(1999).
- [51]. **Hanehara S., Yamada K.**, Rheology and early age properties of cement systems, *Cement and Concrete Research*, Vol. 38 No. 2, pp. 175–195,(2008).

- [52].**Pan J.**, Effet de la température et de l'agitation sur les propriétés rhéologiques des bétons fluides a rhéologie adaptée, Thèse de doctorat en Génie civil ,universités d'Atrois et Sherbrooke, France, (2015).
- [53].**Adjoudj M., Ezziane K.**, Perte d'efficacité d'un superplastifiant en présence d'un ciment compose et sous une température élevée,Séminaire international sur la Construction en Zone Sismique, Université de Hassiba Ben Bouali ,Chlef , Algérie ,(2010).
- [54].**Tebbal N., Rahmouni Z.**, Etude paramétrique de l'effet du dosage en super plastifiant sur la performance d'un béton à haute performance. INVACO2 : Séminaire International, Innovation & valorisation en génie civil & matériaux de construction N° : 10-275, Alger, (2011).
- [55].**Hager I.G.**, Comportement à haute température des bétons à haute performance-évolution des principales propriétés mécaniques. Thèse de doctorat ENPC, Paris, (2004).
- [56]. **Diederichs U., Jumppanen U.M.**, High temperature properties and spalling behaviour of high-strength concrete. Verlog für architektur und techn.wissencheften,Ernst & schn, pp.191-197(1992).
- [57].**Noumowé N.A.**, Effet de hautes températures sur le béton. Cas particulier du béton à hautes performances. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, France, (1995).
- [58]. **Menou A.**, Etude du comportement thermomécanique des bétons à haute température Approche multi échelle de l'endommagement thermique. Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Andour, France, (2004).
- [59].**Sarchar R.,Khoury G.A.**,Materials and environmental factors influencing the compressive strength of unsealed cement paste and concrete at high temperatures. Magazine of Concrete Research. vol.45, pp. 51-61(1993).
- [60].**Poon C.S.,Azhar S., Anson M., Wong Y.L.**, Comparison of the strength and durability performance of normal- and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperatures.Cement and Concrete Research, vol.31, pp.1291–1300 (2001).
- [61].**Haniche R.**, Contribution à l'étude des bétons portés en température / Evolution des propriétés de transfert / Etude de l'éclatement. Thèse de doctorat (LGCIE) de l'INSA, Lyon, (2011).
- [62].**Ladaoui W.**, Etude expérimentale du comportement Thermo-Hydro Mécanique à long terme des BHP destinés aux ouvrages de stockage des déchets radioactifs. Thèse de doctorat, université de Toulouse, France, (2010).
- [63].**AFNOR** Recueil de normes français, Béton et ciment courant, Paris,(1978).
- [64].**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).
- [65].**NF P 18-554** : Granulats - Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux. Décembre(1990).
- [66].**NF P 18-554**: Granulats - Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables. Décembre(1990).
- [67].**Norme NF P18-541** : **Association Française de Normalisation(AFNOR)**: Granulats pour bétons hydrauliques. Mai (1994).

- [68].**Saint Arroman J.C.**, Granulats, Sols, Ciment et Béton, Editions ASTEILLA, Paris,(1995)
- [69].**Fiche technique du Ciment Portland Composé CPJ-CEM II/A 42,5**.Laboratoire de l'usine "Hadjar Essoud". , Skikda, Algérie, (2011).
- [70].**SIKA El Djazair**, www.sikaeldjazair.com, Algérie ,(2006), consulté le (2015)et (2016).
- [71].**Billard Y.**, Etudes expérimentales de béton : étude de la perméabilité. DEA, INSA, Lyon, France, (1997).
- [72].**Norme européenne NF EN 12390-8**, Essai pour béton durci partie 8 : profondeur de pénétration d'eau sous pression, octobre, (2001).
- [73].**CONTROLAB**, Manuel d'utilisation, appareil pour Mesure de perméabilité à l'air (compte- bulles), France, (2008).
- [74].**Journée D'information.**, Ciments – Bétons –Adjuvants . Organisée par . ERCE – CTC- Est – GRANITEX Les adjuvants définition et opportunités d'utilisation, Algérie, (2004).
- [75].**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).
- [76].**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).
- [77].**Khoury G.A.**, Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment, Compressive strength of concrete research, 44,pp. 291-309,(1992).
- [78]. **Baroghel-Bouny V.**, Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons-Méthode, analyse, interprétations, publié par laboratoire central des Ponts Chaussées et Ministère de l'Équipement, des Transports du Tourisme,(1994).
- [79].**Kanema M.**, Influence des paramètres de formulation sur le comportement à haute température des bétons.Thèse de doctorat, l'université de Cergy-pontoise, France (2007).
- [80].**Xiao J., Falkner H.**, On residual strength of high performance concrete with and without polypropylene fibres at elevated temperatures, Fire Safety Journal, vol. 41, n°2, p. 115-121, (2006).
- [81].**Codina M.**, Les bétons bas PH formulation, caractérisation et étude à long terme, doctorat INSA, Toulouse, France (2007).
- [82].**Benabed B., Azzouz L., Kadri E., Belaidi A. S. E., Soualhi H.**, Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes, XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie,France, (2012).
- [83].**AL Dulaijan S. U. et al.**, Sulfate resistance of plain and blended cements exposed to varying concentrations of sodium sulfate, Cement & Concrete Composites, vol. 25,pp. 429-437, (2003).
- [84].**Turker F. et al.**, Effects of magnesium sulfate concentration on the sulfate resistance of mortars with and without silica fume, Cement & Concrete Research, vol. 27, pp.205-214, (1997).

- [85].**Krobba B.et al.**, Formulation et durabilité du mortier à base de sable dunaire, Recueil des actes du colloque international . Sols et Matériaux à problèmes . pp. 297-305, Hammamet, Tunisie, (2007).
- [86].**Goran M. B.**, Permeability of Concrete; Kurdistan Engineers Union, (2015).
- [87].**Abbas A., Carcasses M., Olivier J. P.**, Gas permeability of concrete in relation to it degree of saturation, Materials and Structures, vol. 32, pp. 3-8, (1999).
- [88].**Klinkenberg J.**, The permeability of porous media to liquids and gases, in drilling and production practice, American Petroleum Institute, New York, pp. 200- 213, (1941).
- [89].**Villain G., Baroghel-Bouny V., Kounkou C., Hua C.**, Mesure de la perméabilité aux gaz en fonction du taux de saturation des bétons. Revue Française de Génie Civil, Transfert dans les bétons et durabilité, vol. 5, pp. 251-268, (2001).
- [90].**AFREM.**, Essai de perméabilité aux gaz des bétons durcis » : Mode opératoire recommandé par l'AFPCAFREM, Compte rendu des journées Techniques AFPC- AFREM « Durabilité des bétons », 11 et 12 Décembre, Toulouse, France, pp. 125 – 134, (1997).
- [91].**Fabien A., Choinska M., Bonnet S., Pertué A., Khelidj A.**, Etude expérimentale sur l'effet de la taille des granulats sur le comportement mécanique et la perméabilité du béton. " TRANSFERT 2012", France, (2012).
- [92].**Picandet V.**, Influence d'un endommagement mécanique sur la perméabilité et sur la diffusivité hydrique des bétons, thèse de doctorat, Université de Nantes, France, (2001).

Annexe

Annexe

Tableau 1. Analyse granulométrique du sable

Sable (0/5)		M = 1000 g			
Diamètre tamis (mm)	Module tamis	Refus Partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Passant cumulé (%)
31,5	46	0,00	0,00	0,0	100,0
25	45	0,00	0,00	0,0	100,0
20	44	0,00	0,00	0,0	100,0
16	43	0,00	0,00	0,0	100,0
12,5	42	0,00	0,00	0,0	100,0
10	41	0,00	0,00	0,0	100,0
8	40	4,00	4,00	0,4	99,6
6,3	39	4,30	8,30	0,8	99,2
5	38	18,20	26,50	2,7	97,4
2,5	35	193,20	219,70	22,0	78,0
1,25	32	255,10	474,80	47,5	52,5
0,63	29	174,20	649,00	64,9	35,1
0,315	26	133,10	782,10	78,2	21,8
0,16	23	107,90	890,00	89,0	11,0
0,1	21	27,40	917,40	91,7	8,3
0,08	20	18,60	936,00	93,6	6,4
fond	0	61,60	997,60	99,8	0,2

Tableau 2. Analyse granulométrique du gravier 8/15

gravier 8/15		M = 1500g			
Diamètre tamis (mm)	Module tamis	Refus Partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Passant cumulé (%)
31,5	46	0,00	0,00	0,0	100,0
25	45	0,00	0,00	0,0	100,0
20	44	176,20	176,20	11,7	88,3
16	43	543,80	720,00	48,0	52,0
12,5	42	486,40	1 206,40	80,4	19,6
10	41	201,10	1 407,50	93,8	6,2
8	40	44,90	1 452,40	96,8	3,2
6,3	39	13,70	1 466,10	97,7	2,3
5	38	6,90	1 473,00	98,2	1,8
2,5	35	5,60	1 478,60	98,6	1,4
1,25	32	2,90	1 481,50	98,8	1,2
0,63	29	0,00	1 481,50	98,8	1,2
0,315	26	0,00	1 481,50	98,8	1,2
0,16	23	0,00	1 481,50	98,8	1,2
0,08	21	0,00	1 481,50	98,8	1,2
0,08	20	0,00	1 481,50	98,8	1,2
fond	0	16,70	1 498,20	99,9	0,1

Annexe

Tableau 3. Analyse granulométrique du gravier 15/25

Gavier 15/25		<i>M = 1500 g</i>			
Diamètre tamis (mm)	Module tamis	Refus Partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Passant cumulé (%)
31,5	46	0,00	0,00	0,0	100,0
25	45	0,00	0,00	0,0	100,0
20	44	80,40	80,40	5,4	94,6
16	43	385,90	466,30	31,1	68,9
12,5	42	710,70	1 177,00	78,5	21,5
10	41	280,00	1 457,00	97,1	2,9
8	40	35,70	1 492,70	99,5	0,5
6,3	39	0,00	1 492,70	99,5	0,5
5	38	0,00	1 492,70	99,5	0,5
2,5	35	0,00	1 492,70	99,5	0,5
1,25	32	0,00	1 492,70	99,5	0,5
0,63	29	0,00	1 492,70	99,5	0,5
0,315	26	0,00	1 492,70	99,5	0,5
0,16	23	0,00	1 492,70	99,5	0,5
0,08	21	0,00	1 492,70	99,5	0,5
0,08	20	0,00	1 492,70	99,5	0,5
fond	0	6,90	1 499,60	100,0	0,0

Tableau 4. Analyse granulométrique :Echantillons (mélange)

Poids= **1 807,60** grammes

TAMIS	modules	REFUS (g)	% du refus	refus cumulee (%)	Passant cumulé
31,5	46	0	0,00	0,00	100,00
25	45	0	0,00	0,00	100,00
20	44	81,2	4,49	4,49	95,51
16	43	399,1	22,08	26,57	73,43
12,5	42	417,3	23,09	49,66	50,34
10	41	188,5	10,43	60,09	39,91
8	40	58,5	3,24	63,32	36,68
6,3	39	17,4	0,96	64,28	35,72
5	38	99,8	5,52	69,81	30,19
2,5	35	14,1	0,78	70,59	29,41
1,25	32	167,4	9,26	79,85	20,15
0,63	29	123	6,80	86,65	13,35
0,315	26	82,8	4,58	91,23	8,77
0,16	23	66,7	3,69	94,92	5,08
0,1	21	34,9	1,93	96,85	3,15
0,08	20	11,3	0,63	97,48	2,52
fond	0	40,3	2,23	99,71	0,29

Annexe

Tableau 5. Coefficient spécifique de perméabilité K (m²) du béton témoin (B.T)

Pression absolue (bar)	Volume de mesure (cm ³)	Temps (sec)	Débit du gaz (cm ³ /s)	Coefficient de perméabilité K (m ²)
2,5	5.0	53,02	0,0943	1,85E-17
3.0	5.0	45,22	0,1106	1,42E-17
3,5	5.0	31,30	0,1597	1,46E-17

Tableau 6. Coefficient spécifique de perméabilité K (m²) du béton adjuvanté (BRET)

Dosage d'adjuvant	Pression absolue (bar)	Volume de mesure (cm ³)	Temps (sec)	Débit du gaz (cm ³ /s)	Coefficient de perméabilité K (m ²)
0.5	2,5	5.0	50,11	0,0998	1,958E-17
	3.0	5.0	43,03	0,1162	1,497E-17
	3,5	5.0	31,65	0,1580	1,447E-17
1.0	2,5	5.0	52,43	0,0954	1,872E-17
	3.0	5.0	44,22	0,1131	1,456E-17
	3,5	5.0	34,13	0,1465	1,342E-17
1.5	2,5	5.0	54,17	0,0923	1,812E-17
	3.0	5.0	45,14	0,1108	1,427E-17
	3,5	5.0	35,21	0,1420	1,301E-17
2.0	2,5	5.0	55,54	0,0900	1,767E-17
	3.0	5.0	46,57	0,1074	1,383E-17
	3,5	5.0	36,95	0,1353	1,239E-17

Tableau 7. Coefficient spécifique de perméabilité K (m²) du béton adjuvanté (BAC)

Dosage d'adjuvant	Pression absolue (bar)	Volume de mesure (cm ³)	Temps (sec)	Débit du gaz (cm ³ /s)	Coefficient de perméabilité K (m ²)
0.5	2,5	20	55.00	0,3636	7,137E-17
	3.0	20	43,03	0,4648	5,987E-17
	3,5	20	37.00	0,5405	4,951E-17
1.0	2,5	20	50.00	0,4000	7,851E-17
	3.0	20	40.00	0,5000	6,440E-17
	3,5	20	35.00	0,5714	5,234E-17
1.5	2,5	20	49.00	0,4082	8,011E-17
	3.0	20	37.00	0,5405	6,962E-17
	3,5	20	33.00	0,6061	5,551E-17
2.0	2,5	20	47.00	0,4255	8,352E-17
	3.0	20	32.00	0,6250	8,050E-17
	3,5	20	30,48	0,6562	6,010E-17

Annexe

Tableau 8. Coefficient spécifique de perméabilité K (m²) du béton adjuvanté (BSUP)

Dosage d'adjuvant	Pression absolue (bar)	Volume de mesure (cm ³)	Temps (sec)	Débit du gaz (cm ³ /s)	Coefficient de perméabilité K (m ²)
0.5	2,5	1,5	51,36	0,0292	5,732E-18
	3.0	1,5	43,03	0,0349	4,490E-18
	3,5	1,5	33,56	0,0447	4,094E-18
1.0	2,5	1,5	53,16	0,0282	5,538E-18
	3.0	1,5	46,89	0,0320	4,120E-18
	3,5	1,5	37,79	0,0397	3,636E-18
1.5	2,5	1,5	56,14	0,0267	5,244E-18
	3.0	1,5	50,79	0,0295	3,804E-18
	3,5	1,5	46,96	0,0319	2,926E-18
2.0	2,5	1,5	59,23	0,0253	4,971E-18
	3.0	1,5	56,97	0,0263	3,391E-18
	3,5	1,5	51,89	0,0289	2,648E-18

Tableau 9. Coefficient spécifique de perméabilité K (m²) du béton adjuvanté (BHYD)

Dosage d'adjuvant	Pression absolue (bar)	Volume de mesure (cm ³)	Temps (sec)	Débit du gaz (cm ³ /s)	Coefficient de perméabilité K (m ²)
0.5	2,5	1,5	31,37	0,0478	9,385E-18
	3.0	5.0	59,24	0,0844	1,087E-17
	3,5	5.0	47,00	0,1064	9,744E-18
1.0	2,5	1,5	35,47	0,0423	8,300E-18
	3.0	1,5	30,58	0,0491	6,318E-18
	3,5	5.0	48,13	0,1039	9,515E-18
1.5	2,5	1,5	42,65	0,0352	6,903E-18
	3.0	1,5	31,05	0,0483	6,222E-18
	3,5	5.0	54,78	0,0913	8,360E-18
2.0	2,5	1,5	47,55	0,0315	6,192E-18
	3.0	1,5	33,17	0,0452	5,825E-18
	3,5	5.0	57,58	0,0868	7,954E-18

Tableau 10. Coefficient spécifique de perméabilité K (m²) du béton adjuvanté (BEA)

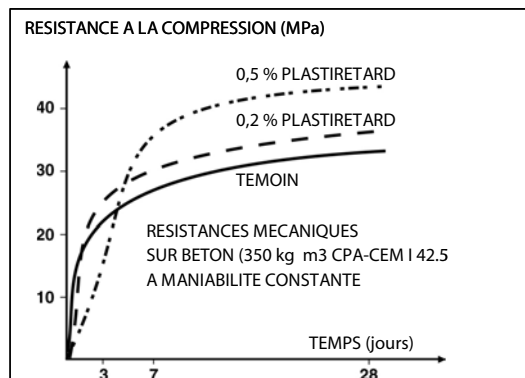
Dosage d'adjuvant	Pression absolue (bar)	Volume de mesure (cm ³)	Temps (sec)	Débit du gaz (cm ³ /s)	Coefficient de perméabilité K (m ²)
0.5	2,5	160	46,35	3,4520	6,775E-16
	3.0	160	43,03	3,7183	4,789E-16
	3,5	160	40,56	3,9448	3,613E-16
1.0	2,5	160	43,49	3,6790	7,221E-16
	3.0	160	40,09	3,9910	5,141E-16
	3,5	160	38,41	4,1656	3,815E-16
1.5	2,5	160	41,26	3,8778	7,611E-16
	3.0	160	37,46	4,2712	5,502E-16
	3,5	160	35,78	4,4718	4,096E-16
2.0	2,5	160	37,44	4,2735	8,388E-16
	3.0	160	34,16	4,6838	6,033E-16
	3,5	160	31,58	5,0665	4,641E-16

PLASTIRETARD

Retardateur de prise pour béton.

Conforme à la norme NF EN 934.2 tab. 8

Présentation	Le PLASTIRETARD est un retardateur de prise pouvant être utilisé dans tous les bétons. Employé à certains dosages, il se comporte comme un réducteur d'eau.
Domaines d'application	Amélioration des résistances mécaniques. Grâce à une réduction d'eau de 10 à 15%, le PLASTIRETARD augmente les résistances mécaniques du béton à long terme de 20 à 30%. Il améliore aussi considérablement la compacité. Il est particulièrement adapté : <ul style="list-style-type: none"> ■ aux bétons armés et précontraints, ■ aux bétons des réservoirs.



Bétonnage par temps chaud ou en grande masse

L'effet retardateur de prise du PLASTIRETARD permet d'éviter une brusque élévation de la température du béton lors de la prise et rend son emploi indispensable

- lorsque la température est élevée,
- pour les bétons en grande masse : barrages, etc.

Reprises de bétonnage

Grâce au retard de prise important que peut provoquer le PLASTIRETARD, il est possible d'effectuer des reprises de bétonnage après plusieurs heures d'interruption sans autre précaution particulière que la protection contre la dessiccation.

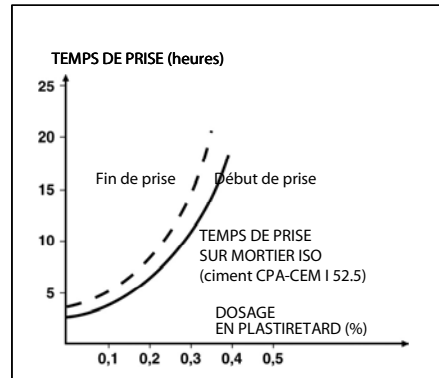
Transports de longue durée du béton

L'utilisation de PLASTIRETARD permet de transporter sans problème tous les bétons sur de grandes distances quelles que soient les conditions (températures, risques d'embouteillage, etc).

Amélioration de la maniabilité

En tant que plastifiant retardateur, le PLASTIRETARD peut être utilisé dans tous les cas de bétonnage et en particulier

- pour une mise en œuvre plus facile,
- pour les bétons pompés,
- pour les bétons bruts de décoffrage (aspect du parement).



Caractères généraux	Par son action physico-chimique, le PLASTIRETARD permet : Sur béton frais : <ul style="list-style-type: none">■ d'améliorer la maniabilité même en réduisant l'eau de gâchage.■ de disperser uniformément le ciment dans la masse.■ d'éviter la ségrégation et d'augmenter la thixotropie.■ de retarder le début de prise et de conserver la fluidité pendant le temps nécessaire à la mise en place.■ d'étaler le dégagement de chaleur dû à l'hydratation du ciment. Sur béton durci : <ul style="list-style-type: none">■ d'augmenter les résistances mécaniques.■ d'accroître la compacité et d'augmenter l'imperméabilité.■ de diminuer le retrait et le fluage.
Agréments, essais officiels	<ul style="list-style-type: none">■ Résistances mécaniques à 7 et 28 jours - CETE (Lyon). PV n° PD 76/405 du 24.11.76.■ Résistances mécaniques à 7, 28, 90 et 365 jours - EMPA (Zurich). PV n° 56239/39 du 11.02.69.■ Conformité à la norme DIN 1045 Institut Fuer Bautechnik (Berlin) du 16.05.74.■ Conformité à la norme ASTM C 494 type D. Testwell Laboratoires (USA). PV n° IZ - 16 du 23.08.79
Caractéristiques	
Coloris	jaune, légèrement trouble
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none">■ Bidon de 6 kg■ Bidon de 30 kg■ Fût de 250 kg■ Conteneur perdu de 1000 kg
Stockage	Le PLASTIRETARD gèle à - 4°C environ. En cas de gel prolongé et intense, vérifier s'il n'a pas été déstabilisé.
Conservation	Dans son emballage d'origine intact, le produit se conserve 3 ans.
Données techniques	
densité	1,175 ± 0,015
pH	8,5 à 10,5
Teneur en ions Cl ⁻	< 0,1 %
Teneur en Na ₂ O éq.	≤ 6,0 %
Extrait sec	29,5 à 32,6 %.

Conditions d'application

Dosage

Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 0,5% du poids du ciment (soit 0,17 à 0,43 litre pour 100 kg de ciment) suivant l'effet recherché.

- Entre 0,15 et 0,2% : effet plastifiant seulement.
- Le dosage de 0,5% peut éventuellement être dépassé pour l'obtention de retards de prise importants. Il faut alors réaliser des essais à différents dosages dans les conditions du chantier (en particulier la température) de façon à déterminer le dosage fournissant le résultat souhaité.
- Pour l'utilisation de PLASTIRETARD avec du ciment fondu, nous consulter.

Mise en œuvre

Le PLASTIRETARD est introduit dans la gâchée soit mélangé à l'eau soit en même temps que l'eau.

Il est recommandé d'effectuer des essais préliminaires pour déterminer la quantité d'eau de gâchage nécessaire à l'obtention de la maniabilité.

Précautions d'emploi

Manipulation non dangereuse.

En cas de contact avec la peau un simple lavage suffit.

Consulter la fiche de données de sécurité accessible par Minitel 3613, code SIKASECUR ou sur Internet www.sika.fr

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel

Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.

«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. 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 acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



SIKA® PRISE SC 2

Accélérateur de durcissement sans chlore.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1 et 7



Présentation	Le SIKA PRISE SC 2 est un accélérateur de durcissement exempt de chlore pour béton qui permet d'obtenir même par temps froid des résistances mécaniques élevées à court terme.
Domaines d'application	<p>Béton Prêt à l'Emploi Le SIKA PRISE SC 2 peut être utilisé avec tous types de bétons dès que les conditions climatiques ne permettent plus de garantir un délai de décoffrage normal sur chantier.</p> <p>Préfabrication Le SIKA PRISE SC 2, grâce à la forte accélération de la prise qu'il provoque, doit être employé toutes les fois où l'on souhaite soit accélérer les cadences de production, soit réduire les temps d'étuvage. Il est recommandé pour toutes les préfabriques foraines et les usines de fabrication de poteaux, de prédalles, de panneaux de façades, etc, et plus généralement d'éléments en béton armé.</p>
Caractères généraux	<p>Le SIKA PRISE SC 2 permet de réduire les délais de décoffrage et d'accélérer la rotation des moules.</p> <p>Il permet de bétonner par temps de gel, sous réserve du respect des règles de l'art (voir rappel au verso).</p>
Caractéristiques	
Coloris	Brun
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fût de 250 kg ■ Vrac
Stockage	Stocker les emballages ouverts en milieu ventilé. Le SIKA PRISE SC 2 peut cristalliser à très basse température mais, une fois dégelé et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine.
Conservation	Dans son emballage d'origine intact, le produit se conserve 3 ans.
Données techniques	
densité	1,313 ± 0,020
pH	6 ± 1
Teneur en Cl-	< 0,1 %
Extrait sec	43 ± 2%
Teneur en Na ₂ O _{éq}	≤ 5,0 %
Température de cristallisation	< - 18°C



Conditions d'application

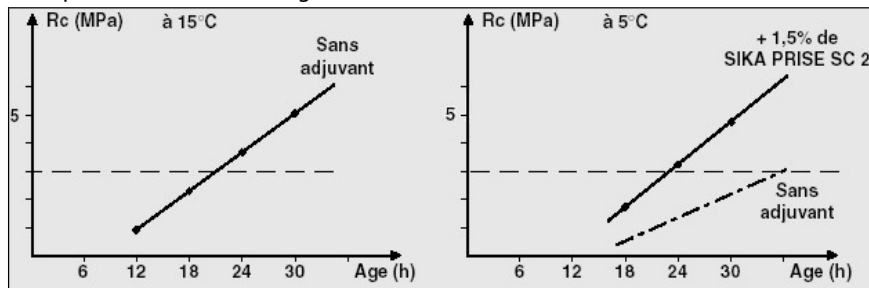
Consommation / Dosage

1 à 2,5 % du poids du ciment (soit 0,8 à 2 litres pour 100 kg de ciment) suivant les conditions du chantier et l'accélération recherchée.

Dans tous les cas, un essai préalable est conseillé pour déterminer le dosage optimal.

Pour les bétonnages par temps froid, le dosage minimum est 2 % (soit 1,6 litre pour 100 kg de ciment).

Exemple : Béton dosé à 300 kg de CEM I 42,5



Mise en oeuvre

Préparation du mélange

Le SIKA PRISE SC 2 doit être introduit de préférence dans l'eau de gâchage avant vidange dans le malaxeur.

Précautions d'emploi

Eviter impérativement toute ingestion.

En cas de contact avec la peau, laver immédiatement à grande eau.

Consulter la fiche de données de sécurité accessible par Minitel 3613, code SIKASECUR ou sur Internet www.sika.fr

RAPPEL : Bétonnage, par temps de gel.

Il est rappelé qu'un accélérateur n'a pour rôle que d'activer le processus d'hydratation du clinker.

Ce processus n'est possible que si la température initiale du béton est supérieure ou égale à + 5° C. Dans ce cas, l'accélérateur active les réactions exothermiques de prise et engendre une température interne suffisante pour assurer le durcissement du béton même si la température extérieure descend en dessous de 0° C. On veillera donc, entre autres, conformément aux Règles de l'Art à :

- utiliser un ciment à forte chaleur d'hydratation (classe «R»),
- utiliser un dosage en ciment le plus élevé possible,
- ne pas employer d'agrégats gelés,
- protéger le béton contre la dessiccation.

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel

Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.

«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. 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 acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger / ALGERIE

Tel. : 213 (0) 21 50 21 84
Fax : 213 (0) 21 50 22 08
www.sika.com

Organisme de certification :
AFNOR CERTIFICATION
11, avenue Francis de Pressensé
93571 Saint-Denis La Plaine cedex
France

Notice technique
Edition octobre 2006
Numéro 2.11
Version n°136.2006 R 001
SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.

Présentation	SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.
Domaines d'application	<ul style="list-style-type: none"> ■ SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés. ■ Dans les bétons autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.
Caractères généraux	<p>SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ longue rhéologie (>2h), ■ robustesse à la ségrégation, ■ qualité de parement.
 	
Caractéristiques	
Aspect	Liquide brun clair
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fûts de 200 kg ■ Cubi de 1000 kg ■ Vrac
Stockage	<p>Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine.</p> <p>En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.</p>
Conservation	1 an en emballage intact
Données techniques	
densité	1,06 ± 0,01
pH	6 ± 1
Teneur en Na₂O Eq.	≤ 1 %
Extrait sec	30,2 ± 1,3 %

Teneur en ions Cl⁻	≤ 0,1 %
Conditions d'application	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.
Mise en œuvre	SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 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.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité.
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA® a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. 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 acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»

Organisme de certification :
AFNOR CERTIFICATION
11, avenue Francis de Pressensé
93571 Saint-Denis La Plaine cedex
France



Sika El Djazair.
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
www.sikaeldjazair.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08
Email: sika.commercial@dz.sika.com



HYDROFUGE SIKA LIQUIDE

Hydrofuge de masse liquide pour bétons.

Conforme à la norme NF EN 934-2



Présentation

L'HYDROFUGE SIKA LIQUIDE est un hydrofuge de masse liquide blanc pour bétons.

Domaines d'application

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

Caractères généraux

L' 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.

L' HYDROFUGE SIKA LIQUIDE est garanti sans chlore.

Il est sans effet appréciable sur la prise et les résistances mécaniques des bétons.

Caractéristiques

Coloris Liquide Blanc

Conditionnement

Bidon de 5 litres
Fût de 210 kg

Stockage

L' HYDROFUGE SIKA LIQUIDE DOIT ETRE STOCKE A L'ABRI DU GEL ET DE LA CHALEUR.

Pour que le produit conserve toute sa fluidité et pour faciliter ainsi la mise en œuvre par doseurs, il est recommandé de le stocker à une température inférieure à 30°C. Eviter l'exposition directe des emballages au soleil.

Conservation

1 an en emballage intact

Données techniques

densité 1,02 ± 0,01

Teneur en ions Cl⁻ < 0,1 %

Teneur en Na₂O_{éq} ≤ 2,0 %

Absorption Capillaire (NF EN 480-5)

Pour un dosage de 2,0% de la masse de ciment sur mortier (NF EN 480-1) :

- Essais sur 7 jours, après 7 jours de conservation : mortier adjuvanté : ≤ 60% en masse du témoin
- Essai sur 28 jours, après 90 jours de conservation : mortier adjuvanté : ≤ 75% en masse du témoin

Résistance à la compression (NF EN 12390-3)

Pour un dosage de 2,0% de la masse de ciment sur béton (NF EN 480-1)

- A 28 jours : béton adjuvanté ≥ 85% du béton témoin.

Teneur en air du béton frais (NF EN 12350-7)

Pour un dosage de 2,0% de la masse de ciment sur béton (NF EN 480-1)

- Pour le béton adjuvanté : ≤ 2% en volume au-dessus de celle du béton témoin.



Conditions d'application

Consommation / 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)

Mise en œuvre

L'HYDROFUGE SIKA LIQUIDE s'ajoute dans le malaxeur en même temps que l'eau de gâchage.

Précautions d'emploi

Manipulation non dangereuse.

En cas de contact avec la peau, un simple lavage suffit.

Consulter la fiche de données de sécurité accessible par Minitel 3613, code SIKASECUR ou sur Internet www.sika.fr

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel

Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.

«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. 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 acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger / ALGERIE

Tel. : 213 (0) 21 50 21 84 www.sika.com
Fax : 213 (0) 21 50 22 08

SIKA® AER5

Entraîneur d'air.

Conforme à la norme NF EN 934-2 tab. 1 et 5



Présentation Le SIKA AER 5 est un entraîneur d'air à haute efficacité qui permet d'augmenter la quantité d'air dans le béton sous forme de fines bulles d'air très stables et de taille régulière, uniformément réparties dans le béton.

Domaines d'application Bétons soumis au gel-dégel

- Bétons mis en œuvre en montagne.
- Ouvrages d'art.
- Bétons routiers.
- Barrages.
- Pistes.
- Dignes et réservoirs.
- Structures en béton de masse...

Bétons à faible teneur en éléments fins
L'addition de SIKA AER 5, agissant comme un correcteur granulométrique, rend le béton plus maniable et facilite sa mise en œuvre par un effet «roulement à billes» des bulles d'air.

Bétons extrudés
Le SIKA AER 5 augmente la thixotropie du béton et permet la réalisation de bétonnage en continu : glissières de sécurité, caniveaux...

Caractères généraux

- Augmentation de l'ouvrabilité du béton.
- Meilleur aspect du béton au démoulage.
- Accroissement de la cohésion en réduisant le risque de ségrégation.
- Diminue la capillarité du béton.
- Augmente la durabilité du béton soumis aux cycles gel-dégel et sa résistance aux sels de déverglaçage.

Caractéristiques

Coloris Brun foncé

Conditionnement

- Fût de 205 kg
- Conteneur perdu de 1000 l
- Vrac

Stockage Le SIKA AER 5 doit être stocké à l'abri du soleil et du gel, à des températures comprises entre + 1°C et + 35°C.

Conservation Dans son emballage d'origine intact et fermé, il se conserve 12 mois.

Données techniques

densité 1,03 ± 0,01

pH 10,5 à 12



Extrait sec (en masse)	8,8 à 9,8 %
Teneur en ion Cl ⁻	< 0,1 %
Teneur en Na ₂ O éq.	≤ 4 %
Conditions d'application	
Consommation / Dosage	<u>Plage d'utilisation recommandée</u> 0,03 à 0,5 % du poids du ciment.
	La quantité d'air entraîné est fonction du dosage de SIKA AER 5 mais dépend également de la composition du béton (nature et quantité d'éléments fins), de sa plasticité, du temps de malaxage, de la propreté des granulats, du type de ciment ou de liant et de sa finesse de mouture ainsi que de la température du béton.
	<u>Dosage habituel du SIKA AER 5</u> : 0,15 % du poids du ciment.
	Il est nécessaire de procéder à un contrôle régulier sur chantier de la régularité du pourcentage d'air occlus.
Mise en œuvre	Introduire le SIKA AER 5 dans l'eau de gâchage avant vidange dans le malaxeur ou en même temps que l'eau de gâchage.
Restrictions d'utilisation	Le gâchage du béton avec des eaux de recyclage chargées en éléments fins conduit à limiter l'effet de l'air entraîné. Les additions de type cendres volantes silico-alumineuses peuvent avoir un effet négatif à l'égard de l'entraînement d'air. Des essais préalables sont nécessaires.
Précautions d'emploi	<ul style="list-style-type: none"> ■ Manipulation non dangereuse. ■ En cas de contact avec la peau savonner et rincer à l'eau. ■ En cas d'éclaboussure dans les yeux ou sur les muqueuses rincer abondamment à l'eau tiède. Consulter la fiche de données de sécurité accessible par Minitel 3613, code SIKASECUR ou sur Internet www.sika.fr
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. 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 acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger / ALGERIE

Tel. : 213 (0) 21 50 21 84
Fax : 213 (0) 21 50 22 08
www.sika.com

Organisme de certification :
AFNOR CERTIFICATION
11, avenue Francis de Pressensé
93571 Saint-Denis La Plaine cedex
France