REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. YAHIA FARES De MEDEA

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département De Génie Civil

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme MASTER en génie civil

Option: STRUCTURE

THEME

ETUDE DE COMPORTEMENT DES MORTIERS A BASE DE RÉSINE LATEX

Etudié par :

M^elle : BENSAIDANE Hassiba

Dirigé par :

M^r : BOUKSANI. O

Co encadreur:

M^r Belhamel Farid

Promotion: juin 2015

Remerciement

En tout premier lieu, Je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Ma plus grande gratitude va à mon encadrant Mr BOUKSANI, pour sa disponibilité et la confiance qu'il m'a accordée. Je vais profiter pendant longtemps du savoir et savoir-faire dont j'ai pu bénéficier au cours de nombreuses discussions. J'aimerais aussi le remercier pour l'autonomie qu'il m'a accordée, et ses précieux conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

J'exprime toute ma reconnaissance à monsieur Belhamel co encadreur pour ces aidées et précieux conseils

Que les professeures trouvent ici l'expression de mes vifs remerciements pour avoir bien voulu juger ce travail.

Afin de n'oublier personne, mes vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de ce modeste mémoire.

Dédicace

Au nom de Dieu Le Clément et Le

Miséricordieux Louange à

ALLAH le Tout-puissant.

A mes parents qui ont sacrifiés leurs vies

pour donner sens à la

Mienne.

A mes chers grands parents pour leur

encouragement.

A mon encadreur qui ma beaucoup aidé.

A mon frère et mes sœurs.

A tout mes amies, en particulier: Djaouida;

Hadjer ; Amina ; Ahlem ; Hamida ; Rima…

A tout la promotion juin 2015

HASSIBA

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Liste des tableaux

Liste des figures

Notations

Introduction générale

Chapitre I l'étude bibliographique et contexte de l'étude

I INTRODUCTION : ……..*1*

II. DIFFERENT TYPES DE MORTIER :**……...2**

II.1. MORTIERS DE CIMENT…… ……2

II.2. MORTIERS DE CHAUX :…..……...2

II.3. MORTIERS BATARDS ……2

II.4. MORTIERS MODIFIES AU POLYMERE :……..…….2

II.5. MORTIERS FABRIQUES SUR LE CHANTIER …… ...2

II.6. MORTIERS INDUSTRIELS SECS PRE MELANGES ……3

II.7. MORTIERS FRAIS RETARDES, STABILISES, PRETS A L'EMPLOI ……..3

II.2. DOMAINE D'UTILISATION DES MORTIERS :…… ……..3

II.2.1. LES JOINTS DE MAÇONNERIE ……3

II.2.2 LES ENDUITS :……4

II.2.3 LES CHAPES :……..5

II.2.4 LES SCELLEMENTS ET LES CALAGES :……..5

II.3. REACTIONS D'HYDRATATION DU CIMENT :……..6

II.3.1. CINETIQUE D'HYDRATATION DU CIMENT:……..7

II.4 MORTIER AU LIANT ORGANIQUE :……9

II.4.1. DEFINITION ET DOMAINE D'UTILISATION :……9

II.4.2.TYPE DE LIANT ORGANIQUE :……9

II.5. Les polymères acryliques :……11

II.5.1.Définition :……11

II.5.2 REACTION DES MORTIERS AU LATEX :……1
II.5.2.1. FORMATION DE LA CO-MATRICE POLYMERE-CIMENT:……11
II.3. 3 Le film polymère :……..14
II.5.3. CARACTERISTIQUES DES MORTIERS MODIFIES AU LATEX :……15
II.5.3.1. CARACTERISTIQUE A L'ETAT FRAIS :……..15
II.5.3.2. CARACTERISTIQUE A L'ETAT DURCI :…….28
CONCLUSION :……25

Chapitre II Fissuration et Cicatrisation

II. Introduction :……26
II.1. Fissuration des mortiers :……26
II.1.1. Fissurations au jeune âge :……26
II.1.1.1. Causes et types de dégradation des bétons et des mortiers :……..26
II.1.2. Fissuration à long terme :……..26
II.1.2.1. Causes des dégradations à long terme du béton :……..……33
II.2. Cicatrisation des fissures :……40
II.2.1.Définitions :……40
II.3. Mécanismes de cicatrisation :…….….41
II.3.1. Mécanismes physico-chimiques :……..41
II.3.2.Mécanismes mécaniques……43
II.4. Observation de la cicatrisation dans les fissures :……43
II.4.1. Observation par le MEB :……..43
II.4.2 Observation par vitesse ultrasonique :……43
II.5. Effet de la cicatrisation sur la résistance du béton :……44
II.6. Effet de la cicatrisation sur les propriétés de transport :……45
II.6.1.Effet de la cicatrisation sur le transfert des chlorures dans les fissures :……45
II.6.2. Effet de la cicatrisation sur la perméabilité :……46
II.7. Auto-colmatage :……47
II.7.1. Définition :……47
II.7.2. les causes du l'auto colmatage :……48
Conclusion :……49

Chapitre III Matériau et Essais

III. Introduction:……..*50*

III.1 Programme expérimental et Protocole d'essais :……50

III.1.1. Matériaux utilisées :……..51

III.1.1.1 Le ciment :……51

III.1.1.2. Les sables :……..52

III.1.1.3. L'eau de gâchage :……53

III.1.1.4. les latex :……53

III.2. Préparation des matériaux :……54

III.2.1. Lavage du sable de concassage :……..54

III.2.2. Confection et Cure des éprouvettes :……54

III.2.3. Composition des mortiers :……..…54

III.3. Malaxage des mortiers :……..……55

III.4 Les essais :……..57

III.4.1 Equipement nécessaire :……..57

III.4.2. les essais effectués sur les granulats :……..60

III.4.3. Les essais effectués sur le mortier :……..62

III.4.3.1. Sur mortier frais :…….……62

III.4.3.2. Sur mortier durci :……..67

Conclusion :……*72*

Chapitre IV Résultat et Interprétation

IV. Introduction :……*73*

IV.1 Caractérisation des granulats :…….....73

IV.2. Caractérisation des mortiers :…….……..75

IV.2.1. Etat frais:…….….75

IV.2.2. Caractéristiques des mortiers à l'état durci :……80

Conclusion :……*84*

Conclusion général……..

Liste de référence ……

Annexe……..

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I Etude bibliographique et Contexte de l'étude

Tableau I.1 : Classification de la composition des différents types de mortier……..1

Chapitre II Fissuration et Cicatrisation

Tableau II.1 : Causes de dégradation et de détérioration du béton.....27

Tableau II.2: Relation entre les types de dégradations et les mécanismes de transport de masse Dans le béton.....*35*

Chapitre III Matériaux et Essais

Tableau III.1 : les Essais Réalisées Sur les Mortiers à l'état Frais et à l'Etat Durci.....51

Tableau III.2 : notation cimentière.....*52*

Tableau III.3 : principaux composants du ciment portland. ……52

Tableau III.4 : Compositions des différentes familles de mortiers réalisés.....*55*

Tableau III.5 : Opérations de malaxage du mortier sans les résines de latex.....*55*

Tableau III.6 : Opérations de malaxage du mortier avec les résines de *latex*……*56*

Chapitre IV Résultat et Interprétation

Tableau IV.1 : Caractéristiques des différents sables utilisés……73

Tableau IV.2 : Caractéristiques des différents types des mortiers réalisés à l'Etat Frais.....75

Tableau IV.3 : l'air occlus de différent mortiers réalisés (MT ; ML).....*77*

Tableau IV.4 : la densité des différent mortiers réalisés (MT ; ML).....*78*

Tableau IV.5 : le début et la fin du prise du différent mortier réalisé (MT ; ML).....*79*

Tableau IV.6 : Variation de la Resistance a la compression ; traction et le retrait des mortiers réalisé a 3j……80

Tableau IV.7 : Variation de la Resistance a la compression ; traction et le retrait des mortiers réalisé a 7j……80

Tableau IV.8 : Variation de la Resistance a la compression ; traction et le retrait des mortiers réalisé a 14j. 80

Tableau IV.9 : Variation de la Resistance a la compression ; traction et le retrait des mortiers réalisé a 28j.....81

Liste des figures

Listes des figures

Chapitre I Etude bibliographique et contexte de l'étude

Figure I.1 : Mortier pour jointement.....3

Figure I.2 : Mortier pour enduit…….4

Figure I.3 : Mortier pour les chapes.....4

Figure I.4 : Mortier pour scellement et calage.....4

Figure I.5 : Types de latex disponibles sur le marché……10

Figure I.6 : Modèle de formation de la Co-matrice polymère-ciment……13

Figure I.7 : Représentation schématique de la formation du film polymère…….14

Figure I.8 : Le taux d'hydratation du ciment……..15

Figure I.9 : Effet du rapport P/C sur la rétention d'eau……17

Figure I.10 : variation de la contrainte par le taux du latex……..18

Figure I.11 : Effet du rapport E/C et la cure sur la résistance……..19

Figure I.12 : Effet des conditions de cure sur la résistance à la flexion……..19

Figures I.13 : Effet des conditions de cure sur la résistance à la compression…….20

Figure I.14 : Effet du pourcentage de monomère sur les résistances des mortiers modifiés pardes polymères SBR, EVA et SAE……**……**…….20

Figure I.15 : Evolution des modules élastiques pour des pâtes à différents %m de latex pendant les trois premières heures d'hydratation……21

Figure I.16 : Epaisseur de carbonatation en fonction des conditions…….22

Environnementales pour des mortiers contenant ou non un latex [Ohama. 87].....22

Figure I.17: a gauche : déformation de fluage au cours du temps pour trois mortiers (p/c=10%) : o Sans adjuvants, △ modifié avec PAE , ▢ modifié avec SBR , a droite : coefficient de fluage pour les trois mortier……23

Figure I.18 : Distribution porosimétrique d'un mortier. (a) sans latex SBR, (b) avec latex SBR……..24

Figure I.19 : distribution porosemetrique de la pâte de ciment contenu plus ou moins de latex EVA sans HEC (a) et avec HEC (b)…….24

Figure I.20 : distribution porosimétrique de pâtes de ciment contenant plus ou moins du BEC sans latex EVA (a) et avec du latex EVA (b) ……..25

Chapitre II Fissuration et Cicatrisation

Figure II.1 : les différentes sollicitations mécaniques, chimiques, hydriques et thermiques26

Figure II.2 : Effet de ressuage……28

Figure II.3 : Influence du retrait sur la fissuration du béton……30

Figure II.4 : Les différentes causes et les effets des dégradations à long terme sur le béton .33

Figure II.5 : Processus schématique de dégradation des bétons par l'eau de mer……..36

Figure II.6: Modes de migration d'eau des petits pores vers les gros pores (Modèle de pression osmotique)……38

Figure II.7 : Formation de carbonate de calcium dans les fissures……..41

Figure II.8 : Formation de carbonate de calcium sur les parois d'une fissure……42

Figure II.9 : Observation de la cicatrisation dans les fissures par le MEB……..43

Figure II.10 : Effet de la fissuration par gel- dégel et la cicatrisation sur les valeurs de la vitesse ultrasonique mesurées……..44

Figure II.11: Effet de la fissuration et de la cicatrisation sur le taux de migration dans un Béton ordinaire sans air entraîné……..46

Figure II.12 : Effet de l'ouverture des fissures, de la température et de la cicatrisation sur la perméabilité.....47

Chapitre III Matériaux et Essais

Figure III.1 : Les sables utilisés.....53

Figure III.3: conservation dans l'eau a 20°c+/- 2°.....54

Figure III.2 : conservation des éprouvettes a l'aire libre.....54

Figure III.4 : Les étapes de fabrication des éprouvettes de mortier……56

Figure III.5 : Equipement nécessaire.....59

Figure III.6 : Procédure de mesure de l'équivalent de sable……61

Figure III.7 : Séries de tamis.....62
Figure III.8 : Maniabilimètre à mortier avec la tige de piquage.....63
Figure III.9 : Principe de fonctionnement du Maniabilimètre à mortier.....63
Figure III.10 : Etat du mortier avant et après mesure du temps d'écoulement……64
Figure III.11 : Aéromètre à mortier……..64
Figure III.12 : Etat final du mortier dans la cuve avant mesure.....66
Figure III. 13 : Mesure de la densité du mortier.....66
Figure III.14 : Appareil Vicatronic pour la mesure de prise Vicat et échantillon en cours d'essai…….67
Figure III.15 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction……68
Figure III.16: Essai de traction par flexion.....69
Figure III.17 : Dispositif de rupture à la compression.....69
Figure III.18: Presse Hydraulique (2000kN).....70
Figure III.19 : Essai de compression.....70
Figure III.22 : Rétractomètre……71

Chapitre IV Résultat et Intèrptitation

Figure IV.1 : La courbe granulométrique des granulats utilisée.....75
Figure IV.2 : Temps d'écoulement des différents mortiers réalisés.....76
Figure IV.3 : Air occlus de différent mortiers réalisés (MT ; ML).....77
Figure IV. 4: Densité des différents mortiers réalisés (MT ; ML).....79
Figure IV.6 : Variation de la Résistance à la compression de défirent mortiers réalisé (témoin et modifier)……..81
Figure IV.7 : Variation de la Résistance à la traction de défirent mortiers réalisé (témoin et modifier)…….82
Figure IV.11 : Variation du retrait de défirent mortiers réalisé (témoin ; modifier).....83

Résumé

*

ملخص

من العيوب الرئيسية لمادة الملاط و الخرسانة هي التشقق، و بالتالي قلة مقاومة التمدد .للتغلب على هذا المشكل تجري حاليا بحوث مهمة في مخابر عدة لإيجاد حلول لهذه المعضلة.

في ايطار اطروحتنا فكرنا في استعمال المركب الكيميائي لاتكس اللذي هو عبارة عن مستحلب اساسه الاكريليك

في هذه الدراسة تم تعويض مادة اللاتكس في كتلة الملاط بنسبة 12 % من كتلة الاسمنت ،و مقارنة خصائصها مع عجينة الملاط الطبيعي. ،كما أن خصائص عجينة الملاط قد تم تحليلها و مقارنتها (في الحالة الطرية) سهولة توضعها والهواء الداخلي و (الحالة الصلبة) قوة الضغط و قوة الشد والقص و الانكماش و التشقق.

على ضوء النتائج التجريبية المحصل عليها يمكن أن نستخلص أن تعزيز عجينة الملاط بالمركب الكيميائي اللاتكس يؤدي إلى الزيادة في قوةالشد والقص وأن استعماله يحسن من *سهولة توضعها* وفعالة للغاية بالنسبة لتكسير الملاط.

الكلمة المفتاح : الاسمنت ; الملاط ; الخرسانة ; التشقق ;الشد ;القص ; الانكماش ; اللاتكس ; مستحلب الاكريليك .

Résumé

Parmi les principaux défauts des mortiers et des bétons sont la fissuration,. Pour surmonter ce problème, il est actuellement d'importantes recherches dans plusieurs laboratoires pour trouver des solutions à ce dilemme. Dans le cadre de notre thèse, nous avons pensé à l'utilisation d'une résine latex est une émulsion acrylique.

Dans cette étude, le mortier modifié au latex est obtenu par le remplacement de 12% du poids de ciment par une solution à émulsion acrylique. Ainsi, on a comparé les propriétés des mortiers modifiés au latex avec ceux du mortier ordinaire. Cette comparaison a été effectué sur les caractéristiques à l'état frais (ouvrabilité, densité, air occlus et le temps de prise) et à l'état durci (compression, traction, cisaillement et retrait et retrait empêché).

À la lumière des résultats expérimentaux obtenus on peut conclure l'incorporation de latex permet d'assurer une certaine résistance à la fissuration.

Mots clés : ciment ; mortier ; béton ; fissuration ; retrait ; compression ; cisaillement ; Latex ; polymère ; acrylique.

Abstract

Among the main defects of mortars and concretes are cracking. To overcome this problem, it is now important research in several laboratories to find solutions to this dilemma. In this thesis, we thought of using a latex resin which is an acrylic emulsion.

In this study, the latex-modified mortar is obtained by the replacement of 12% of cement by weight acrylic emulsion. Thus, a comparison between the properties of latex modified mortars and the ordinary mortar is used. This comparison was made on the rheological characteristics (workability) and in the mechanical properties (compression, tension, shears and prevents free shrinkage and restrained shrinkage).

Based on the experimental results, we can deduce that the incorporation latex ensures a certain resistance to cracking.

Key Word: cement: mortars; concretes; cracking; restrained; compression; shears;
latex: acrylic emulsion.

Notation

Notation

E/C : Rapport eau /ciment ;

S/C : rapport sable/ciment ;

P/C :rapport polymère/ciment ;

C-S-H : silicate de calcium hydraté

CH : hydroxyde de calcium;

CaO : La chaux ;

SiO_2 : La silice ;

Al_2O3 : L'alumine ;

Fe_2 O3 : L'oxyde de fer ;

3CaO SiO_2 (C_3 S) : Le silicate tricalcique impur (Alite) ;

2CaO SiO_2 (C_2 S) : Le silicate bi-calcique impur (Bélite) ;

3CaO Al_2O_3, (C_3 A) : L'aluminate tricalcique (Célite) ;

4CaO Al_2O_3 Fe_2O_3 (C_4AF) : L'alumino-ferrite tétra-calcique ;

SBR : caoutchouc styrène-butadiène ;

EVA : le vinyle-éthylène acétate ;

SA : Styrène/Acrylatede n- butyle ;

PH : potentielle hydrogéné ;

NA : Norme Algérienne ;

NE : Norme Européenne ;

EN Norme anglaise ;

MT : Mortier témoin. ;

ML : mortier modifié par le polymère latex ;

L : Variation de longueur par apport à la longueur origine ;

RC : La résistance a compression ;

Rt : La résistance a la traction ;

S : Sable ;

fc : Résistance souhaitée du béton a 28 jours ;

CPJ : Le ciment portland composé ;

C : Dosage du ciment exprimée en Kg/m3 ;

Mf : Module de finesse ;

ESV : Equivalent de sable à vue ;

ES : Equivalent de sable à piston ;

E : Dosage en eau ;

L0 : Longueur de base, prise égale à 280mm.

Introduction Général

Introduction général

Le Mortier est un constituant élémentaire dans la construction en maçonnerie. Il est traditionnellement fait en combinant de l'eau avec le sable, le ciment Portland avec ou sans ajout de chaux. La modification de la composition du mortier permet de donner une large gamme de caractéristiques physico-mécaniques. En plus des matériaux minéraux des mortiers modifiés par des adjuvants chimiques, qui peuvent être utilisés avantageusement et économiquement dans certaines circonstances.

Parmi les problèmes qui rencontrent les mortiers ordinaires c'est la fissuration. Plusieurs chercheures ont indiqué que les causes de cette fissuration est due aux attaques mécaniques et chimiques (retrait ; corrosion des armatures…etc.) et probablement à une mal conception, une mauvaise mise en œuvre et un mauvais choix des matériaux.

Plusieurs solutions sont indiquées dans la littérature pour minimiser les risques de fissuration de ces mortiers. Parmi les solutions trouvés ; le mortier modifier par les polymères (les mortiers résineux) l'un des meilleures solutions qui peut conserver les caractéristiques du béton et le mortier pour une long durée.

Le mortier modifié par des polymères (mortier résineux) est fabriqué en combinant une partie des liants traditionnels avec des polymères. Ces polymères sont ajoutés au mortier pour augmenter les caractéristiques qui peuvent inclure l'adhérence, la perméabilité, la dureté, résistance à la flexion ou en traction, et une résistance aux produits chimiques (agent corrosif). Egalement, ils peuvent être économisés jusqu'à 50 % de matériaux. Ainsi, pour certaines applications spéciales, ils concurrencent le béton ordinaire hydraulique.

L'objectif de cette thèse est de mieux comprendre l'influence de la présence de polymère sur le comportement des mortiers. Pour cela, deux type de mortier (témoin et modifiés par de polymère) ont été formulés : un seul type de polymère pour ce type d'application a été utilisé qui est le latex.

-Plan de travail :

- Le premier chapitre est une revue bibliographique sur le mortier et ces différents type ainsi l'avantage du polymère sur le comportement du mortier ;

- Le deuxième chapitre est consacré à la fissuration et leur principales causes ; aussi à la cicatrisation des fissure par auto colmatage ;

- Le troisième chapitre présente les différents essais réalisé pour une étude comparative entre le mortier ordinaire et le mortier polymère;

- Le quatrième chapitre exprime les résultats trouvés et les explications du troisième chapitre.

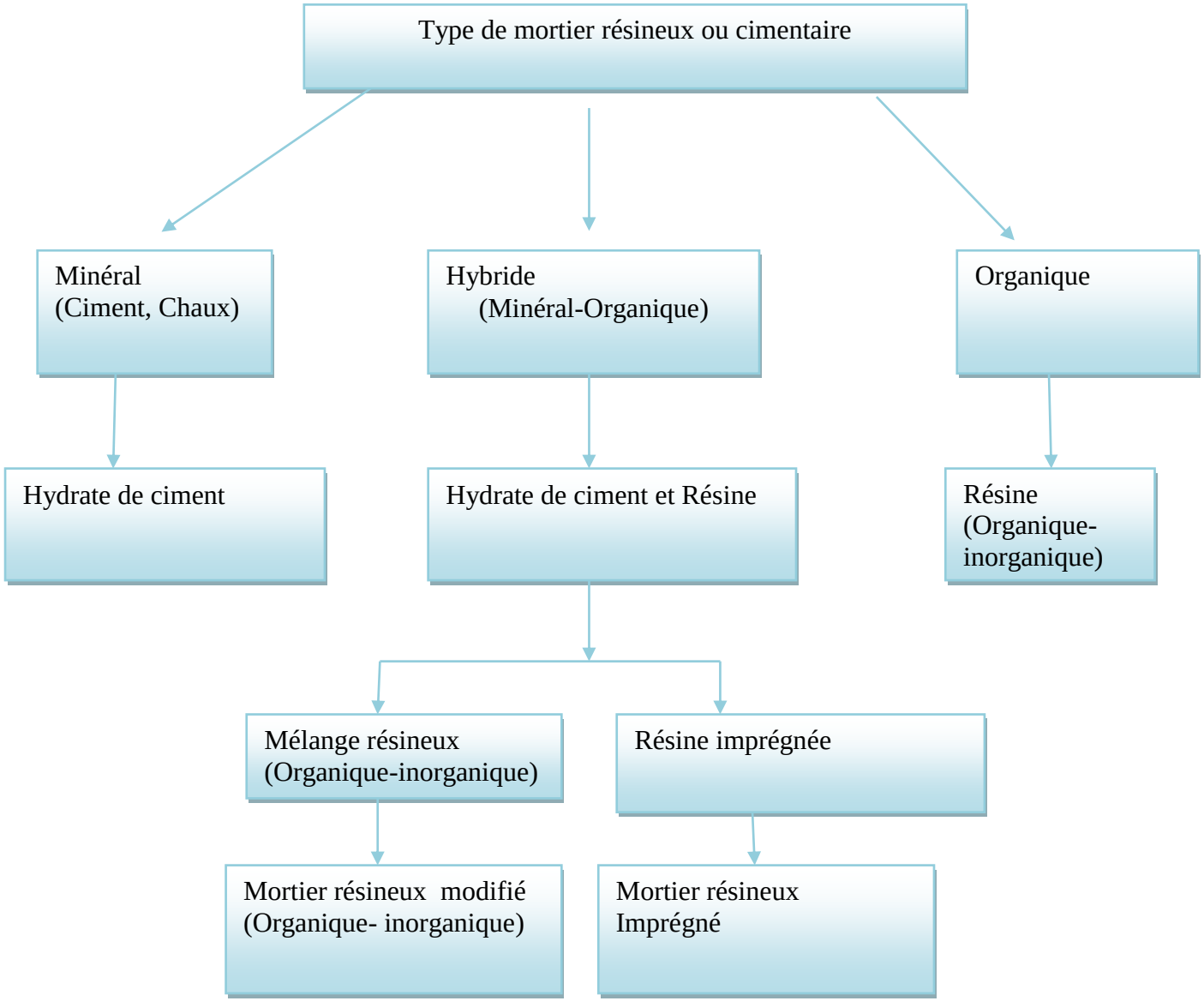
Chapitre I
Etude bibliographique et contexte de l'étude

I. Introduction :

Ce chapitre est destiné à présenter les principaux résultats issus de la littérature sur les mortiers précisément sur les mortiers modifiés par des polymères.

Les principes types des mortiers et leur domaine d'utilisation seront présentés, ainsi que la réaction d'hydratation du mortier ordinaire et le mortier modifié par des polymères et les mécanismes de durcissement de ces derniers, aussi leurs propriétés physico-mécaniques à l'état frais et à l'état durci.

Tableau I.1 : Classification de la composition des différents types de mortier *[Ohama.97]*.



II. Différent types de Mortier :

Le mortier est un mélange d'un liant minéral, de sable avec de l'eau et probablement d'un adjuvant. Il est utilisé en maçonnerie comme élément de liaison entre les briques, de scellement ou comme enduit. Parmi, les différents types de mortier on trouve :

II.1. Mortiers de ciment :

Les mortiers de ciment prisent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables et très résistants.

Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1 m3 de sable.

II.2. Mortiers de chaux :

A l'état frais, les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique.

II.3. Mortiers bâtards :

Le liant du mortier bâtard est un mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

II.4. Mortiers modifiés au polymère :

Les mortiers modifiés par des polymères sont préparés en ajoutant aux composants classiques du mortier (ciment, sable et eau) un polymère sous forme de poudre ou de liquide. Leur composition est essentiellement définie par trois rapports *[Ohama .95]* :

- le rapport sable/ciment S/C, généralement compris entre 1:2 et 1:3,
- le rapport polymère/ciment P/C, variant de 5 à 20%
- le rapport eau/ciment E/C, compris entre 0,3 et 0,6 selon la maniabilité désirée.

II.5. Mortiers fabriqués sur le chantier :

La fabrication d'un mortier sur un chantier doit tenir compte des conditions de stockage qu'au mélange des constituants qui seront choisis. Ainsi, choisir correctement le liant en fonction de son type et de sa classe, le ou les sables, la teneur en eau (pour obtenir la plasticité désirée) et les adjuvants adaptés à la destination du mortier. Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires.

II.6. Mortiers industriels secs pré mélangés :

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années, afin d'assurer un pré-dosage d'une composition constante qui garantie la régularité et la qualité de ces mortiers. Ces derniers permettent d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers parfois exigus et difficiles d'accès : rénovation, travaux souterrains.

II.7. Mortiers frais retardés, stabilisés, prêts à l'emploi :

Les mortiers frais retardés et stabilisés sont élaborés et livrés par des centrales tout comme le béton prêt à l'emploi. Du fait qu'ils sont retardés, ces mortiers peuvent être livrés et stockés en quantité importante sur le chantier. On peut les utiliser dans un délai allant jusqu'à 36 heures.

II.2. Domaine d'utilisation des mortiers :

II.2.1. Les joints de maçonnerie :

Les mortiers de joints sont utilisés pour assembler les éléments de maçonnerie (blocs de béton, pierres de taille, briques). Généralement, les mortiers ne doivent pas présenter un module d'élasticité trop élevé, de façon à pouvoir s'adapter aux variations dimensionnelles des éléments qu'il liaisonne sans fissurer.

Figure I.1 : Mortier pour jointement.

II.2.2 Les enduits :

L'enduit est un support avec lequel on recouvre une paroi de maçonnerie brute, pour lui donner en général une surface uniforme et plane, et utiliser aussi à l'extérieur, pour la protéger des intempéries et souvent constituer un parement uniforme à caractère décoratif et, à l'intérieur pour servir d'élément pour l'esthétique. Dans ce dernier cas, l'enduit est du domaine de confort plutôt que de la protection.

Figure I.2 : Mortier pour enduit.

II.2.3 Les chapes :

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels).

Figure I.3 : Mortier pour les chapes.

II.2.4 Les scellements et les calages :

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser. On trouve, les scellements d'éléments de couverture, scellements d'éléments de second œuvre, scellements de mobiliers urbains, scellements de regards de visite, assemblage d'éléments préfabriqués…

Figure I.4 : Mortier pour scellement et calage.

II.3. Réactions d'hydratation du ciment :

L'hydratation de chacun des types de composés (aluminates et silicates) conduit à des produits identiques avec des cinétiques différentes. Cela explique l'évolution des propriétés mécaniques des ciments à l'échelle macroscopique.

-Hydratation des silicates :

Il se produit au contact de l'eau une réaction exothermique qui donne lieu à la formation de silicate de calcium hydraté (C-S-H) et d'hydroxyde de calcium (CH) encore appelé portlandite. Les réactions ayant lieu sont les suivantes [1, 2] :

$$2\ C_3S + 8\ H \rightarrow C_3S_2H_5 + 3\ CH \qquad [1]$$

$$2\ C_2S + 6\ H \rightarrow C_3S_2H_5 + CH \qquad [2]$$

L'hydratation de l'alite est rapide. Elle commence dès les premières heures après le gâchage. C'est donc cette phase qui confère les propriétés mécaniques du ciment au jeune âge.

En revanche, l'hydratation des C_2S est beaucoup plus lente. Leur contribution à la résistance mécanique du ciment devient significative à partir d'une semaine.

-Hydratation des aluminates :

Les particules de C_3A sont très réactives en l'absence de sulfates. C'est pour cette raison que du gypse (CSH_2) est utilisé dans la fabrication du ciment. Ainsi en présence d'eau, les aluminates (C_3A et C_4AF) réagissent avec le gypse pour former du trisulfoaluminate de calcium hydraté, plus simplement appelé ettringite ($C_6AS_3H_{31}$). La réaction ayant lieu est la suivante [3] :

$$C_3A + 3\ CSH_2 + 25\ H \rightarrow C_6AS_3H_{31} \qquad [3]$$

Les aluminates C3A restant réagissent d'une part avec une partie de l'ettringite pour donner du monosulfoalumininate de calcium [4] et d'autre par avec de l'eau pour donner des aluminates hydratés [4 ; 5]:

$$C_3A + 14\ H + C_6AS_3H_{31} \rightarrow 3C_4AS_3H_{15} \qquad [4]$$

$$2\ C_3A + 21\ H \rightarrow C_4AH_{13} + C_2AH_8 \qquad [5]$$

-Hydratation des alcalins :

Par ailleurs, le ciment contient en faible quantité (moins de 1%) des alcalins sous forme d'oxydes qui se dissolvent totalement au contact de l'eau et libérèrent des ions hydroxyles [6, 7] :

$$Na_2O + H_2O \rightarrow 2\ Na^+ + 2\ OH^- \qquad [6]$$

$$K_2O + H_2O \rightarrow 2\ K^+ + 2\ OH^- \qquad [7]$$

Il s'établit aussi dans le milieu un équilibre entre la portlandite et les ions calcium [8] :

$Ca(OH)_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + 2\ OH^-$ [8]

II.3.1. Cinétique d'hydratation du ciment:

L'hydratation du C_3S est généralement décrite en trois ou quatre étapes selon les auteurs *[Jennings.00] ? [Damidot.92]:* la période initiale ou de pré-induction, la période dormante ou d'induction, la période de prise ou d'accélération, la période de durcissement ou de ralentissement.

- *période initiale (pré-induiction)* :

Elle est de l'ordre des une minute. Lors du contact entre les grains de C_3S et l'eau, il se produit une réaction quasi-instantanée et fortement exothermique, provoquant un premier pic de dégagement de chaleur. Cette première réaction consomme moins de 1 % de C_3S.

- *période dormante (induction)* :

Elle dure de deux à six heures. Cette période de quelques heures, la réaction d'hydratation évolue très lentement. Cette étape permet notamment le transport du béton ou du mortier avant qu'il ne fasse prise. Le rapport Ca=Si au niveau de la couche d'hydrate augmente jusqu'à atteindre une valeur approximative de *[Regourd.80], [Jennings.89*]. La fin de cette période est caractérisée par la précipitation quasi simultanée de $Ca(OH)_2$ et d'un C-S-H plus fibreux (C-S-H (S) selon Jennings). Les études plus récentes sur l'hydratation se basent plutôt sur l'influence des phénomènes de sursaturation de la solution pour expliquer le phénomène *[Barret et coll. 86]*. Il semble, entre autres, que la germination hétérogène des C-S-H à la surface des grains de C_3S puisse être à l'origine de cette période d'induction *[Garrault.98]*.

- *La phase de prise (accélération)* :

Elle se produit pendant une dizaine d'heure jusqu'à vingt-huit jours. Selon *[Garrault et Nonat.01],* c'est la croissance libre des C-S-H qui est le moteur de cette phase, qui est d'autant plus rapide que les hydrates vont croître parallèlement au grain anhydre et finir par le recouvrir totalement.

- *Période de durcissement (ralentissement)* :

Elle se produit pendant des mois et arrivé jusqu'à plusieurs années. Lorsque la surface du grain anhydre est entourée d'hydrates, la diffusion des réactants à travers cette couche dense devient plus lente, ce qui se traduit par un ralentissement de la réaction d'hydratation.

- *La réaction finale* :

Pendant cette période, les C-S-H ainsi que les cristaux de portlandite continuent de se former et de remplir la porosité.

II.4 Mortier au liant organique :

II.4.1. Définition et domaine d'utilisation :

Le mortier de résine est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un liant organique *[Ohama.97]*. Ce dernier est un polymère constitué d'enchaînements de monomères différents ou identiques reliés par des liaisons covalentes.

L'adition de latex au mélange permet une amélioration considérable des propriétés physico-mécaniques des mortiers ainsi modifiés.

Les mortiers modifiés latex sont utilisés dans de nombreux domaines de la construction en raison de leur résistance, de leur plus grande déformabilité, adhérence au support, imperméabilité et durabilité. Ils sont utilisés comme colle pour les carrelages et comme enduits sur isolants *[Jenning.05]*.

Aussi, les mortiers modifiés par des polymères sont destinés à la finition et aux travaux de réparation. Ils sont utilisés dans le recouvrement des surfaces de ponts, des surfaces des salles de sports, des stades, des laboratoires, des hôpitaux, des usines et des entrées de magasins *[Fowler.99]*.

Mode d'introduction

La préparation des mortiers de ciment modifiés au polymère se fait selon les mêmes étapes que celles de mortiers de ciment conventionnels excepte qu'un mélange de polymère, sous forme de dispersion liquide, est ajouté au mortier de ciment frais *[Ohama et Ramachadran.91]*.

II.4.2.Type de liant organique :

Il existe plusieurs types de liants organiques. Latex sont disponibles sur le marché (figure I.5). De ces latex, les latex élastomériques et thermoplastiques sont ceux dont l'utilisation est la plus grande. Les latex commerciaux tels que le caoutchouc styrène-butadiène (SBR), les acryliques et le vinyle-éthylène acétate (EVA) font notamment partis de ces latex.

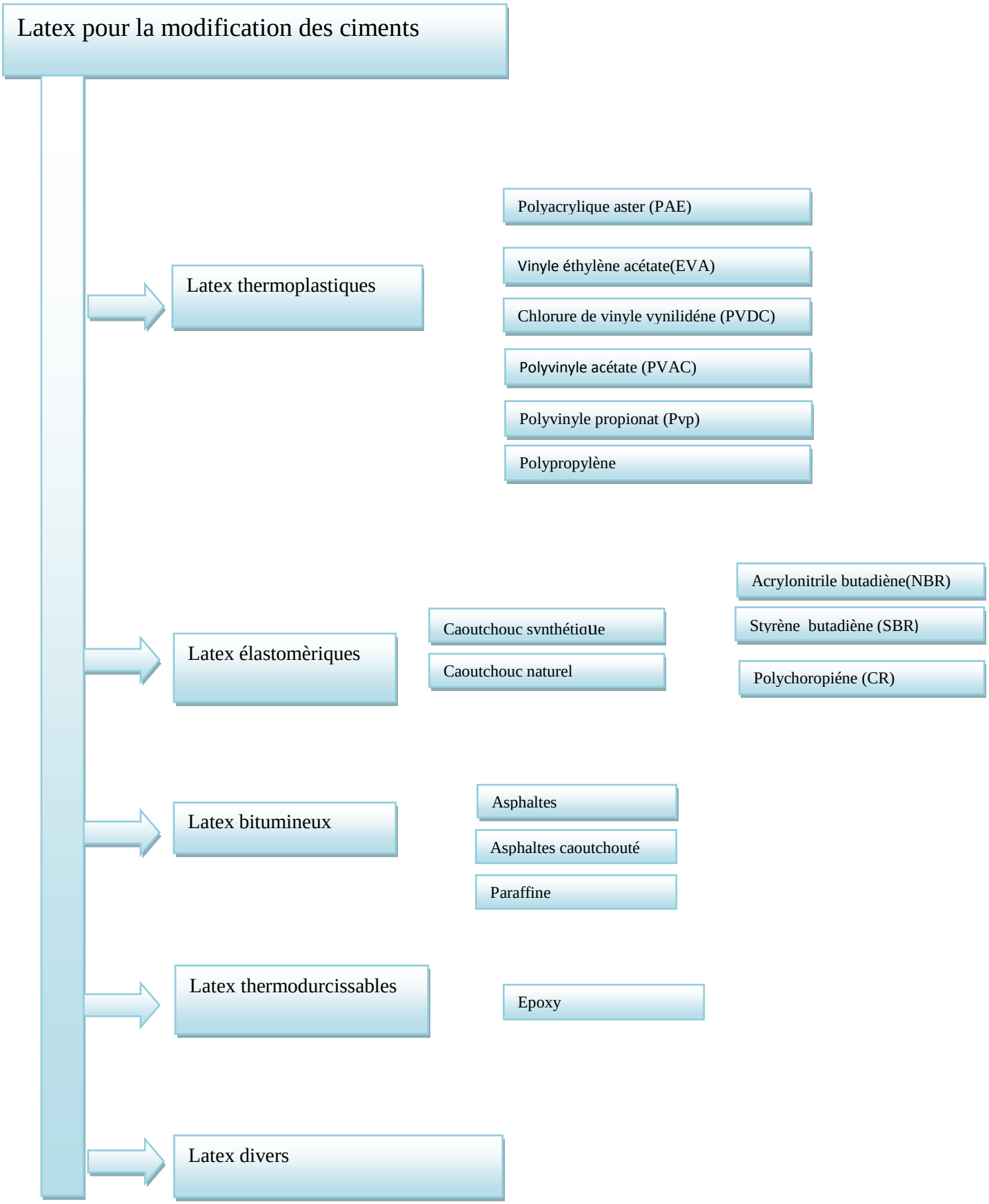


Figure I.5 : Types de latex disponibles sur le marché *[Ohama et Ramachadran. 91]*.

II.5. Les polymères acryliques :

II.5.1.Définition :

Les latex sont des dispersions colloïdales de polymère stabilisées dans un milieu aqueux. Ils peuvent être sous forme liquide ou sous forme de poudre Lorsqu'ils sont sous forme liquide, on parle de résines, ajoutés à un catalyseur lorsqu'ils sont combinés au mortier ou béton. Plusieurs latex sont utilisés, comme le Styrène-Butadiène (SBR), le poly (Styrène/Acrylatede n- butyle) (SA).

II.5.2 Réaction des mortiers au latex :

La modification au latex des mortiers de ciment est gouvernée par deux processus distincts. Le premier provoque la formation d'une phase matricielle monolithique dans laquelle la phase de ciment hydrate et celle de polymère s'interpénètrent pour former une Co-matrice qui lient les granulats présents dans le mélange de ciment frais. Tandis que le deuxième provoque la formation d'un film de polymère autour des particules de ciments.

II.5.2.1. Formation de la Co-matrice polymère-ciment:

Lorsque le mortier au polymère est mélangé avec l'eau, l'hydratation du ciment se fait en même temps que la formation d'une phase pure de polymère correspondant à la coalescence des particules de polymères au moment de l'appauvrissement en eau de la matrice cimentaire.

Ceci provoque la formation d'une phase matricielle monolithique dans laquelle la phase de ciment hydrate et celle de polymère s'interpénètrent pour former une Co-matrice qui se lient ainsi aux granulats présents dans le mélange. Le processus de formation de cette Co-matrice peut être explique par un modèle à quatre étapes (figures 1.6) *[Ohama.87]*.

- **Première étape :**

Aussitôt après l'incorporation du latex au mortier de ciment frais et son malaxage, les particules de latex sont dispersées uniformément dans la pâte de ciment non-hydratée.

- **Deuxième étape :**

Au fur et à mesure de l'hydratation du ciment, une partie des particules de latex se dépose sur la surface des grains de ciment (hydraté et non-hydraté) et sur les granulats.

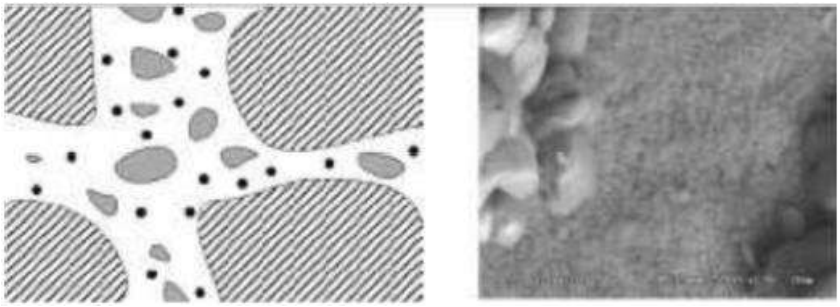
- **Troisième étape :**

Avec la progression du processus d'hydratation des particules de ciment, la quantité d'eau présente dans les pores capillaires est réduite entraînant ainsi la floculation des particules de latex après leur confinement peu à peu aux pores capillaires.

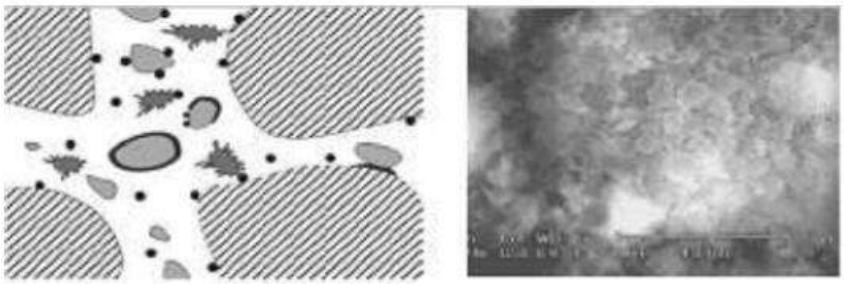
En floculant, ces particules forment à la surface une couche serrée qui enveloppe les mélanges de particules de ciment non-hydratées et de gel issus de l'hydratation des particules de ciment. Les particules de polymères peuvent ainsi remplir les pores de plus grandes dimensions présentes dans le mélange avec des particules adhésives et auto-adhésives.

- **Quatrième étape :**

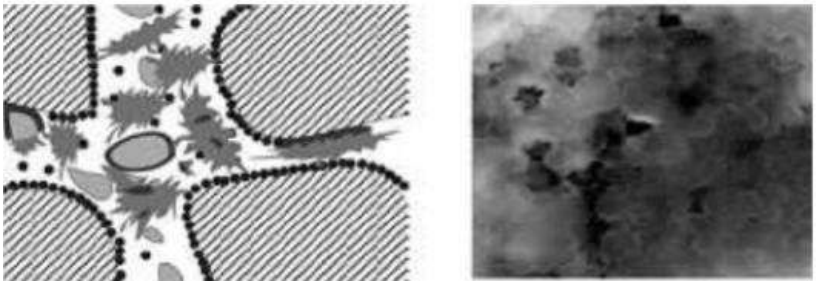
La poursuite de l'hydratation du ciment qui entraine la disparition de l'eau, permet aux particules de latex de former une couche serrée sur les particules de ciment qui se coalescent pour former un film de polymère continu. Ce film lie les hydrates de ciment ensemble ce qui amène la formation d'un réseau monolithique dans lequel la phase de polymère interpénètre celle du ciment hydrate pour assurer le lien des granulats.



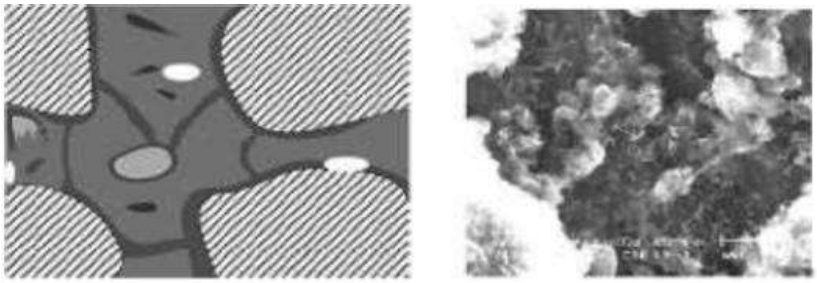
ETAPE 1 (juste après le mélange) : granulats (hachurées), grains de ciment anhydre (gris), particules de polymères (noir), eau (blanc) - de petites aiguilles d'ettringite sont formées



ETAPE 2 (après le mélange): le ciment hydraté (gris foncé), les particules de polymères interagissent avec les particules de ciment et les granulats. Un film continu de polymère peut se former- Les particules de polymère floculent les unes avec les autres (sans coalescence).



ETAPE 3 (l'hydratation du ciment se poursuit) : le film de polymère commence à se former sur des sites spécifiques et les particules de polymères commencent à coalescer ensemble en un film continu.



ETAPE 4 (l'hydratation se poursuit) : les particules de polymère coalescent en un film continu, les particules de ciment sont hydratées et les parties en blanc représentent l'air

Figure I.6 : Modèle de formation de la Co-matrice polymère-ciment *[Van Germer .05]*.

En plus de la formation d'une Co-matrice dans la microstructure du mortier modifié à la résine, une partie du polymère crée un film continu qui enveloppe partiellement ou totalement les grains de ciment.

Ce film correspond à la coalescence d'une partie de polymères au moment de l'évaporation progressive de l'eau de la matrice cimentaire *[Sakai. 95]*, où les particules se rapprochent, floculent, puis coalescent pour former ce film continu *[Su.96]*.

Selon *[Gretz.11]*.la formation du film autour des grains de ciment dépend d'une température seuil appelée température minimale de formation de film (TMFF), de la nature et du dosage du polymère. Aussi, Pascal *[Pascal.03]* a trouvé qu'un dosage de 5% de latex styrène-butadiène est suffisant pour la formation de ce film.

Les films formés apportent certains avantages aux matériaux cimentaires : bonnes propriétés mécaniques, adhérence au support, meilleure résistance à l'eau et aux sels, etc. *[Holland.86]*.

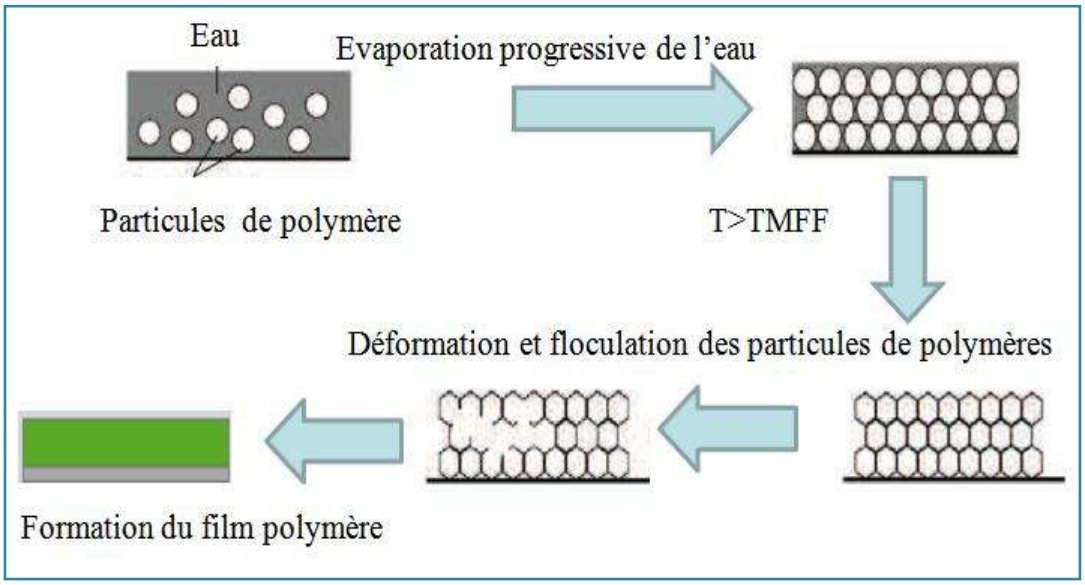


Figure I.7 : Représentation schématique de la formation du film polymère *[Gretz.11]*.

II.5.3. Caractéristiques des mortiers modifiés au latex :

L'utilisation des résines acrylique au mortier permet de modifier la rhéologie et les propriétés physico-mécaniques des mortiers de ciment.

II.5.3.1. Caractéristique à l'état frais :

- **l'hydratation :**

Les latex diminuent le taux d'hydratation de certains grains de ciment à cause de la dispersion du polymère et de la création du film continu qui enveloppe partiellement ou totalement ces grains. Ce qui retarde partiellement ou complètement l'hydratation du grain (Figure I.8).

Aussi, le latex polymère participe à la consommation des ions calcium, ce qui diminue la teneur en portlandite, ce qui entraîne une diminution de l'hydratation des mortiers modifiés latex *[Ollitrault-Fisher 98]*.

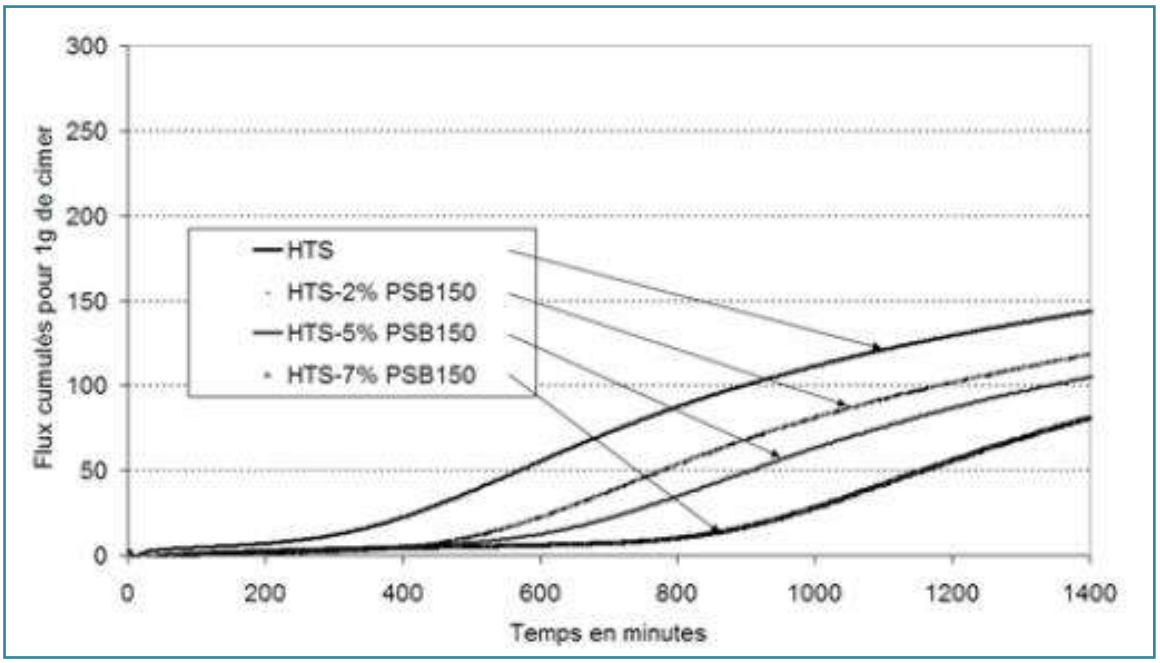


Figure I.8 : Le taux d'hydratation du ciment. *[Nicoleau.01]*.

- **La maniabilité** :

L'ajout de latex améliore la maniabilité du mortier de ciment. Ceci, grâce à l'effet de dispersion de l'agent tensio-actif *[Ohama.98]* que possèdent les polymères. En effet, le mortier nécessite moins d'eau pour une même consistance d'un mortier classique Le rapport E/C est nettement réduit pour une augmentation du rapport P/C *[Barluenga.04]*.

- **La rétention d'eau:**

Les mortiers modifiés par des polymères ont une rétention d'eau nettement améliorée par rapport à un mortier ordinaire. Cette rétention d'eau résulte des propriétés hydrophiles des particules colloïdales et du fait de la formation du film de polymère qui empêche le départ d'eau (Figure I.9) *[Afridi.95]*, *[Saija.95]*, *[Ohama.95]*, *[Capener. 05]*.

Aussi, plus le rapport Polymère/Ciment (P/C) augmente plus la rétention d'eau augmente aussi) *[Afridi.95]*, *[Saija.95]*,*[Ohama.98]*,*[Wang.11]*. Egalement pour différents types de polymères, *[Afridi. 95]*, plus le rapport Polymère/Ciment (P/C) est grand et plus le pourcentage de rétention d'eau n'est élevé.

- **L'air entraîné :**

Selon *[Jae-Ho.97]*, l'introduction du latex sous forme liquide au mélange Ciment-Sable-Eau diminue la quantité d'air entraîné *[Kim. 97]*.

Les mortiers modifiés par des polymères se caractérisent par un volume élevé d'air entraîné comparé à des mortiers classiques *[Jae-Ho.97]*.

Ceci est dû à l'action des agents tensio-actifs qui jouent le rôle d'émulsifiants et de stabilisants dans le polymère *[Meishan.02]*. Ce pourcentage d'air entraîné est compris entre 5 et 20% *[Ohama.98]*. Une quantité excessive d'air entraîné provoque une réduction de la résistance mécanique. Néanmoins, lorsque l'air entraîné est élevé, *[Kim.97]* a ajouté des agents anti mousse peuvent être ajoutés pour contrer l'effet entraineur d'air.

➢ **Ségrégation et ressuage :**

D'après *[Ohama.98]*, Les mortiers modifiés par des polymères ont de bonnes résistances à la ségrégation et au ressuage. Ceci est dû aux propriétés hydrophiles des particules de polymère.

Le polymère lui-même ou le surfactant le stabilisant réduisent la ségrégation *[Su. 95]*.

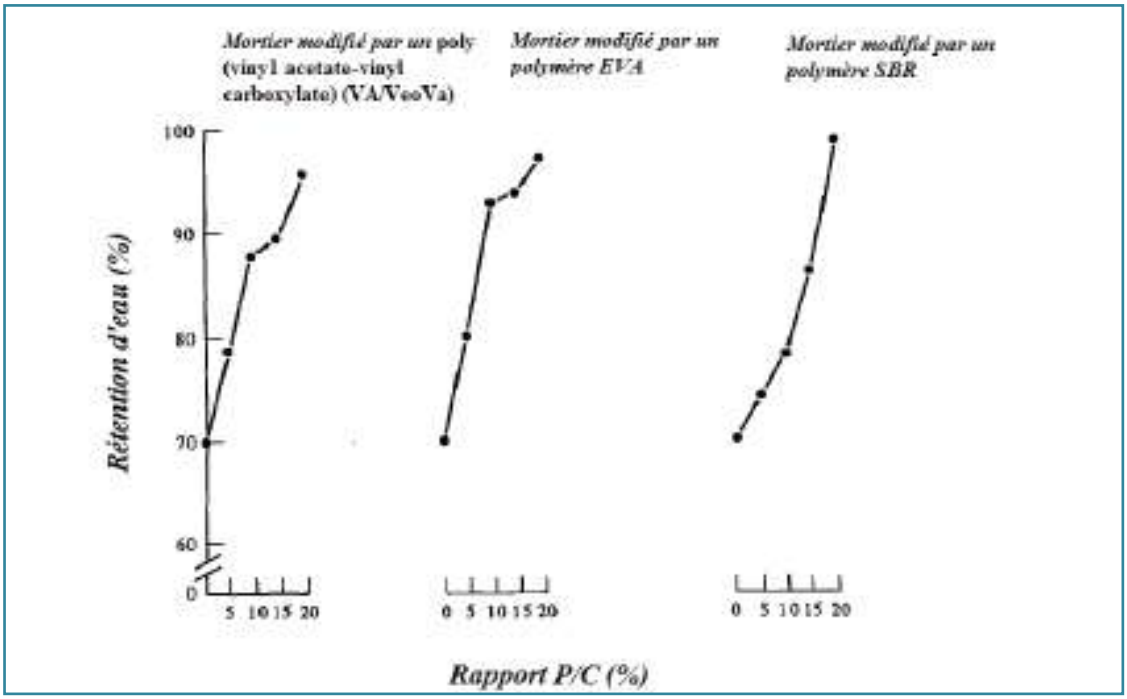


Figure I.9 : Effet du rapport P/C sur la rétention d'eau *[Afridi, 95]*.

II.5.3.2. Caractéristique à l'état durci :

- **La Résistance :**

Les résistances en flexion et en traction augmentent tandis que la résistance en compression est peu influencée par la présence de latex. En outre, les auteurs observent parfois une légère diminution de cette dernière qui peut être dû au ramollissement du matériau *[Goto.06]*. Aussi, les mortiers modifiés au latex offre une bonne adhérence au béton de support.

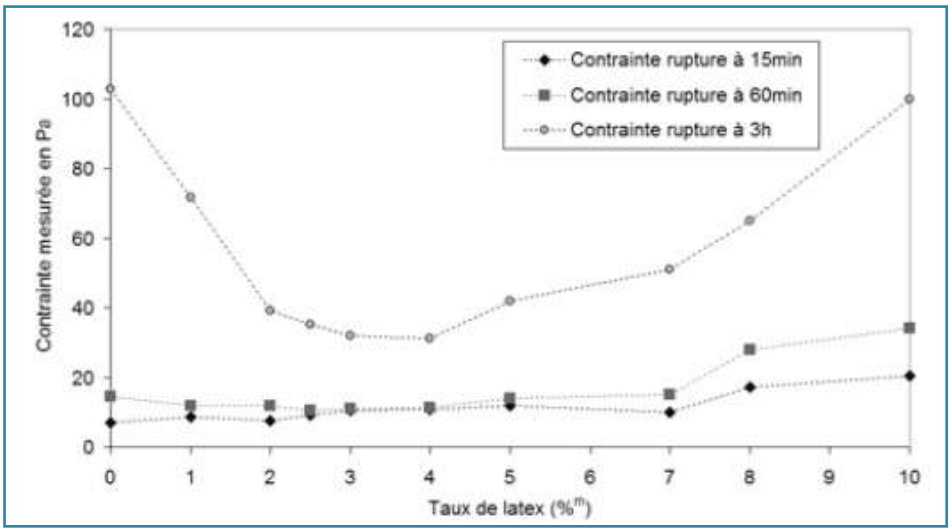


Figure I.10 : variation de la contrainte par le taux du latex *[Nicoleau.01]*.

Les propriétés mécaniques telles que les résistances dépendent du type du polymère, du rapport P/C et des conditions de cure *[Ru.05]*, *[Wang. 05]*.

Pour des teneurs différentes en polymères et un mortier de référence, *[Bureau.01]*, *[Pascal.03]* ont montré que pour la même maniabilité que les résistances à la traction, compression et flexion augmentent avec l'augmentation du taux de polymère.

Par contre, pour un E/C maintenu constant, la résistance à la compression diminue et la résistance à la traction augmente avec le taux de polymères. Cette amélioration de la résistance à la traction est due à l'amélioration de l'adhérence dans la matrice cimentaire et au pontage des microfissures par le polymère *[Bureau.01]*, *[Pascal.03]*.

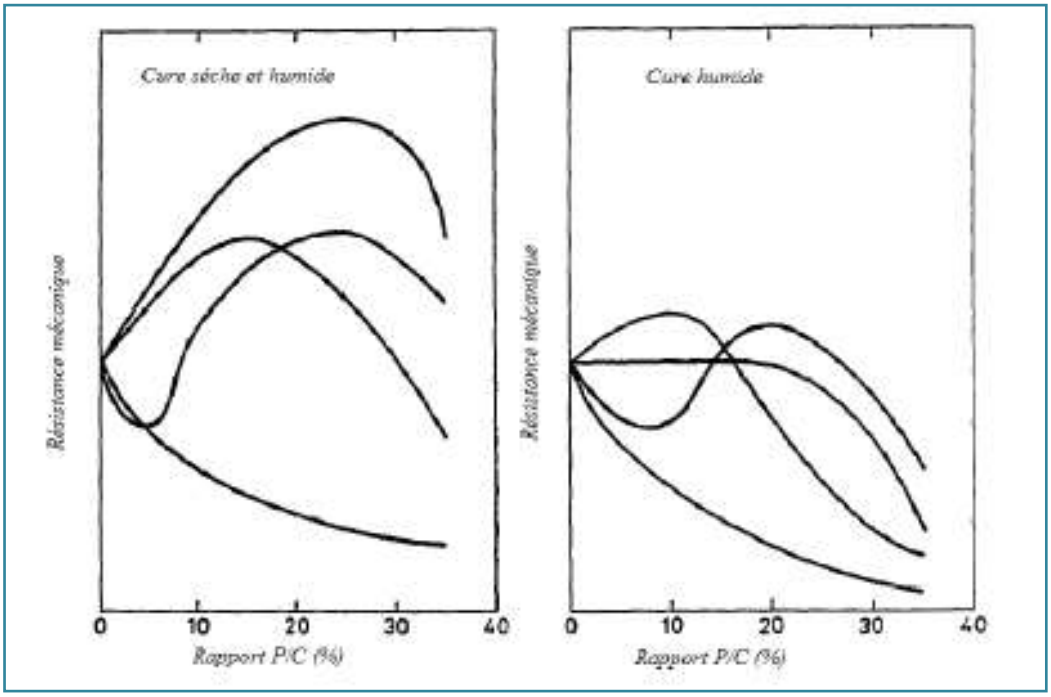


Figure I.11 : Effet du rapport E/C et la cure sur la résistance *[Ohama.98]*.

D'autres études montrent, que la résistance dépend du type de cure.

Les figures I.8 et I.9 illustrent l'effet de cure sur les résistances mécaniques. Les valeurs optimales sont obtenues pour des cures humides au jeune âge qui permettent d'atteindre un degré d'hydratation élevé suivies par des cures sèches permettant la formation du film de polymère responsable de l'amélioration des propriétés mécaniques des mortiers.

Néanmoins, lorsque les mortiers modifiés par des polymères sont immergés ils perdent de leur résistance.

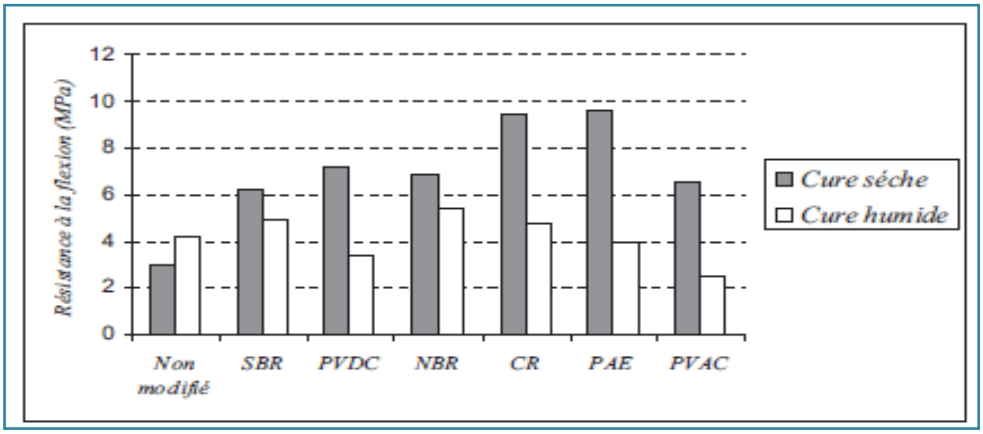
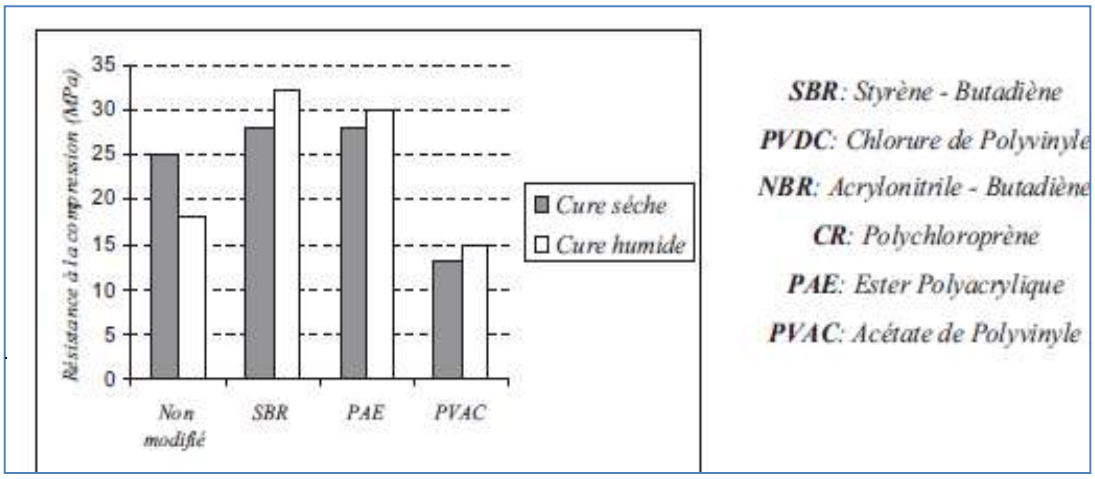


Figure I.12 : Effet des conditions de cure sur la résistance à la flexion *[Ohama.98]*.



Figures I.13 : Effet des conditions de cure sur la résistance à la compression *[Ohama.98]*.

Le pourcentage en masse du monomère dans le polymère peut aussi affecter les résistances mécaniques. Dans la figure 1.13, est présenté l'effet du monomère styrène ou éthylène sur les résistances à la compression et à la flexion de mortiers modifiés par un polymère SBR, SAE ou EVA.

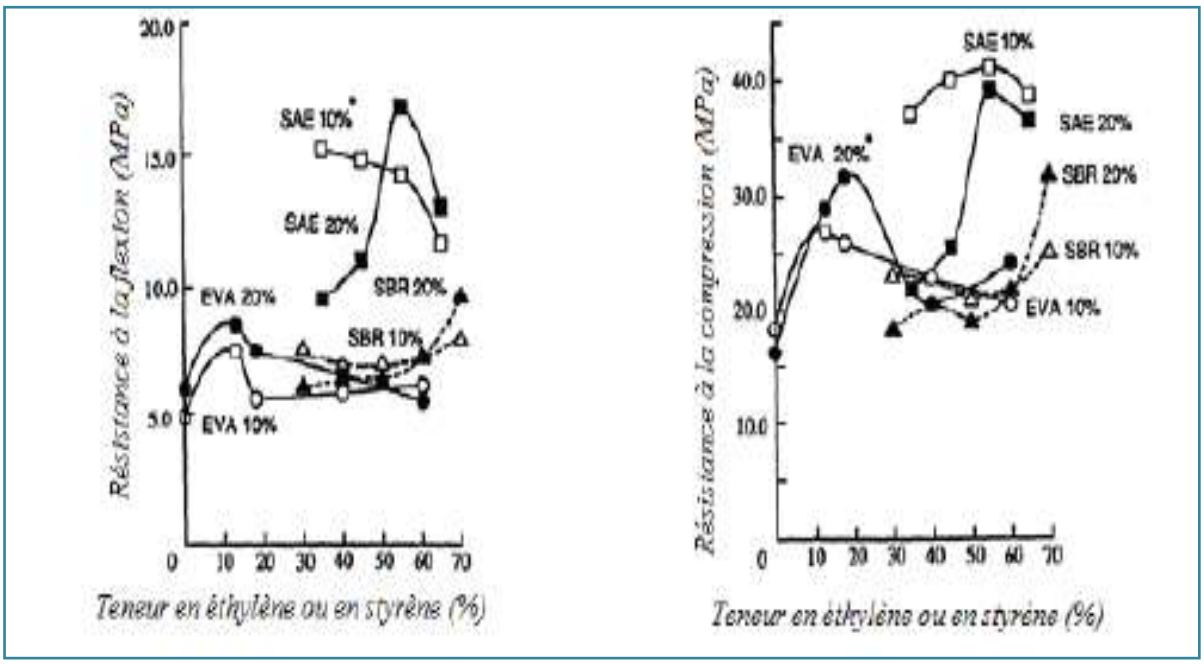


Figure I.14 : Effet du pourcentage de monomère sur les résistances des mortiers modifiés par des polymères SBR, EVA et SAE *[Ohama.98]*.

➢ **Module d'élasticité :**

Généralement, l'augmentation du dosage de latex dans les mortiers (de polymères) permet de réduire leur module d'élasticité. Cela démontre que les mortiers de polymères s'adaptent à la variation de déformation.

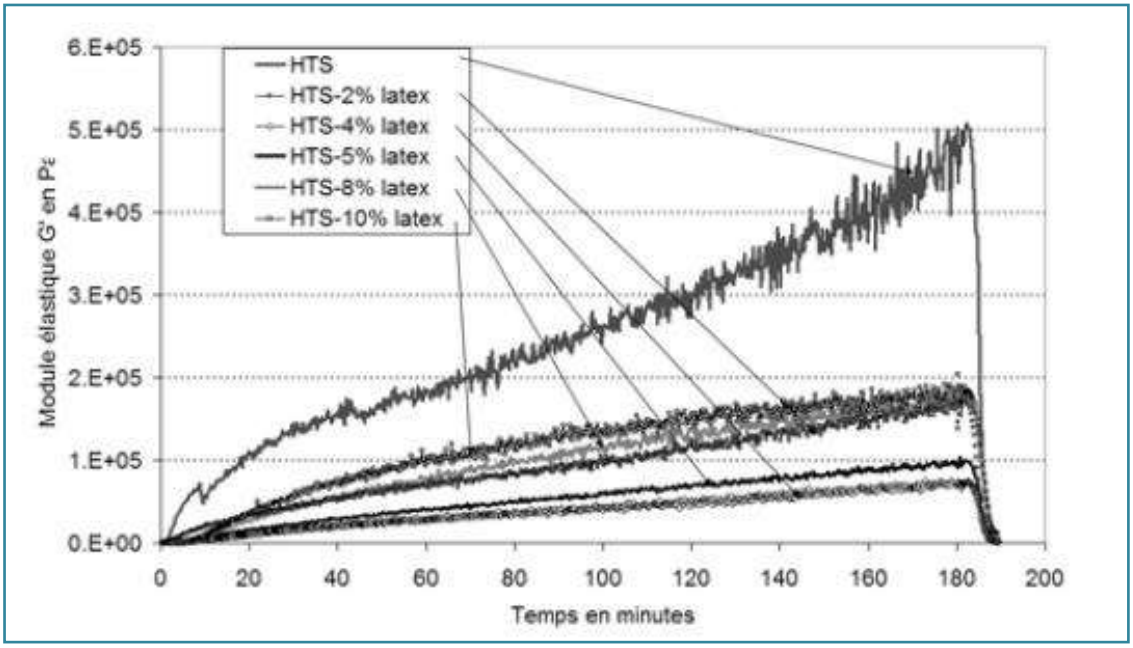


Figure I.15 : Evolution des modules élastiques pour des pâtes à différents $\%^{m}$ de latex pendant les trois premières heures d'hydratation. *[Nicoleau.01]*.

➢ **La perméabilité :**

L'ajout de latex diminue l'absorption d'eau, la perméabilité à l'eau liquide et à la vapeur d'eau *[Saija.95]*, *[Ray.95]*, *[Sumathy.97]*, *[Ohama.98]*. Cette dernière diminue d'autant lorsque le rapport P/C augmente.

Aussi, la perméabilité au CO_2 et à O_2 est aussi réduite. Ainsi, la résistance à la carbonatation de mortier stocké à l'abri ou à l'extérieur est remarquablement améliorée pour la plupart des latex (Figure I.16) *[Ohama.87]*, *[Ohama.98]*.

La réduction de la perméabilité et l'amélioration de la résistance à la pénétration de l'humidité et de 1'air résulte de l'effet du film continu de polymère qui rempli les pores les plus grosses.

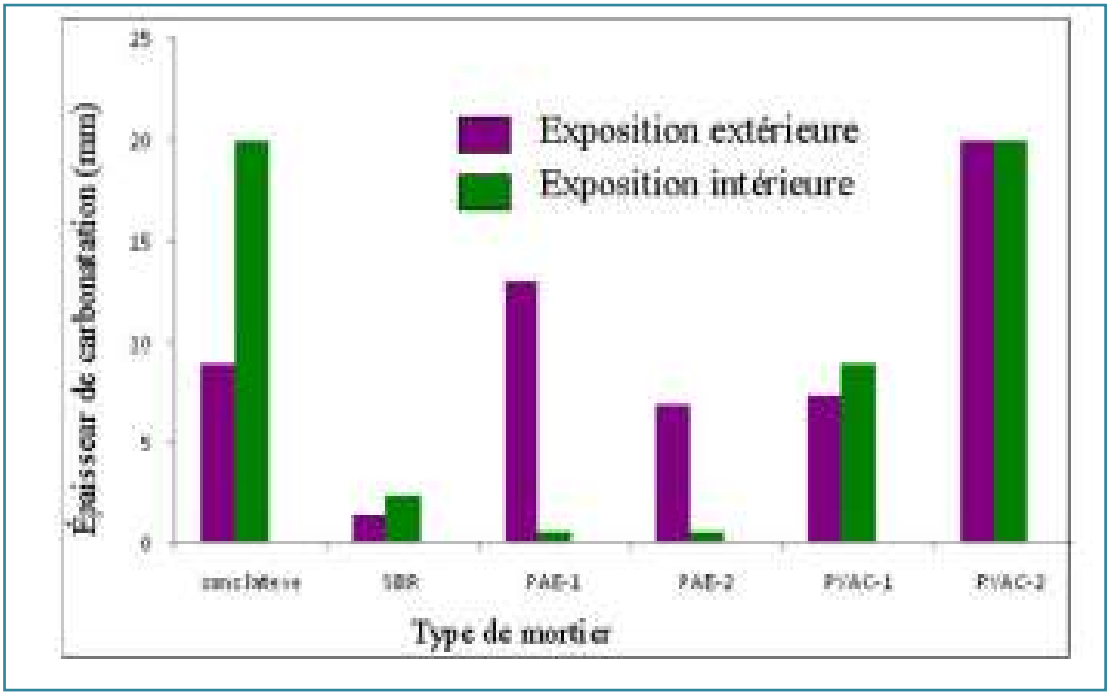


Figure I.16 : Epaisseur de carbonatation en fonction des conditions Environnementales pour des mortiers contenant ou non un latex *[Ohama. 87]*.

- **Le retrait :**

Le retrait de séchage est globalement légèrement diminué avec l'emploi de polymères, même si cela dépend du type de polymère et bien entendu du ratio P=C6. En revanche, le coefficient de fluage de mortiers modifiés avec du latex est très largement diminué par rapport a un mortier classique.

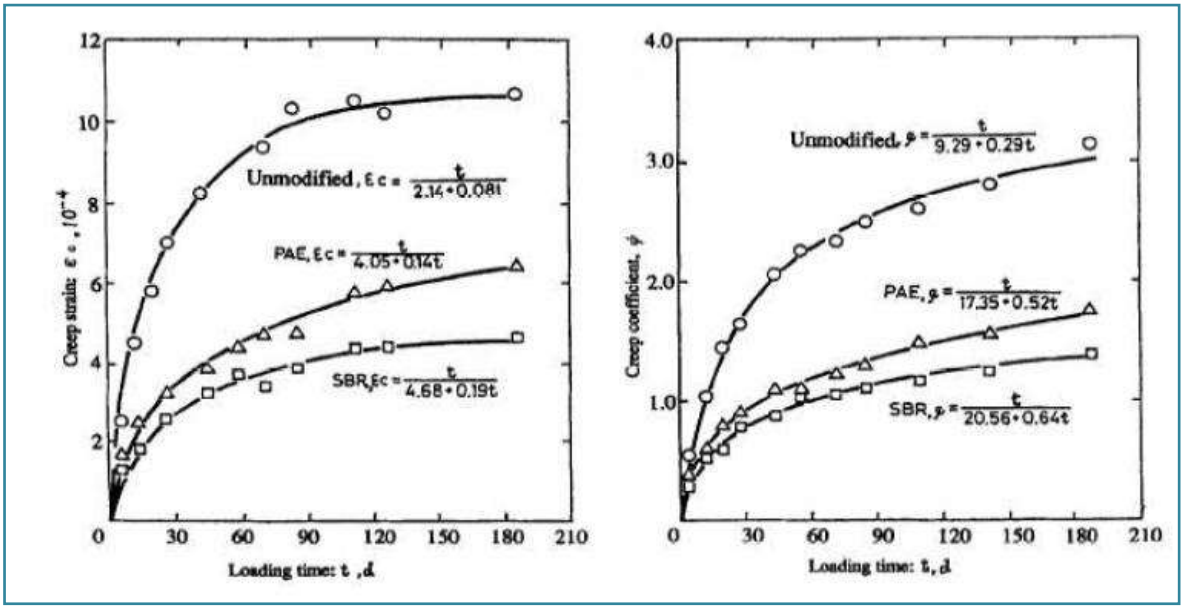


Figure I.17: a gauche : déformation de fluage au cours du temps pour trois mortiers (p/c=10%) : o Sans adjuvants, △ modifié avec PAE , ▢ modifié avec SBR , a droite : coefficient de fluage pour les trois mortier, tiré de *[Ohama.98]*.

- **La porosité :**

Le film de polymère ainsi crée favorise la formation d'un lien solide entre les granulats et les hydrates de ciment en comblant les microfissures. La prévention de la propagation des fissures n'est pas la seule amélioration apportée par la présence de ce film.

Le nombre de pores de grande taille (> 0,2 µm) diminue dans ces mortiers, contrairement au nombre de petits pores (< 75 nm) qui augmente considérablement (Figure I.18 ; I.19 ; I.20) *[Ohama. 87]*.

Avec un latex styrène-butadiène, pour un certain taux de polymère (P/C entre 7,5 et 10 % en Masse), le volume apparent des pores capillaires diminue et la répartition des tailles des pores Se décale vers les petits diamètres *[Pascal .02] , [Ollitrault-Ficher.98]*.

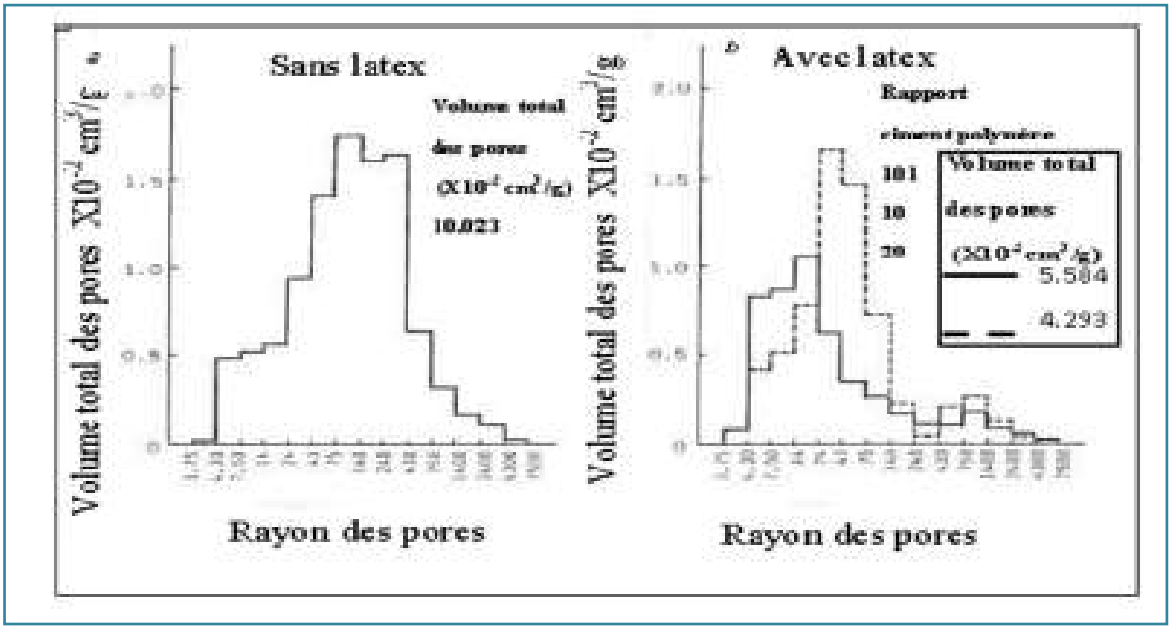


Figure I.18 : Distribution porosimétrique d'un mortier. (a) sans latex SBR, (b) avec latex SBR *[Ohama 87]*.

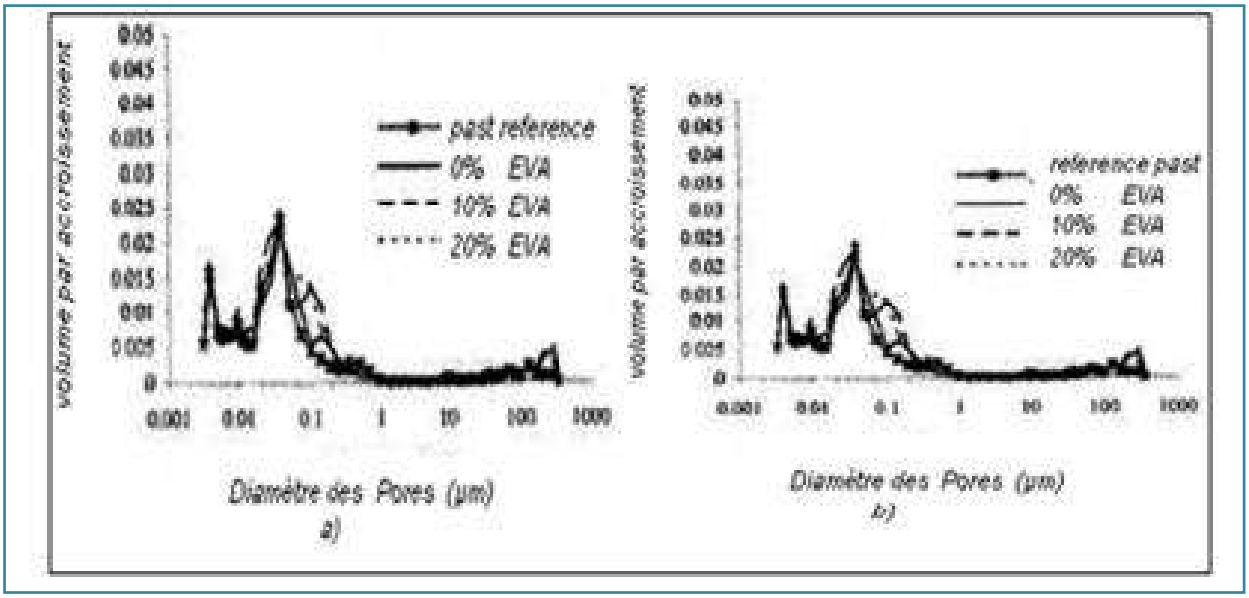


Figure I.19 : distribution porosemetrique de la pâte de ciment contenu plus ou moins de latex EVA sans HEC (a) et avec HEC (b) *[Silva.01]*.

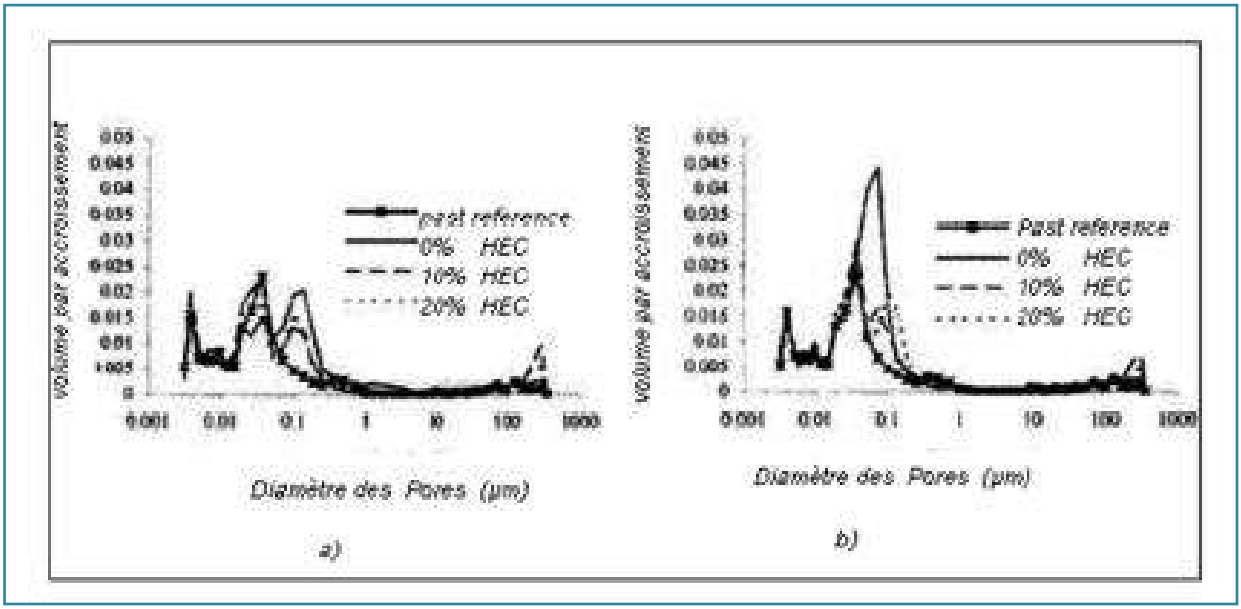


Figure I.20 : distribution porosimétrique de pâtes de ciment contenant plus ou moins du BEC sans latex EVA (a) et avec du latex EVA (b) *[Silva.01]*.

Conclusion :

De façon générale, toutes les propriétés physico-mécaniques des mortiers de ciment sont améliorées par la modification au latex. Par rapport aux mortiers de ciment, les mortiers de ciment modifies au latex présentent des résistances à la traction et des adhérences considérablement plus élevées alors que la différence n'est pas aussi remarquable dans le cas de la résistance à la compression.

L'amélioration de la résistance à la traction et de l'adhérence est causée par la très grande adhérence des polymères. Comme dans le cas de la majorité des propriétés physico-mécaniques, l'adhérence tend à augmenter avec un accroissement du rapport polymère-ciment, le rapport optimal variant entre 10 et 20% *[Kulhmann et O'Brien. 94]*.

Chapitre II

Fissuration et Cicatrisation

II. Introduction :

Dans ce chapitre ; les causes et les types de dégradation des mortiers seront présentée ainsi la cicatrisation de ces fissures et leur mécanismes, et l'effet de celle sur le mortier. En plus de ca, ce chapitre porte aussi l'auto colmatage des fissures et ces causes possible.

II.1. Fissuration des mortiers :

II.1.1. Fissurations au jeune âge :

II.1.1.1. Causes et types de dégradation des bétons et des mortiers :

L'origine et les causes des dégradations des ouvrages en béton peuvent être multiples (figure II.1). Les principales causes de dégradation proviennent des attaques physiques, mécaniques et chimiques. Aussi, les dégradations peuvent provenir des défauts initiaux dus soit à une conception mal adaptée ou soit à une mauvaise mise en œuvre des bétons (tableau II.1).

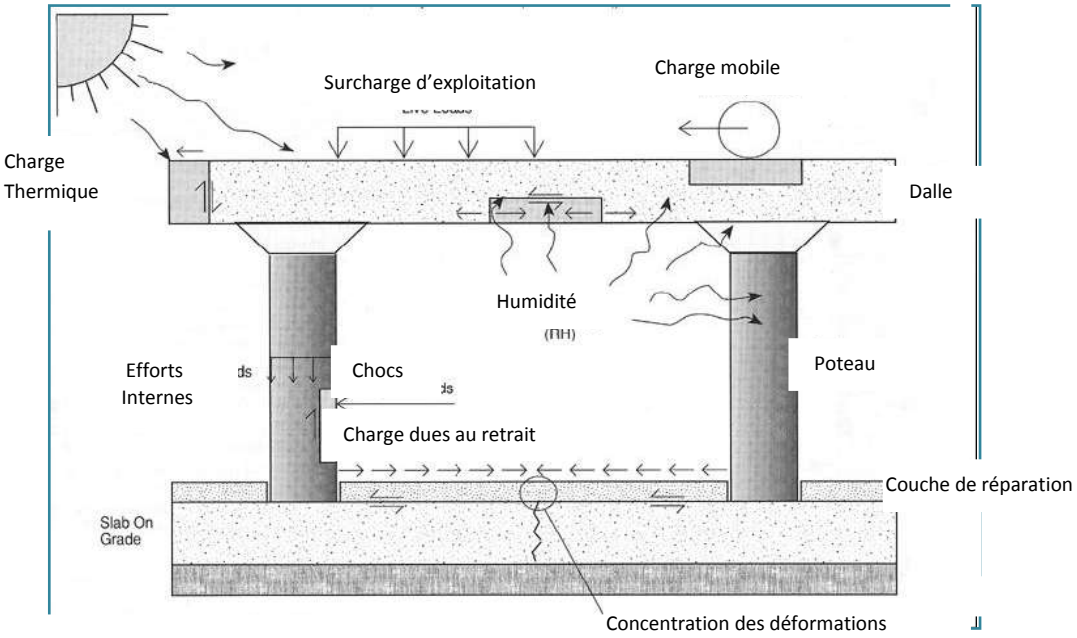


Figure II.1 : les différentes sollicitations mécaniques, chimiques, hydriques et thermiques *[Emmons.94]*.

Tableau II.1 : Causes de dégradation et de détérioration du béton *[Emmons.94]*.

Physiques	Mécaniques	Chimiques	Autres
Ressuage	Érosion	Corrosion	
Retrait (Plastique et Séchage)	Abrasion	Attaques des acides	Mauvaise mise en œuvre
Gradient de température	Cavitation	Attaques des sulfates	Formulation du béton inadéquate
Gradient d'humidité	Surcharges	Attaque des Eaux Agressives	Erreurs de Construction
Gel et dégel	Chargements Accidentels	Réaction Alcali-Granulat	Erreurs de Conception
Feu	Vibrations Charge dynamique	Attaques chimiques diverses	Défaut d'étanchéité

A. Causes physiques de la dégradation précoce du béton :

Parfois, avant toute attaque chimique ou mécanique du milieu extérieur, il existe des dégradations, qui apparaissent dès les premières heures de la mise en place du béton. Parmi les causes abordées, on va discuter l'effet de ressuage, retrait endogène, retrait plastique et du retrait de séchage sur les dommages qui peuvent altérer le béton au jeune âge.

- **Ressuage :**

Le ressuage correspond à une exsudation superficielle d'une pellicule d'eau à la face supérieure du béton frais et à un tassement de son squelette granulaire. Le phénomène de ressuage est amplifié par un faible dosage en ciment ou en éléments fins ou par un excès d'eau, d'adjuvants ou de vibration.

Généralement, l'apparition d'une pellicule d'eau en surface permet d'éviter le séchage et le retrait plastique du béton. Néanmoins, la manifestation du ressuage peut anéantir d'un côté, l'adhérence pâte-granulat *[le compte.01]* et l'adhérence acier-béton *[Giacco.86]*, *[soylev.05]*, *[soylev.06]*.

D'autre côté, le tassement, provoqué par le ressuage, peut entraîner la fissuration du béton et par la suite diminue son imperméabilité *[Acker.08]* (FigureII.2)

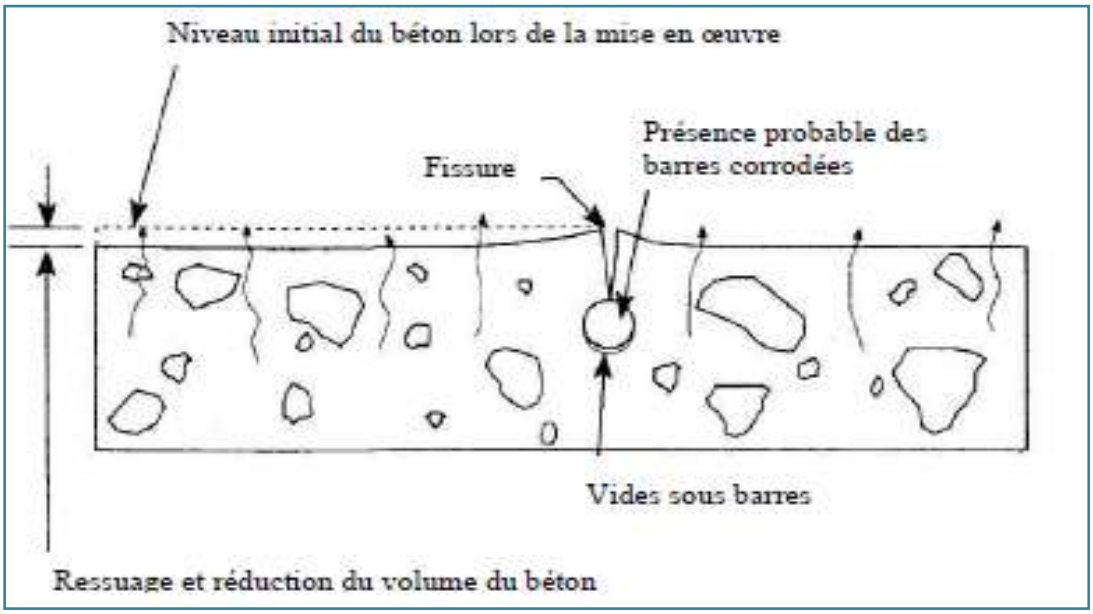


Figure II.2 : Effet de ressuage *[Emmons.94]*.

- **Le retrait plastique :**

Le retrait plastique est dû à un séchage du béton frais, suite à une évaporation rapide de son eau de gâchage. C'est un phénomène qui se produit avant la prise du béton *[Wittmann.76]*, et engendre une fissuration superficielle en faïençage sur la surface libre du béton. Le retrait plastique dépend de la qualité et de la composition du béton (chaleur d'hydratation, excès d'eau ou de l'utilisation d'un retardateur de prise), ainsi que des conditions du milieu extérieur (température ambiante, humidité relative de l'air et vitesse du vent).

Le séchage du béton frais peut être dû à une absorption d'eau par un support poreux et absorbant. C'est pour cette raison, dans le cas des réparations minces ou de reprise de bétonnage, il est nécessaire de saturer et d'humidifier l'ancien béton afin d'éviter toute absorption d'eau du béton de réparation *[Langlois.94]*. Aussi, l'ajout des fibres en polypropylène en faible quantité permet de réduire considérablement le retrait plastique *[Hannant.78]*, *[Grzybowski.90]*, *[Kraii.85]*.

- **Retrait endogène (auto dessiccation) :**

Le retrait endogène est une contraction qui se développe uniformément sur toute la masse du béton. Il se produit principalement, dans les premiers jours, dès le début de la prise du ciment et continue à se manifester tant que la réaction d'hydratation est en cours. C'est un phénomène qui résulte lorsque le volume des hydrates formés est plus petit que le volume initial des matériaux réactifs. Le retrait endogène est amplifié par la réduction du rapport Eau/Ciment *[Acker.08]*.

D'une part, le taux de retrait endogène est négligeable ou faible (ordre de 10^{-4} dans le cas d'un béton ordinaire) lorsque le rapport Eau/Ciment est supérieur à 0.45. D'autre part, il augmente rapidement et peut atteindre $3x10^{-4}$ pour le béton à haute performance, qui possède un rapport E/C inférieur à 0.4.

Aussi, la fissuration précoce d'un béton à haute performance ne se manifeste que si sa déformation est empêchée par des appuis fixes ou par un support rigide (cas des réparations ou de reprise de bétonnage). En effet, l'ancien béton peut stopper la contraction de la face inférieure de la couche de réparation, et entraîne par la suite sa fissuration. Néanmoins, l'utilisation des adjuvants compensateurs de retrait permet de prévenir contre le risque du retrait endogène des bétons à faible rapport E/C *[Tanaka.97]*,*[Shah.98]*,*[Nmai.98]*.

- **Retrait de séchage :**

Le retrait de séchage du béton est une déformation volumique qui résulte de l'évaporation de son eau non-liée chimiquement (non utilisé par la réaction d'hydratation). C'est un phénomène qui débute dès la fin de la prise de ciment, et se manifeste pendant quelques jours, et continue pour quelques semaines après la mise en œuvre du béton.

Le séchage du béton est amplifié par le dosage élevé du ciment, de sa grande chaleur et de sa cinétique d'hydratation. Aussi, le retrait du béton est accentué par un échange hydrique, suite à un gradient d'humidité relative, entre le béton et le milieu extérieur.

Néanmoins, l'amplitude de ce retrait peut être maîtrisée par la résistance à la traction du béton utilisé *[Weiss.99]* par sa capacité d'adaptation par fluage (figure II.3), qui est en fonction de sa rigidité (module d'élasticité).

Comme dans le cas du retrait endogène, le retrait de séchage provoque des sollicitations de traction lorsque sa contraction sera empêchée par un support rigide. Ces sollicitations seront vraisemblablement nettement accentuées, dans le cas d'une réparation par application d'une couche mince sur une grande surface d'un ancien béton.

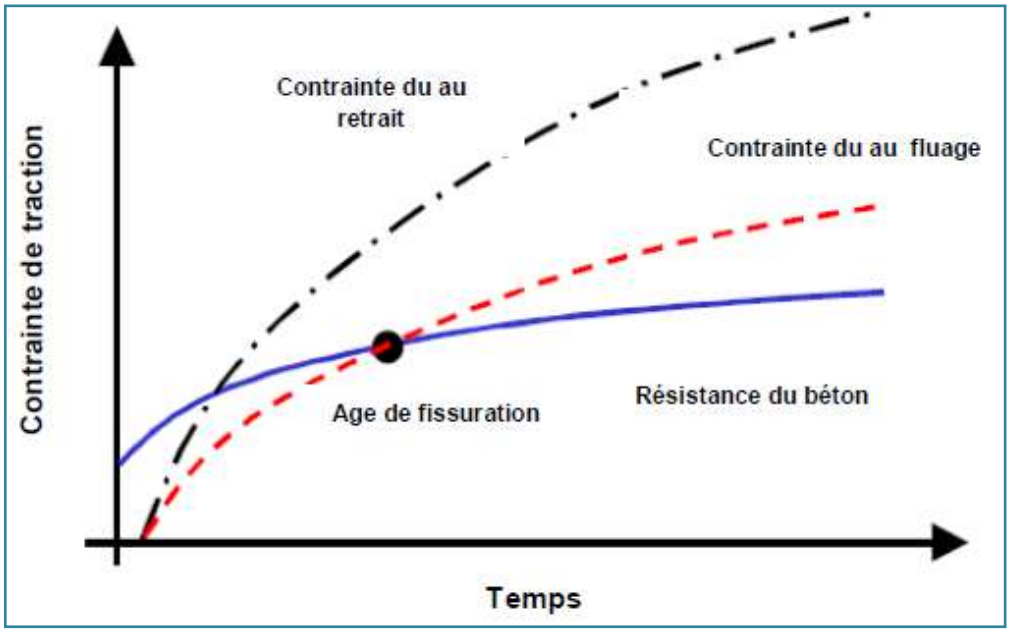


Figure II.3 : Influence du retrait sur la fissuration du béton *[Weiss.99]*.

B. Cause des défauts initiaux :

Généralement, les dégradations peuvent provenir à des défauts initiaux dus soit à : une formulation mal adaptée, mauvaise mise en œuvre du béton, conception inappropriée et à un mauvais entretien de l'ouvrage.

- **Formulation du béton :**

Une formulation inadéquate du béton face aux différentes conditions d'exploitation de l'ouvrage, permet d'anéantir la durabilité de l'ouvrage. Ainsi, la formulation dépend de plusieurs paramètres : rapport Eau/Ciment, rapport Gravillon/Sable, consistance, manque de fine, etc.

- Un rapport Eau/Ciment contrôle les propriétés physico-mécaniques, tel que la porosité et la perméabilité du béton après son durcissement.
- Un excès d'eau : provoque un ressuage et entraîne la remontée des grains les plus fins vers la surface libre du béton.

- Type de Ciment : parfois la composition du ciment doit tenir compte du milieu extérieur. Par exemple, en milieu marin, il est nécessaire d'utiliser des ciments à faible teneur en aluminate.

- Type de Granulats : par exemple, si le béton est exposé au gel, on préconise des granulats non-gélifs. Si le béton est à base d'un ciment alcalin, il est nécessaire d'utiliser des granulats à faible teneur en alcalis.

- **Mauvaise mise en œuvre du béton :**

Le coulage du béton de la plupart des ouvrages se fait sur site. Une mise en œuvre efficace du béton signifie assurer trois paramètres principaux : mise en place du béton, la cure et la rigidité des coffrages et leurs d'étanchéités.

- *Mise en place du béton* : La mise en place du béton englobe plusieurs paramètres interdépendants, où on cite : un malaxage approprié, une hauteur de chute raisonnable et une vibration rationnelle. Aussi, la mise en place du béton doit tenir de la disposition des armatures. Ainsi, une négligence de cette opération entraîne un béton de faible compacité, une ségrégation accrue et des problèmes d'ordre esthétique tels que la formation des bullages ou des nids-d'abeilles.

- *Cure* : Une mauvaise cure peut entraîner la dessiccation précoce du béton et crée des fissures continues sous forme de faïençage et une désintégration de la face extérieure. Généralement, la cure doit respecter les recommandations exigées selon les conditions climatiques du bétonnage.

- *Rigidité et étanchéité des coffrages:*
  - Un défaut d'étaiement sur chantier peut créer des phénomènes de tassement ou de distorsion des éléments en béton.
  - Un coffrage non étanche permet la fuite de la laitance du béton frais, et crée les nids-d'abeilles et des phénomènes de ségrégation.
  - Une utilisation d'un agent de décoffrage inadapté au type de coffrage et au béton peut créer sur la surface du béton des bullages.

➢ **Conception mal adaptée :**

- Une disposition inadéquate des armatures, peut gêner coulage du béton et entraîner la création des nids d'abeilles.

- Epaisseur de la couche d'enrobage insuffisante.

- Un système de drainage inadéquat, permet l'infiltration et l'accumulation des eaux et des sels fondants dans les éléments de béton.

- Choix efficace des revêtements et des enduits.

- Défaut d'alignement (défaut de construction).

➢ **Mauvais entretien de l'ouvrage :**

Un manque d'entretien sur un ouvrage permet de réduire significativement sa durée de vie. Généralement, un mauvais entretien résulte du non respect des opérations suivantes :

- Remplacement des membres d'étanchéités.
- Nettoyage régulier des conduits de drainages, surtout dans les ouvrages soumis à des écoulements d'eau.
- Nettoyage régulier des joints de dilatation lors des ouvrages routiers.
- Utilisations des adjuvants suite à l'emploi des sels de déverglaçage, sur les ouvrages routiers exposés au gel.

II.1.2. Fissuration à long terme :

II.1.2.1. Causes des dégradations à long terme du béton :

A long terme, la dégradation des surfaces des ouvrages en béton peut être causée par différentes interactions physico-chimiques qui attaquent les constituants internes du béton, ainsi que les armatures. Parmi les attaques d'ordre physico-chimique qui dégradent les structures en béton à long terme, on trouve : la corrosion des armatures, la carbonatation, les cycles de gel-dégel et les réactions alcalis-granulat (figure II.4). La dégradation peut être aussi causée par des actions physico-mécaniques qui dégradent la surface extérieure de béton, due aux phénomènes d'abrasion ou de cavitation.

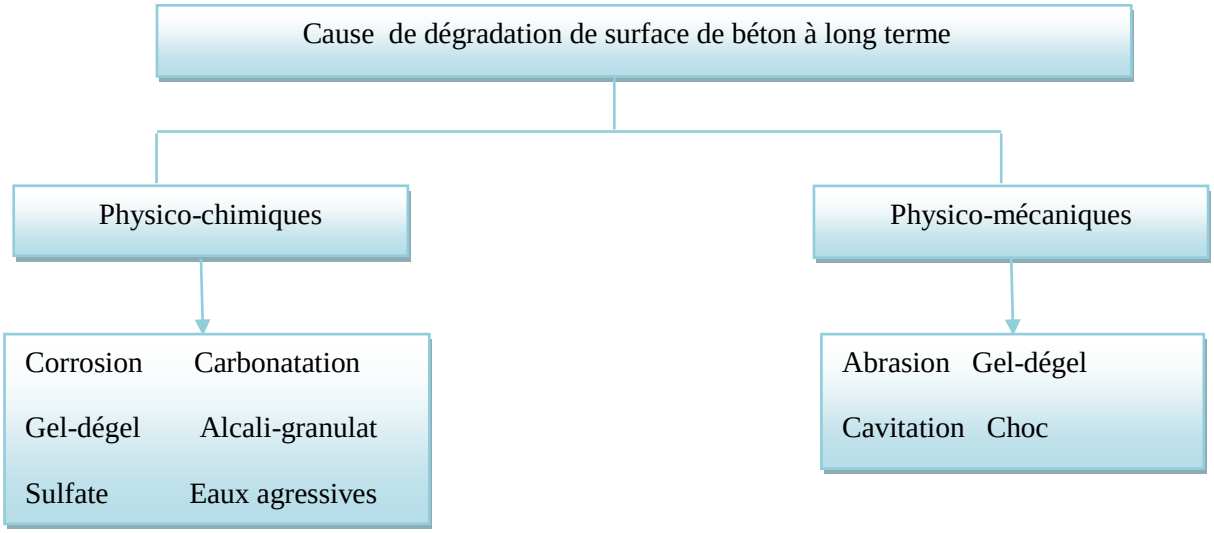


Figure II.4 : Les différentes causes et les effets des dégradations à long terme sur le béton [Mosser.04].

A. Dégradation par interactions physico-chimiques :

- **Dégradation par corrosion des armatures :**

La corrosion des armatures est un processus électrochimique, qui résulte de l'abaissement du PH (<11.5) de la mince couche protectrice d'oxyde de fer qui perd sa passivité.

En présence d'une certaine humidité et d'oxygène, la corrosion est causée par une pénétration des chlorures, des acides ou de dioxyde de carbone qui conduit à une perte de la masse de l'armature et à une augmentation de son volume qui peut atteindre jusqu'à huit fois. L'augmentation du volume de l'armature engendre des contraintes internes qui conduisent progressivement à la formation des fissures et au décollement du béton d'enrobage *[Duval.92]*.

- **Dégradation par réaction chimique du béton :**

La dégradation par action chimique est provoquée par une interaction chimique entre les agents agressifs présents dans l'environnement et les constituants basiques de la pâte de ciment. Un milieu agressif dont le pH est inférieur à 12,5 peut réduire l'alcalinité de la pâte de ciment (dont le pH est de l'ordre de 13.5 à 14) et engendre la dissolution ou l'expansion de ces produits d'hydratation.

En général, les réactions chimiques nuisibles peuvent être classifiées soit par l'effet des produits chimiques externes qui attaquent le béton (acides, chlorures, eaux agressives, sulfates, dioxyde de carbone...etc.) ou par des réactions chimiques internes entre les constituants du béton (réactions alcali-silice et alcali-carbonate) (tableau II.2).

Tableau II.2: Relation entre les types de dégradations et les mécanismes de transport de masse Dans le béton *[Parrott.88]*.

Type de détérioration	Agent transporté	Intervalle critique de HR (%)
Carbonatation	CO_2, H_2O	30 - 80
Diffusion des ions chlore	Cl^-, H_2O	> 90
Corrosion des armatures	H_2O, O_2	70 - 99
Attaque des sulfates	SO^{--}_4, H_2O	> 90
Attaque des acides	H^+	-
Réaction alcalis-granulats	H_2O	80 - 85
Cycles de gel-dégel	H_2O, Na^+, K^+	> 90
Abrasion	H_2O	-
Mouillage-séchage	H_2O	-

a- Dégradation par attaque des acides

Un ouvrage en béton peut être exposé à plusieurs types d'acide : acide sulfurique, acétique, chlorhydrique, carbonique ou lactique. L'attaque de ces acides est très nuisible sur le béton, surtout lorsqu'ils sont fortement concentrés où ils peuvent livier les gels de silicate de calcium hydraté (C-S-H). Généralement, l'attaque des acides provoque une désintégration qui sera accompagnée par une perte de pâte de ciment et d'agrégats *[Dugniolle.73]*.

b- Dégradation par attaque des eaux agressives

Les dégradations par les eaux agressives touchent les ouvrages exposés à l'eau de mer, aux eaux souterraines, à la pluie, à la neige, ou à toute autre solution résultant d'une dissolution de sels ou de gaz. Les agents agressifs attaquent, principalement, l'hydroxyde de calcium de la pâte de ciment et parfois les agrégats.

Par exemple, l'attaque de l'eau de mer est en fonction de la zone de contact de la surface (figure II.5). Ainsi, c'est dans la zone moyenne où le béton est sévèrement endommagé, car les parties de la construction dans cette zone sont alternées par les niveaux de marée haute et marée basse. Aussi, dans cette zone, il y a une juxtaposition des effets physiques, mécaniques et chimiques qui dégradent le béton et les armatures dans le cas où il y a diffusion de l'oxygène *[Mehta.91]*.

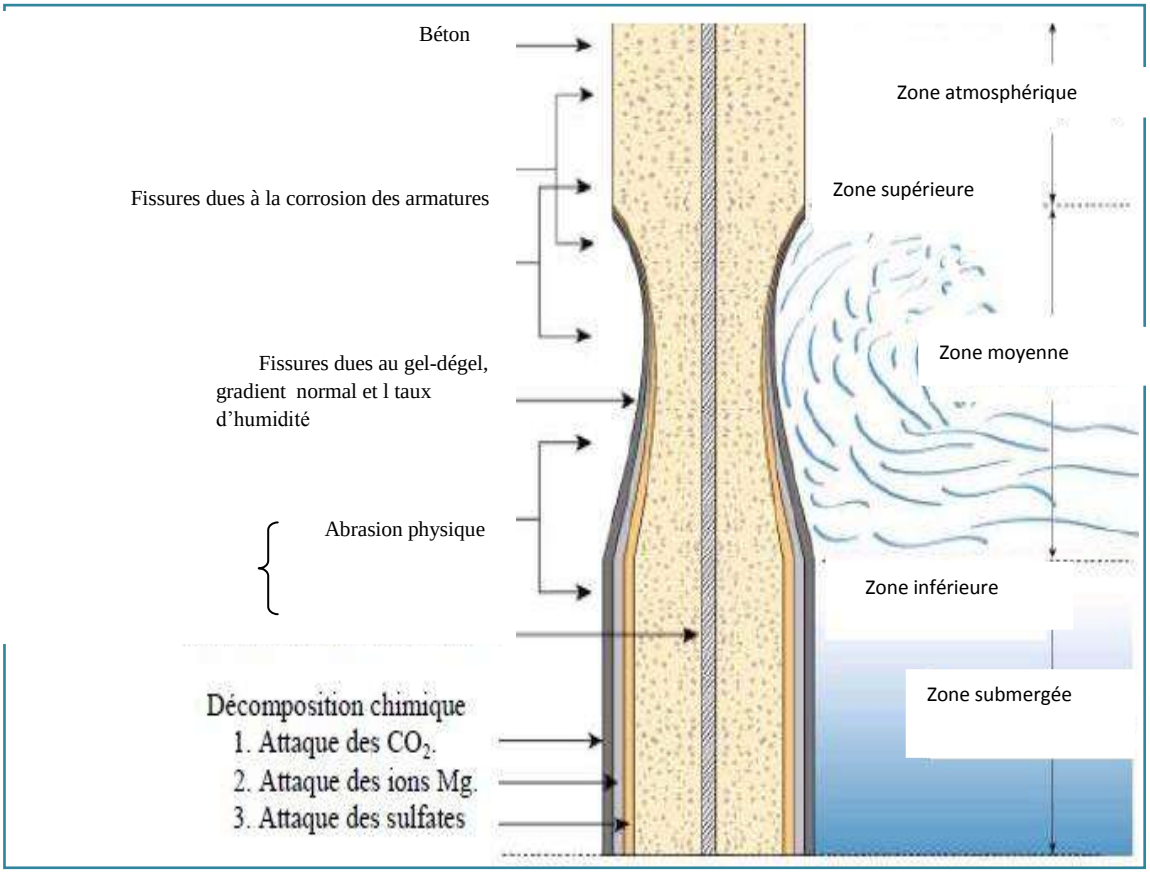


Figure II.5 : Processus schématique de dégradation des bétons par l'eau de mer *[Emmons.94]*.

c- Dégradation par des réactions alcalis-granulats :

Les réactions alcalis-granulats sont des réactions chimiques entre la solution interstitielle basique et alcaline contenue dans la pâte de ciments et des granulats réactifs. En présence d'une humidité de plus de 80%, une migration des ions OH^-, qui se trouvent dans la pâte de ciment, conduisent à la création d'un gel hydrophile et très expansif, qui provoque la fissuration du béton et qui accélère la dégradation de sa surface *[Durand.93]*.

Selon la réactivité des granulats, la réaction alcali-granulat peut être : alcali-carbonate pour des granulats calcaires dolomitiques argileux, ou alcali-silicate pour des granulats de phyllo_silicates du groupe des minéraux argileux gonflants (vermiculite, smectique), ou alcali-silice pour des granulats en teneur élevée en opale (flint ou silex) qui conduit à la création des gels siliceux expansifs.

- **Dégradation par les cycles de gel et de dégel**

Les cycles de gel-dégel peuvent endommager les ouvrages mal protégés, exposés dans des milieux hivernaux rigoureux, par une fissuration interne et un éclatement de la surface du béton. Aussi, l'utilisation des sels de déverglaçages, sur les éléments de voirie, provoque un écaillage de leurs surfaces. Les causes de ces différents types de dégradation ont été expliquées par plusieurs modèles : modèle de pression hydraulique, de l'effet capillaire et de la pression osmotique *[Mehta.91]*.

a- Modèle pression hydraulique

La transformation en glace d'eau dans un pore provoque tout d'abord son expansion, qui atteint jusqu'à 9 % de son volume. Ensuite, l'eau en excès (non encore gelée) sera expulsée vers les pores capillaires, ce qui entraîne un écoulement d'eau au sein du réseau poreux. La résistance par frottement à cet écoulement (passage) engendre des pressions hydrauliques *[Powers.49]*. Plus la distance à parcourir par l'écoulement est grande plus la pression hydraulique est importante.

b- Modèle de l'effet capillaire

Ce modèle se base sur l'équilibre thermodynamique. Sous l'influence d'une température très basse, l'eau contenue dans les plus gros pores se transforme rapidement en glace. Par contre, l'eau des petits pores qui possède un point de congélation inférieure à celui des gros pores, reste à l'état liquide. Ainsi, la pression de vapeur d'eau au-dessus de l'eau non encore gelée est plus élevée qu'au-dessus de la glace formée et crée alors un déséquilibre thermodynamique, qui entraîne une migration à grande échelle de l'eau non gelée dans les petits pores vers les gros pores *[Litvan.80]*.

D'un côté, le modèle de l'effet capillaire explique le retrait des bétons soumis aux cycles de gel-dégel ; car le retrait est dû au départ d'eau des petits pores vers l'extérieur du corps poreux. D'autre côté, le modèle montre que plus le trajet à parcourir est long et plus la vitesse de refroidissement est rapide plus les tensions sont élevées.

c- Modèle de pression osmotique

La théorie de pression osmotique prend en considération l'influence des sels de déverglaçages (chlorure, K^+, Na^+) qui rendent l'eau des capillaires plus saline (non pure) au niveau de la couche superficielle du béton. En effet, la solution saline, au cours du gel d'un pore, conduit à une séparation en glace et en une solution encore liquide plus concentrée.

Ainsi, sous une température très basse, les pores capillaires (petits pores) possédant un point de congélation très inférieure ne gèlent pas, d'où leurs concentrations salines initiales restent constantes. Néanmoins, le gel rapidement des gros pores conduit à une augmentation de la concentration en ions dans la portion de l'eau non-gelée.

Avec le temps, le gradient de concentration en ions, entre les petits et les gros pores, conduit à un phénomène d'osmose *[Powers.53]*. Ce phénomène provoque un départ d'eau des petits pores à faible concentration pour rééquilibrer la grande concentration des gros pores et entraine des pressions osmotiques (figure II.6). L'accentuation du transfert et du cheminement d'eau provoquent la fissuration de la pâte de ciment, surtout lorsque la quantité d'accumulation de la glace dans les capillaires dépasse leurs volumes.

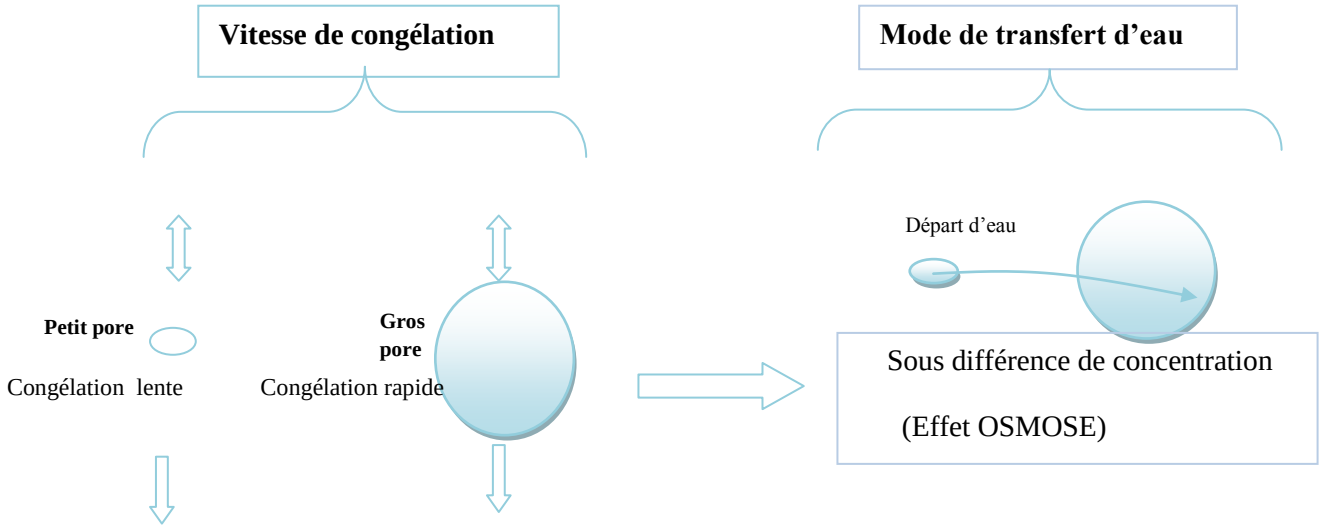


Figure II.6: Modes de migration d'eau des petits pores vers les gros pores (Modèle de pression osmotique).

- **Dégradation de la surface du béton par interactions physico-mécaniques :**

A. Dégradation par abrasion :

La dégradation d'une surface par abrasion est causée par un frottement répété ou par une action abrasive de matières solides transportées par un écoulement d'eau circulant à faible vitesse *[Mirza.92]*. La dégradation est caractérisée par une usure de la pâte de ciment, des granulats et par une présence d'écorchures sur la surface du béton. L'abrasion est donc un phénomène qui réduit simultanément les propriétés mécaniques et l'imperméabilité du béton.

Néanmoins, une amélioration de la compacité de la surface du béton, par une bonne finition *[Kettle.87]* ou par l'emploi de granulats durs *[La plante.91]* ou par l'ajout de fumée de silice *[Holland.86]* ou par l'utilisation des polymères *[Fowler.73], [Krukar.73], [Dikeou.91]* permettent d'améliorer considérablement la résistance du béton contre les différentes actions mécaniques.

B. Cavitation

Le phénomène de cavitation touche les ouvrages de béton exposés à un écoulement d'eau, à grande vitesse, où de grands volumes de bulles de vapeur se développent au-dessus de leurs surfaces. La dégradation se produit suite à une implosion brusque de ces bulles de vapeur vers un état liquide et à une réduction presque instantanée de leurs volumes. Cette brusque implosion provoque une onde de choc, qui crée des contraintes au niveau des micro-cavités de la surface du béton, qui se transforment par la suite en cavités.

La dégradation par cavitation se manifeste sous forme de piqûres de surface, de trous ou de crevasses très profondes ou par un délavage de la pâte de ciment qui entoure les granulats *[Faley.84]*. Ainsi, les surfaces endommagées deviennent extrêmement rugueuses et pleines de cavités.

C. Dégradation par érosion

La dégradation d'une surface par érosion est causée par un frottement répété ou par une action abrasive de matières solides sous l'effet du vent *[Mirza.92]*. La dégradation est caractérisée par une usure des granulats, de la pâte de ciment et par la présence d'écorchures sur la surface du béton.

II.2. Cicatrisation des fissures :

II.2.1.Définitions :

Le terme « cicatrisation » fait référence à la capacité du ciment à cicatriser les microfissures dans le béton fracturé *[Hearn.98]*. Ce phénomène permet à ce béton à récupérer certaines propriétés perdues (résistance contre les agents agressifs, diminution de la perméabilité) *[Jacobsen.98]*.

La cicatrisation est fréquente dans les structures en béton en milieu humide, telles que les tuyaux, les caniveaux...etc. Elle est sous forme de cristaux blancs localisées dans les fissures de faible épaisseur (moins de 100µm *[Jacobsen.98]*.). Ces cristaux de couleurs blanche résultent de la réaction entre le carbonate de calcium hydrogène ($Ca(HCO_3)_2$) de l'eau et l'hydroxyde de calcium ($Ca(OH)_2$) du béton ou à partir de la carbonatation d'hydroxyde de calcium par exposition à l'atmosphère *[Loving.36]*,*[Wagner.74]*, *[Hearn.98]*.

Selon Soroker, Deson et Turner *[Soroker.26]*,*[Turner.37]*, la cicatrisation est causée par l'hydratation du ciment qui forme des hydrates dans les microfissures.

D'après Loving *[Loving.36]* et Laure et Slate *[Lauer.56]*, la présence des dépôts de carbonates de calcium ($CaCO_3$) dans les fissures de caniveaux en béton est du à la réaction de carbonatation. Aussi, Clair a attribué cette cicatrisation aux cristaux de carbonate de calcium ($CaCO_3$) qui apparaissent seulement après une exposition à l'eau de plus de 7 jours.

II.3. Mécanismes de cicatrisation :

La cicatrisation du béton dépend de l'ouverture de la fissure et de l'environnement dans lequel il se trouve. Les conditions qui favorisent ce phénomène sont : l'augmentation de la température de l'eau, l'augmentation du pH de l'eau et la diminution de la pression partielle du CO_2 dans l'eau.

Les mécanismes de cette cicatrisation peuvent être classés en deux groupes *[Jacobsen.98]*, *[Hearn.98]*,*[Edvardsen.99]*, les mécanismes physico-chimiques et les mécanismes mécaniques.

II.3.1. Mécanismes physico-chimiques :

Chimiquement, le volume de cristaux qui colmate une fissure résulte soit d'une réaction de carbonatation des ions de calcium ou par réaction d'hydratation du ciment anhydre.

D'une part, *[Edvardsen.99]* relie la cicatrisation des fissures du béton à la précipitation du carbonate du calcium ($CaCO_3$) dans la phase liquide des fissures carbonatées. En effet, la formation de carbonate de calcium se produit par la réaction entre les ions calcium (Ca^{2+}) du béton avec les carbonates (CO_3^{-2}) eq2.1 ou les bicarbonates (HCO^{3-}) eq.2.2 en solution dans l'eau (figure II.7). Les réactions de la carbonatation sont données par :

$$Ca^{2+}+CO_3^{2-} \Leftrightarrow CaCO_3 \qquad (PH_{water}>8) \qquad \textit{Eq. [2-1]}$$

$$Ca^{2+}+HCO_3^{-} \Leftrightarrow CaCO_3+H^{+} \qquad (7{,}5<PH_{water}<8) \qquad \textit{Eq. [2-2]}$$

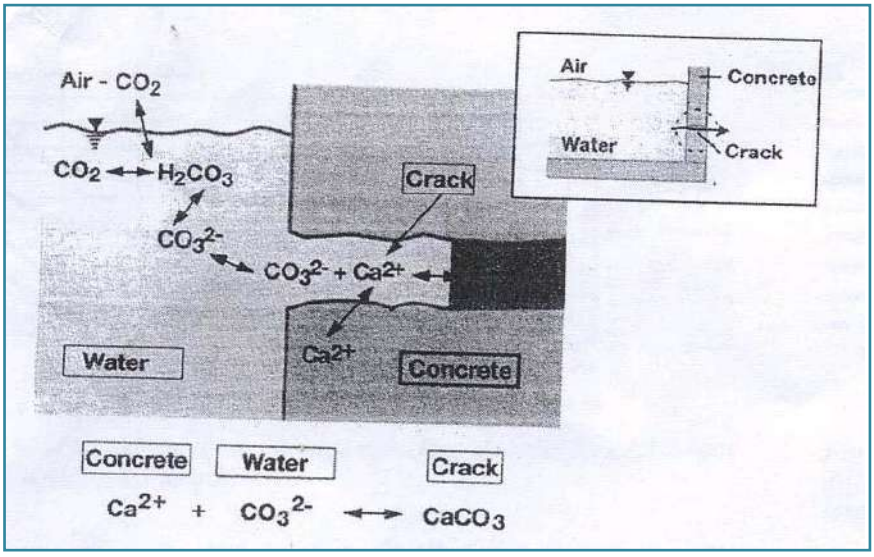


Figure II.7 : Formation de carbonate de calcium dans les fissures *[Edvardsen99]*.

Aussi, Edvardsen *[Edvardsen.99]* explique la formation des premiers carbonates de calcium à l'augmentation du PH (PH>8) (équation 2-2), qui résulte de l'apport d'ions Ca^{2+} (venant de $Ca(OH)_2$ et des C-S-H), de la présence d'alcalins, (KOH, NaOH) de la solution interstitielle et à l'effet l'humidité du milieu.

Cette augmentation du PH entraîne la conversion du bicarbonate (HCO^{3-}) en carbonate (CO_3^{-2}). Avec l'augmentation de la concentration en calcium (Ca^{2+}) dans la fissure, l'augmentation du pH et la faible vitesse d'écoulement le long des parois rugueuses des fissures favorisent la saturation de l'eau et par conséquent la formation des premiers carbonates de calcium.

$$Ca^{2+}+HCO_3^- \Leftrightarrow CaCO_3+H^+ \qquad (7{,}5<PH_{water}<8) \qquad \textit{Eq. [2-2]}$$

$$Ca^{2+}+CO_3^{2-} \Leftrightarrow CaCO_3 \qquad (PH_{water}>8) \qquad \textit{Eq. [2-1]}$$

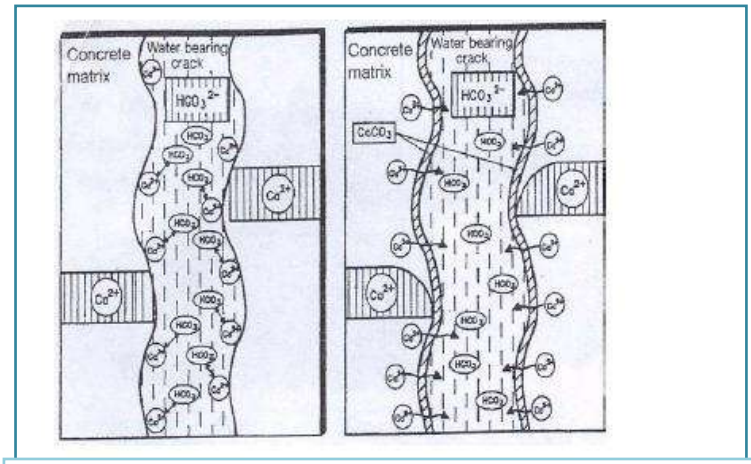


Figure II.8 : Formation de carbonate de calcium sur les parois d'une fissure *[Edvardsen99]*.

D'autre part, l'hydratation du ciment anhydre résiduel peut former des hydrates (éttringite, $Ca(OH)_2$), C-S-H) dans les fissures. Ce phénomène peut être très important dans le cas des microfissures car la dimension des produits d'hydratation est d'environ 10 µm. Ce qui entraîne le colmatage de la zone microfissure.

II.3.2.Mécanismes mécaniques

Le volume des cristaux de carbonate de calcium augmente, pour former une couche sur les parois des fissures. L'épaisseur de cette couche peut augmenter jusqu'au colmatage de la fissure figure (II.8)

La cicatrisation des fissures peut aussi être causée par :

• Des produits de corrosion. Ou par des particules externes pénétrant dans les fissures.

II.4. Observation de la cicatrisation dans les fissures :

II.4.1. Observation par le MEB :

L'observation au microscope à balayage électronique (MEB) des fissures (d'ouverture entre 1 et 10 μm) peuvent être cicatrisé par la formation de produits d'hydratation dans ces fissures. Ces produits étaient principalement sous forme d'aiguilles ou de plaques. Ils forment des ponts entre les lèvres des fissures. L'analyse aux rayons X montre que ces produits sont des C-S-H, de l'ettringite, et de l'hydroxyde calcium ($Ca(OH)_2$), *[Jacobsen.95]*, figure (II.9).

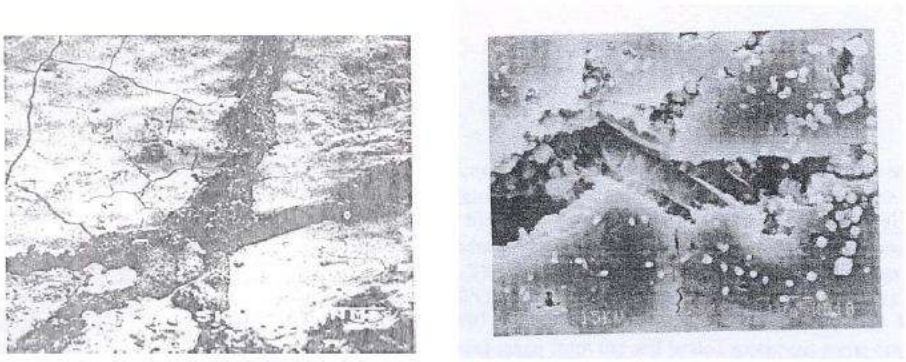


Figure II.9 : Observation de la cicatrisation dans les fissures par le MEB *[Jacobsen.95], [Mord.89]*.

II.4.2 Observation par vitesse ultrasonique :

La cicatrisation peut être déduite par des mesures de la vitesse ultrasonique effectuées sur des éprouvettes de béton ordinaire. Jacobsen *et al. [Jacobsen.96,b]* a constaté que les échantillons fissurés perdent leurs vitesse ultrasonique.il a constaté que la cicatrisation dans l'eau, le taux de récupération de la vitesse ultrasonique dépend du Taux de la fissuration (figure II.10) .

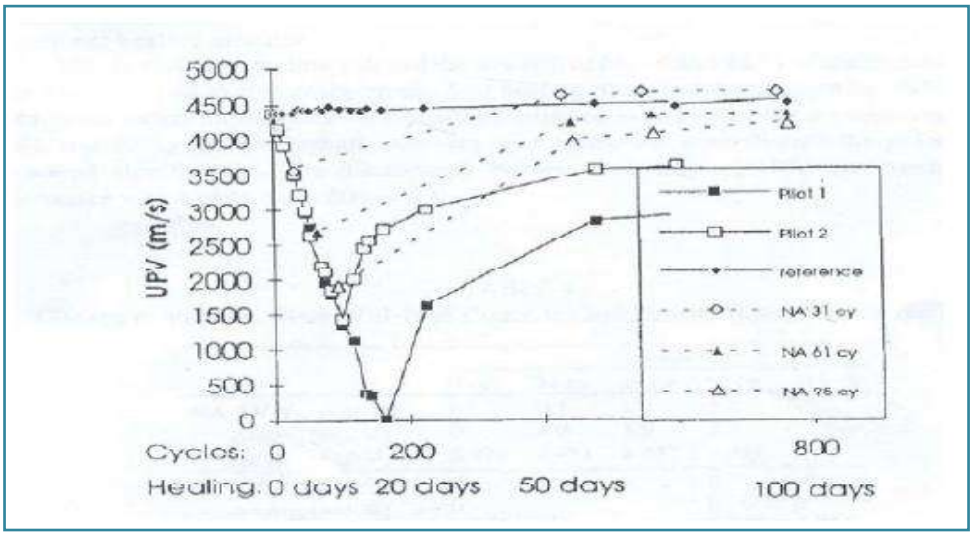


Figure II.10 : Effet de la fissuration par gel- dégel et la cicatrisation sur les valeurs de la vitesse ultrasonique mesurées *[Jacobsen.96, b]*.

II.5. Effet de la cicatrisation sur la résistance du béton :

En général, la résistance à la compression du béton ordinaire et ou à haute performance fissuré par des cycles rapides de gel-dégel puis stocké dans l'eau pendant trois mois à 20°C, s'améliore *[Jacobsen.96, a],[Jacobsen.96, b]*. Pour un béton ordinaire, des mesures de la résistance à la compression ont été effectuées sur des éprouvettes cylindriques de diamètre de 101,6 mm et de hauteur de 203,2 mm, avant la fissuration et après le stockage dans l'eau. Le résultat montre une faible évaluation de la résistance de 0 à 10% de la valeur mesurée lors de la fissuration *[Jacobsen.96, b]*.

Dans le cas du béton armé à haute performance, des poutres ont été utilisées pour étudier l'effet de la cicatrisation sur la résistance à la compression. En suivant, les mêmes procédures utilisées pour le béton ordinaire, Jacobsen *et al.* Ont constaté que la résistance à la fin du stockage a été améliorée de 4 à 5%. Par contre, ces poutres de béton à haute performance ont retrouvé complètement leur module dynamique suite à une perte de 50%. *[Jacobsen.96, a]*.

Une autre étude a été menée par Mord et al. *[Mord.89]* sur des poutres de béton léger à haute performance, fissurées par fatigue puis stockées dans un environnement contrôlé pendant 90 jours. Le test de la résistance à la compression à la fin du stockage montre que le béton fissuré a regagné un grand pourcentage (65 à 85 %) de sa résistance avant la fissuration.

II.6. Effet de la cicatrisation sur les propriétés de transport :

II.6.1.Effet de la cicatrisation sur le transfert des chlorures dans les fissures :

Cet effet a été observé sur des échantillons cylindriques de béton ordinaire sans air entraîné, détériorés par des cycles rapides de gel-dégel (31, 61 et 95 cycles), puis stockées dans l'eau pendant trois mois. Les résultats ont montré d'une part, une augmentation du taux de migration des chlorures de 2,5 à 8 fois celui des échantillons témoins (non fissurés) et d'autre part une diminution du temps de pénétration à travers des disques de 15 mm d'épaisseur, de 64 h pour les échantillons non fissurés à 0 h pour les échantillons fissurés ayant subi 95 cycles. Après le stockage dans l'eau, le taux de migration a diminué de 28 à 35% par rapport à celui mesuré après la fissuration, et le temps de pénétration a augmenté par rapport au béton fissuré. Les auteurs attribuent ce résultat à l'effet de la cicatrisation des fissures pendant 3 mois, *[Jacobsen.96, b]*.

La figure (II.11) montre l'augmentation du taux de migration des chlorures avec l'augmentation de la fissuration interne. Plus loin sur la même figure, on constate l'effet de la cicatrisation sur la diminution du taux de migration sans arriver aux valeurs mesurées à l'état initial.

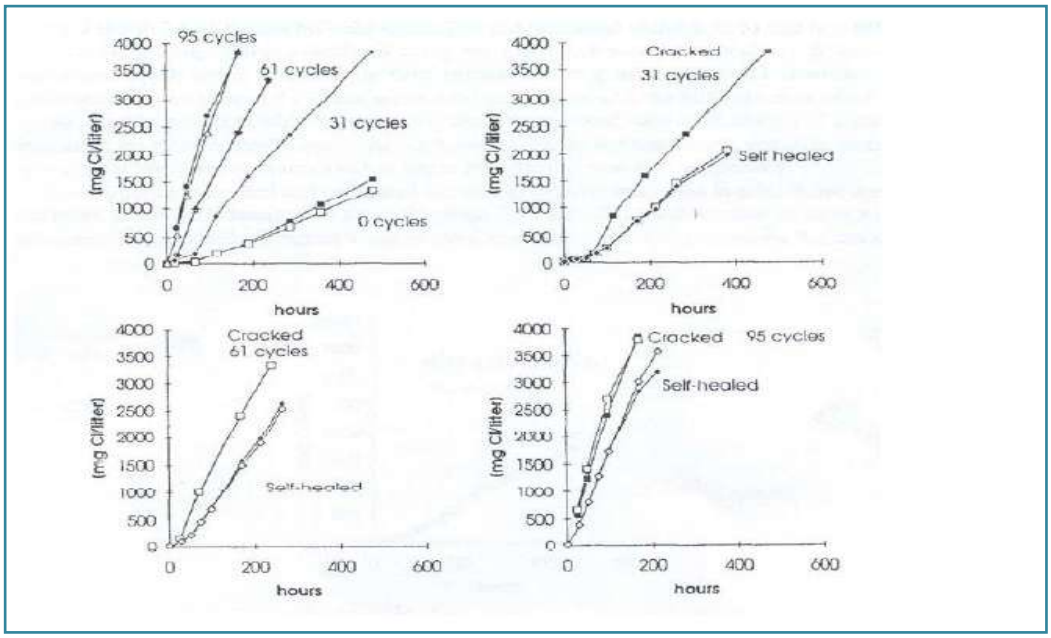


Figure II.11: Effet de la fissuration et de la cicatrisation sur le taux de migration dans un Béton ordinaire sans air entraîné *[Jacobsen.96, b]*.

II.6.2. Effet de la cicatrisation sur la perméabilité :

Il a été observé, d'après plusieurs études, *[Edvardsen.99]*, *[Reinhardet.03]*, une réduction de la perméabilité à l'eau avec le temps dans le cas d'échantillons fissurés. Selon Edvardsen *[Edvardsen.99]*, cette réduction est due à la précipitation du carbonate de calcium ($CaCO_3$) dans les fissures.

Cette opération qui se produit pendant les premiers jours (3 à 5 jours), induit une diminution du taux de l'écoulement d'eau de 20%.

Reinhard et *al. [Reinhardet.03]* ont constaté une réduction de l'écoulement avec la diminution des ouvertures des fissures et avec l'augmentation de la température. Les petites fissures cicatrisent plus vite et une température plus élevée favorise la cicatrisation (figure II.12).

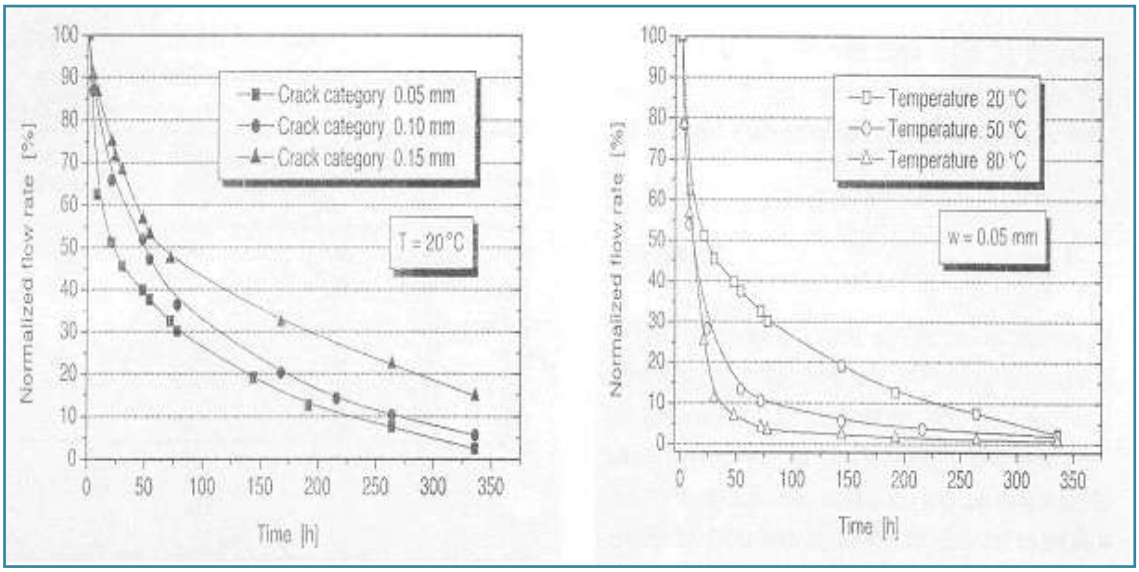


Figure II.12 : Effet de l'ouverture des fissures, de la température et de la cicatrisation sur la perméabilité.

II.7. Auto-colmatage :

II.7.1. Définition :

Ce terme désigne le phénomène de diminution de l'écoulement en fonction du temps lors d'un essai de perméabilité en conditions saturées. L'effet de la cicatrisation et de l'auto colmatage est une réduction de la perméabilité. Malgré des effets similaires, les mécanismes en jeux sont complètement différents *[Hearn.92]*.

Les principales différences entre la cicatrisation et l'auto-colmatage sont :

• La présence de fissures n'est pas une condition préalable pour l'auto-colmatage.

• L'auto-colmatage peut se produire dans des systèmes fermés où la carbonatation du $Ca(OH)_2$ dissous n'est pas possible.

Bien que la carbonatation ne puisse pas se produire dans un système fermé, d'autres mécanismes, comme l'hydratation résiduelle et/ou le transport de particules détachées en suspension dans l'eau peuvent partiellement contribuer tant à la cicatrisation qu'à l'auto colmatage *[Hearn.92]*.

II.7.2. les causes du l'auto colmatage :

Les causes possibles de l'auto-colmatage peuvent être récapitulées de la manière suivante :

• L'air dans la matrice cimentaire ;

a) La saturation incomplète de l'éprouvette d'essai.

b) La dissolution de l'air dans l'eau sous l'effet de la pression.

• Le gonflement de la matrice cimentaire.

• La réaction chimique entre l'eau et la matrice cimentaire.

a) L'hydratation continue de clinker résiduel.

b) La dissolution et le dépôt d'hydrates solubles, comme le $Ca(OH)_2$, le long du chemin de l'écoulement.

c) La carbonatation du $Ca(OH)_2$ dissous.

• L'encrassement physique causé par le mouvement vers l'aval de particules lâches dans la matrice cimentaire dans un processus analogue au transport de sédiment et formation de filtre de cake.

D'après une étude menée par Hearn *[Hearn.94]*, le phénomène de l'auto-colmatage pourrait ne pas être attribué à une reprise d'hydratation du ciment. En effet, dans cette étude, la perméabilité des échantillons de béton âgé de 26 ans a été mesurée. Les échantillons montrent un comportement d'auto-colmatage en l'absence de ciment non hydraté.

Conclusion :

Ce chapitre présente les différentes causes qui endommagent le béton des éléments d'une structure. Selon l'étude bibliographique, la dégradation du béton peut être soit sous forme de fissures linéaires qui peuvent être isolées ou continues ou sous forme de détériorations superficielles qui résultent d'un éclatement ou d'une désintégration de la couche superficielle.

Au début, on a présenté les causes qui endommagent le béton dés son jeûne âge que ce soit physiques (ressuage, retrait de séchage et endogène) ou erreurs de mise en œuvre. Par la suite, on a complété par les causes qui dégradent le béton à long terme où on a étalé les causes chimiques (corrosion, agressions par eaux agressives, réaction alcali-granulat,) ou mécaniques (effet de l'abrasion ou de cavitation pour les ouvrages hydrauliques et l'effet de l'érosion).

A la fin on a mentionné la cicatrisation de ces fissures et ses différents mécanismes que ce soit physico-chimiques ou mécanique ; en plus les méthodes d'observation de la cicatrisation (par le MEB ou par la vitesse ultrasonique) ; aussi l'effet de ce dernier sur le comportement du mortier (une faible augmentation de la résistance ; la diminution du taux de migration des chlorure ; une réduction de la perméabilité) ; ainsi le colmatage des fissures, et une récapitulation sur les causes de ce phénomène.

Chapitre III
Matériaux Et Essais

III. Introduction

Le travail expérimental mené a été établi dans le but d'étudier l'influence des résines de latex sur le comportement physique et mécanique de mortier, Ce chapitre décrit les essais expérimentaux effectués en laboratoire et les matériaux utilisés au court de la présente recherche.

III.1 Programme expérimental et Protocole d'essais :

Pour le besoin de cette étude, En plus du Mortier a base de sable naturel, Mortier témoin (MT) de mortiers a base de résine latex sont fabriquées et sont comme suit :

MT : Mortier naturel sans les résine de latex (Mortier Témoin) ;

M L : Mortier a base des résines de latex.

Comme pour tous les bétons et les mortiers, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir :

- La nature et le type de squelette granulaire.
- Les dosages en sable, ciment, eau.

La caractérisation des mortiers modifier par les résine de latex **(ML),** à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les technique d'essai. Les différents essais faits au cours de ce travail sont résumés dans le tableau III.1 suivant :

Tableau III.1 : les Essais Réalisées Sur les Mortiers à l'état Frais et à l'Etat Durci.

	Essai	Normes
Etat frais	Maniabilité	NF P 18-452 et NF P 15-437 [1]
	Air occlus	NF P 18-353 [2]
	Densité	NF EN12350-6[3]
	Temps de prise	EN 196-3+A1[4]
Etat durci	Compression	EN 196-1[5]
	Traction	EN 196-1[5]
	cisaillement	NF EN 1052-3[6]
	Retrait	NF P 18 404 [7]
	Retrait êmpéché	[AASHTO.89]

III.1.1. Matériaux utilisées :

Pour confectionner des éprouvettes en mortier pour nos différents essais, nous avons utilisés de ciment, des granulats (sable) et de l'eau de gâchage.

III.1.1.1 Le ciment :

Un seul type de ciment est utilisé au cours de cette étude expérimentale **[8]**. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ - CEM II/A 42.5, produit par la cimenterie d'Oggaz (Mascara) dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme **NA 442 [9]**.

a-Composition du ciment :

Il est obtenu par broyage du clinker avec environ 5% de sulfate de calcium (gypse), qui permet de réguler la prise du ciment. Le clinker est produit après cuisson à haute température (1450°C) d'un mélange de 20% d'argile et de 80% de calcaire. Pour simplifier l'écriture des différents constituants, on utilise la notation cimentière pour représenter les différentes phases du ciment. La correspondance est résumée dans le Tableau I-1. Les principaux composants du ciment Portland sont présentés dans le Tableau III.2.

Tableau III.2 : notation cimentière.

Constituant	Formule chimique	Notation cimentaire
chaux	CaO	C
silice	SiO_2	S
Alumine	Al_2O_3	A
Eau	H_2O	H

Tableau III.3 : principaux composants du ciment portland.

Constituant	Formule chimique	Notation cimentière
Silicate tricalcique(Alite)	$3Ca.SiO_2$	C_3S
Silicate bicalcique (Bélite)	$2Ca.SiO_2$	C_2S
Aluminate tricalcique	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Ferroaluminate tétracalcique	$4CaO.Al_2O_3.fe_2O_3$	C_4AF

III.1.1.2. Les sables :

Deux sables sont utilisés au cours de ce travail et sont comme suit :

a. Le sable roulé (SR) :

Le sable roulé utilisé dans cette étude est un sable fin de Hassi Bahbah de la région de Djelfa, située à 300 Km au sud d'Alger, de classe granulaire est 0/3 (Figure III.1.A).

b. Le sable de concassage (SC) :

Le sable de concassage utilisé est un sable grossier (Figure III.1.B) 0/5, provenant de la station de concassage de MONT GORNO situé à 25 Km au sud de Médéa**.**



A - Le sable de concassage (S_C)



B- Le sable roulé (S_R)

Figure III.1 : Les sables utilisés.

La correction des deux Sables suscités selon la méthode d'Abrams nous a conduits à utiliser un troisième sable qu'on a appelé sable corrigé composé de 40% de SR et 60%de SC.

III.1.1.3. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents mortiers est l'eau potable de robinet**.** Elle est exempte d'impuretés, conformément aux recommandations de la norme **NF EN 1008 [10]**.

III.1.1.4. les latex :

Dans cette étude, nous avons utilisé une émulsion de polymère de type latex. Le latex utilisé est un acrylate copolymère, couramment utilisé dans les mortiers de réparation, *[annexe]*.

Dans notre recherche, l'utilisation du latex a été choisie parce qu'il est reconnu que le latex permet d'obtenir des caractéristiques intéressantes pour les matériaux de réparation, par exemple : bonne adhésion, imperméabilisation, meilleure résistance à la traction. En effet, la plupart des mortiers de réparation sur le marché sont à base de latex, Le dosage en latex utilisé pour cette recherche a été établi à environ ***12.61%*** de solide de latex par rapport à la masse du ciment.

III.2. Préparation des matériaux :

III.2.1. Lavage du sable de concassage :

Le lavage du sable se fait afin d'obtenir un granulat propre, exempte d'éléments nocifs et de fines, Le lavage est effectué sous l'eau de robinet en procédant au tamisage de sable avec un tamis de maille égale à 0.063 mm *[Cherait.07]*.

.

III.2.2. Confection et Cure des éprouvettes :

La confection des éprouvettes est effectuée selon la norme **EN 196-1 [5].** Le mortier préparé, est remplit dans un moule (4 cm x 4 cm x 16 cm). Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois. Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide. Après 24heures, les éprouvettes sont démoulées et soumise à une cure, dans un bac d'eau à 20 C° ± 2 C° ou dans l'air libre selon la nature de l'essai, jusqu'au moment de l'essai de rupture.

Figure III.2 : conservation des éprouvettes a l'aire libre**.**

Figure III.3: conservation dans l'eau a 20°c+/- 2°.

III.2.3. Composition des mortiers :

Un seul type **(ML)** de mortier est fabriquée à base de sable corrigé contient de résine de latex et comparé par rapport au mortier témoin **(MT).** Pour les différents types de mortier, le rapport E/C est fixé à **0.50** correspondant à la composition qui a donnée l'ouvrabilité voulu.

Tableau III.4 : Compositions des différentes familles de mortiers réalisés.

Matériaux		M T	M L
			2.77 %
Ciment (g)		450	450
Sable (g)	s_r	540	540
	S_c	810	810
Eau (g)		225	168.75
E/C		0.5	0.5
Le latex (g)		0	56.25

III.3. Malaxage des mortiers :

La procédure de malaxage pour les deux types de mortier (sans et avec les résine de latex) est représentée dans les tableaux **II.7 et II.8.**

Tableau III.5 : Opérations de malaxage du mortier sans les résines de latex.

L'opération	Durée	Etat du malaxeur
Introduction du ciment + le sable	-	Arrêt
Malaxage	30 S	Vitesse lente
Introduction du l'eau	30 S	
Malaxage	30 S	Vitesse rapide
Raclage de la cuve	15 S	Arrêt
-	1 min 15 s	
Malaxage	60 S	Vitesse rapide

Tableau III.6 : Opérations de malaxage du mortier avec les résines de

L'opération	Durée	Etat du malaxeur
Introduction du ciment + le sable	-	Arrêt
Malaxage	30 S	Vitesse lente
Introduction du l'eau+ le latex	30 S	
Malaxage	30 S	Vitesse rapide
Raclage de la cuve	15 S	Arrêt
-	1 min 15 s	
Malaxage	60 S	Vitesse rapide

Figure III.4 : Les étapes de fabrication des éprouvettes de mortier.

III.4 Les essais :

III.4.1 Equipement nécessaire :

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme **EN 196-1 [5]** et est illustré dans la (Figure III.5) :

- Une salle maintenue à une température de 20 °C ± 2 °C et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 % ;
- Un bac d'eau pour la conservation des éprouvettes maintenue à une température de 22 °C ± 2 °C et à une humidité relative supérieure à 90 % ;
- Un malaxeur à mortier normalisé avec une cuve de 5 L et pale de malaxage en inox;
- Un malaxeur à mortier normalisé avec une cuve de 15 L et pale de malaxage en inox;
- Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée (4cm x 4cm x 16cm);
- Une table à chocs pour le serrage des éprouvettes, permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de 15 mm ± 0,3 mm à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60 s;
- Balances pour la mesure des petites et grandes quantités ;
- Tamiseuse électrique ;
- Les tamis de différentes mailles en inox ;
- Agitatrice ;
- Cône de sable, pour la mesure de la masse volumique apparente du sable ;
- Eprouvettes et béchers en verre et en plastique graduées ;
- Spatules flexibles en acier inox ;
- Pinceaux ;

- Table à chocs

-Moule Normalisé (4x4x16) cm

- Etuve

- Agitatrice

- Balances-

- Eprouvettes et béchers en verre et en plastique graduées

- Bac d'eau

-Spatule flexible en acier inox

-Pinceaux ;

Figure III.5 : Equipement nécessaire.

III.4.2. les essais effectués sur les granulats :

a. Equivalent de sable :

Selon la norme **NF P 18-598 [11]**, la mesure de l'équivalent de sable se fait sur des tubes en verre. Les étapes suivies sont *[Dupain.00]:*

1. On remplies les éprouvettes avec la solution lavante, jusqu'au premier trait ;
2. On verse la quantité de sable voulue en éliminant les bulles d'air ;
3. On Bouche les éprouvettes et on les agite par des mouvements rectilignes horizontaux de20cm d'amplitude, 90 allers retours en 30 secondes (effectués de manière automatique par la machine ;
4. On lave et on remplies les éprouvettes, avec le tube plongeur
   - On rince le bouchon au dessus de l'éprouvette ;
   - On faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts pour laver les parois intérieures de l'éprouvette ;
   - On lave le sable en faisant descendre et on remonte lentement le tube laveur dans la masse de sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure ;
5. On faire Sortir le tube, et on ferme le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisse reposer 20 mn en évitant toute vibration. La tolérance sur le temps de repos est faible (plus ou moins 10 sec) car la hauteur du floculat dépend fortement de celui-ci ;
6. Puis on Mesure à vue les hauteurs h1 et h2

La mesure de h2 n'est pas toujours aisée donc l'ESV qui en découle contient des incertitudes, Il faut donc procéder de manière précise pour déterminer l'ES en utilisant la méthode du piston ;

7. On descend le piston taré dans le liquide à travers le floculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieure de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable.

On Mesure alors h2'. Ces opérations sont identiques pour les 2 éprouvettes réalisées sur chaque sable. Les mesures h1, h2 et h'2 doivent être faites avec la précision du mm.

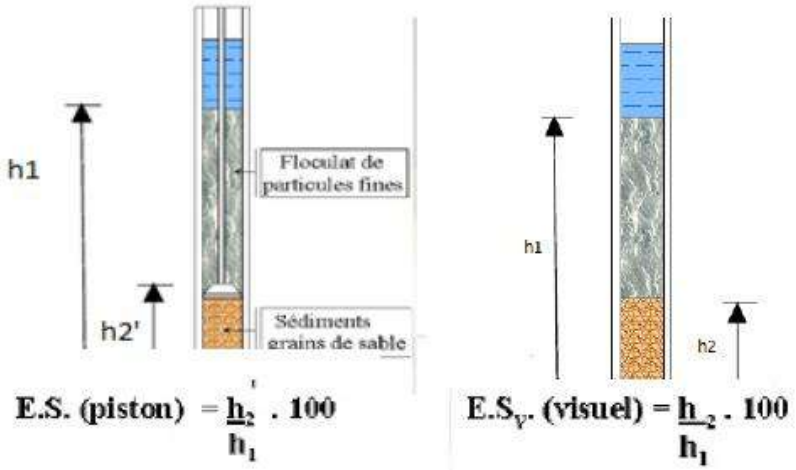


Figure III.6 : Procédure de mesure de l'équivalent de sable.

a. 1. Expression des résultats :

On Calcul pour chaque éprouvette ESV et ES avec une précision décimale et retenir les Moyennes arithmétiques, arrondies chacune à l'entier le plus proche

ES =100. (h2' / h1) **(Equation II.)**

ESV =100. (h2/ h1) **(Equation II.)**

B. Granulométrie :

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme **NA 2607 [12]** où le sable passant à travers une série de maille décroissante (Figure III.7) dont on pèse le refus de chaque tamis *[Dupain.00]*.

Figure III.7 : Séries de tamis.

On utilise une quantité de **1000 g** pour le sable de concassage et **1000 g** pour le sable roulé. On trace les courbes granulométriques pour chaque sable, puis on défini le module de finesse de chaque sable.

III.4.3. Les essais effectués sur le mortier :

III.4.3.1. Sur mortier frais :

a. Ouvrabilité du mortier :

Selon les normes L.C.P.C **NF P 18-452 [13]** et **NF P 15-437 [14]** le but de cet essai est de quantifier l'ouvrabilité qui est une qualité, évolutive dans le temps, du mortier avant prise, et classer les mortiers suivant une échelle de fluidité croissante (ferme, plastique, très plastique et fluide) *[Dupain.00]*.

Dans cet essai la consistance est caractérisé par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide. L'appareil utilisé est appelé Maniabilimètre à mortier LCPC (Figure III.8) et comporte :

- Unique boîtier parallélépipédique métallique (30 cm x15 cm x15 cm) ;
- Une cloison amovible ;
- Un vibrateur ;
- Un chronomètre ;

Figure III.8 : Maniabilimètre à mortier avec la tige de piquage.

Le principe de fonctionnement du maniabilimètre à mortier est résume comme suite :

- Huiler légèrement les parois internes de la cuve ;
- Remplir le mortier ;
- Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place en deux couches ;
- Chaque couche piquée de 15 coups au moyen de la tige de piquage ;
- Araser la dernière couche ;
- La cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibrateur et le déclenchement d'un chronomètre en même temps que la cloison est retirée ;
- Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule ;
- Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier.
- Le temps **t** mis par le mortier pour s'écoule caractérise sa consistance, L'état du mortier avant et après l'essai est illustré dans la (Figure III.10).

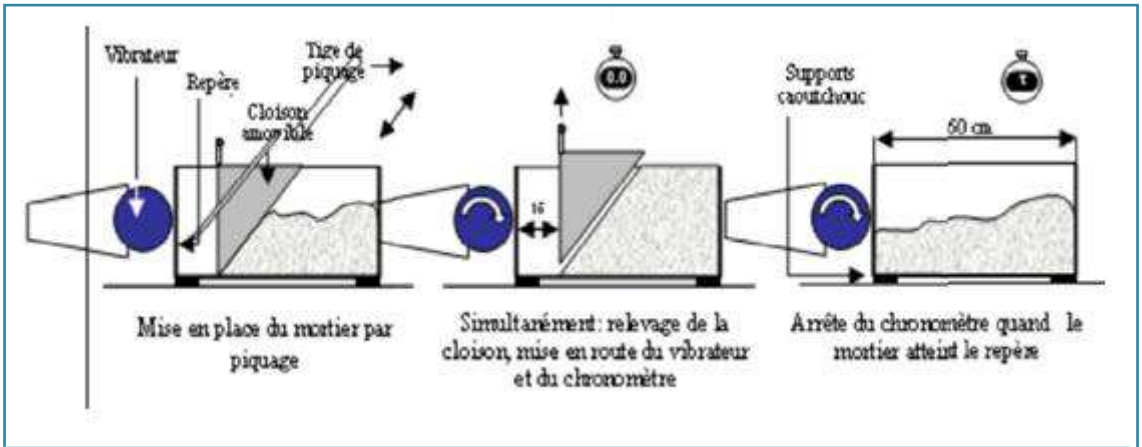


Figure III.9 : Principe de fonctionnement du Maniabilimètre à mortier.

Figure III.10 : Etat du mortier avant et après mesure du temps d'écoulement.

b. Air occlus :

L'air occlus est le volume d'air relatif qui restera piégé dans le mortier, même après la mise en œuvre.

Selon la norme **NF P 18-353 [2]**, l'air occlus est mesuré par un aéromètre à mortier d'une capacité de 1L.

Figure III.11 : Aéromètre à mortier**.**

b.2 Exécution de l'essai :

- Introduire le mortier dans la cuve hermétique de mesure en trois couches approximativement de même volume. Mettre en place chaque couche de mortier par 25 coups de tige de piquage également répartis sur toute la section, suite au piquage de chaque couche, tapoter de coups secs les parois du bol 10 à 15 fois avec un maillet, jusqu'à ce que tous les vides laissés par le piquage soient comblés et que de grosses bulles d'air n'apparaissent plus à la surface de la couche qui vient d'être mise en place par piquage ;
- Ajouter la couche de mortier finale de manière à éviter un trop plein excessif, araser la surface supérieure à l'aide d'une règle métallique ;
- Mettre en place le couvercle sur la cuve, le fixer en bloquant les attaches rapides diamétralement opposées (Figure III.12);
- Ouvrir les vannes rouges sur le couvercle ;
- Par la vanne de gauche, au moyen d'une pissette remplir l'aéromètre jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bulles d'air et que l'eau parvienne à la vanne de droite. A la fin du remplissage, incliner légèrement l'appareil de façon à ce que la vanne de droite se trouve plus haut que la vanne de gauche. Fermer les deux vannes ;
- A l'aide de la pompe à main, amener l'aiguille du manomètre en face du repère rouge sur le cadran. Laisser s'équilibrer la pression (qui peut retomber) et pomper de nouveau de sorte à dépasser légèrement le repère. Ajuster alors précisément la position de l'aiguille à l'aide du bouton poussoir noir ;
- Tapoter légèrement sur le manomètre et l'aéromètre pour assurer que la pression ne change pas,
- Appuyer sur le bouton poussoir vert quelques secondes jusqu'à ce que les pressions entre cuve et chambre de compression s'équilibrent ;

  Le manomètre indique alors directement en pourcentage le volume d'air occlus dans le mortier *[Cherait.07]*.

Figure III.12 : Etat final du mortier dans la cuve avant mesure.

c. La densité :

La masse volumique du mortier a été mesurée selon la norme **NF EN 12350-6 [3].** (Figure III.13)

Figure III. 13 : Mesure de la densité du mortier.

D. Le temps de prise :

Le priso-mètre Vicat a permis de mesurer le temps de début de prise des mortiers (Figure III.14) suivant la procédure expérimentale décrite dans la norme EN 196-3+A1 ***[EN 196-3+A1]***.**[4]**

Le temps de début de prise correspond à un enfoncement de l'aiguille jusqu'à une distance de 6 ± 3 mm de la plaque de base.

Figure III.14 : Appareil Vicatronic pour la mesure de prise Vicat et échantillon en cours d'essai.

III.4.3.2. Sur mortier durci :

a. Essai de traction par flexion

Selon la norme **EN 196-1 [5],** l'essai consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure III.15), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L *[Dupain.00]*. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 3, 7, 28 jours.

Figure III.15 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction.

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$\sigma = (M/I).V$

M : moment de flexion entre les deux points d'application de la charge :

$M= (F_f.L)/4$

I : moment d'inertie de la section transversale.

$I= a^4/12$

V : la distance de la fibre la plus éloignée.

V= a /2

La résistance a la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{1.5Ff.L}{a3}$$

$$f_{t28}=\frac{0.9Ft.L}{a3}$$

La rupture de chaque éprouvette en traction est effectuée conformément au dispositif décrit sur la (Figure III.16).

a / L'éprouvette après l'essai. b/ L'éprouvette après l'essai

Figure III.16: Essai de traction par flexion.

b. Essai de compression :

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme **EN 196-1 [5]** par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×8) cm, à 3,7,28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 kN conforme a la norme **NF P 18-412 [15]** (Figure III.17) pendant l'essai la vitesse de chargement est constante.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai (3j.7j.14j.28j) *[Dupain.00]*.

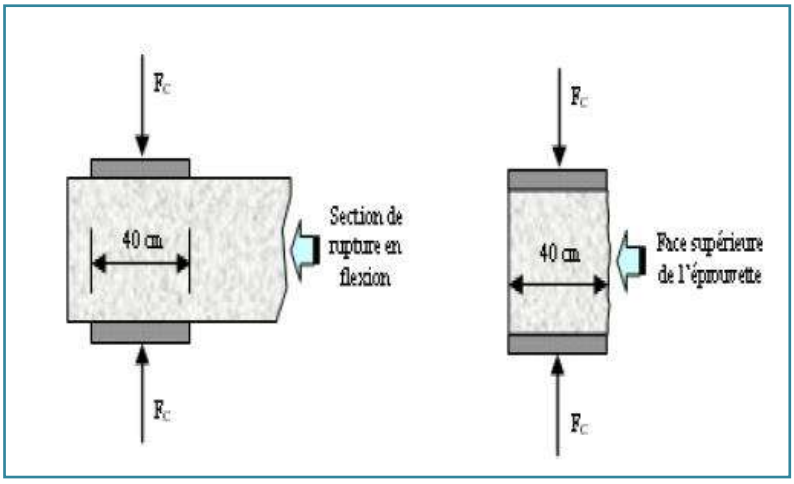


Figure III.17 : Dispositif de rupture à la compression.

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la figure III.18, la contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$\sigma_c = \frac{F}{a^2}$$

Avec a= 40cm.

Figure III.18: Presse Hydraulique (2000kN).

A /L'éprouvette avant l'écrasement **B/ L'éprouvette après l'écrasement**

Figure III.19 : Essai de compression.

D. Essai de retrait et gonflement :

Le retrait est le résultat d'une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en mortier.

Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16 cm) conformément à la norme **NF P 18-404 [7].** Après 24heures, les éprouvettes au nombre de trois par composition, sont conservées à l'air libre. L'essai de retrait est effectué par un réfractomètre (Figure III.22) munis d'un comparateur qui permet la mesure du retrait à tout moment à cours terme et moyenne terme (du 1j jusqu'a 5 semaines).

Figure III.22 : Rétractomètre.

d.1 Mesure des variations de masse :

La variation de masse est déduite après avoir, pesé à 0.1 g chaque éprouvette à chacun des temps utilisés pour mesurer de retrait. Pour les différents âges, on mesure la variation du poids.

Le compte rendu donne les valeurs de ces rapports pour les différents âges et pour les différentes éprouvettes mesurées. Les moyennes arithmétiques de ces 3 valeurs à un âge déterminé caractérisent la valeur du retrait et celle du gonflement à cet âge de l'échantillon (éventuellement, de la variation de masse).

Conclusion :

Ce chapitre regroupe l'ensemble des matériaux et des techniques expérimentales utilisées tout le long de ces travaux. Ce travail concernant des mortiers formulé en laboratoire.

Les chapitres suivants sont consacrés à la description des résultats expérimentaux et à leur analyse.

Chapitre IV
Résultats Et Interprétation

IV. Introduction :

Dans ce chapitre on présente les résultats obtenus pour les différents essais réalisés, sur le mortier frais et le mortier durci.

Les résultats sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

IV.1 Caractérisation des granulats :

Les résultats des différents essais de caractérisation réalisée sur les sables sont résumés dans le tableau suivant **(Tableau IV.1) :**

Tableau IV.1 : Caractéristiques des différents sables utilisés.

Caractéristiques	**Type de sable**		
	Roulé	Concassée	Sable corrigé
Provenance	Hassi Bahbah	Mont Gorno	Roulé + concassé
Classe granulaire	0/3	0/5	0.45
Module de finesse	0.91	3.75	2.3
Equivalent de sable (%)	56.86	90.60	73

- **Remarque :**

A travers de ces résultats trouvés en équivalent de sables, On distingue que le sable concassé est un sable grossier tandis que le sable roulé est un sable très fin, Donc il est nécessaire de corriger le sable roulé par le sable concassée pour avoir un mélange convenable et avec un équivalent de sable acceptable.

- **Correction des sables :**

Selon la méthode ***d'ABRAMS*** et le module de finesse souhaité (M*f* souhaité = 2.5), on calcul les paramètres S1, S2 et S suivants :

M***f*** souhaité =2.5 et d'aprés les résultats du l'analyse du sable on a :

Mf_1=0.91 pour le sable roulé ;

Mf_2=3.57 pour le sable concassée ;

$$S1= \frac{/Mf-Mf_2/}{/Mf_2-Mf_1/} = \frac{/2.5-3.57/}{3.57-0.91} = \frac{/-1.07/}{/2.66/} = 0.40$$

Donc S1= 40 %.

$$S2= \frac{/Mf-Mf_1/}{/Mf_2-Mf_1/} = \frac{/2.5-0.91/}{3.57-0.91} = \frac{/-1.07/}{/2.66/} = 0.59 \approx 0.60$$

Donc S2= 60%.

Le sable mélange sera composé alors des portions suivants :

- Le pourcentage du sable roulé = 40%
- Le pourcentage du sable concassé = 60 %

Ou bien si on utilise une masse M =2000g de sable on prend les quantités suivantes :

- La masse du sable concassé = 810 g(approximativement)
- La masse du sable de roulé = 540 g(approximativement)

A travers ces résultats trouvés, les courbes granulométriques des différents granulats utilisés sont illustrées dans la figure **IV.1** suivante :

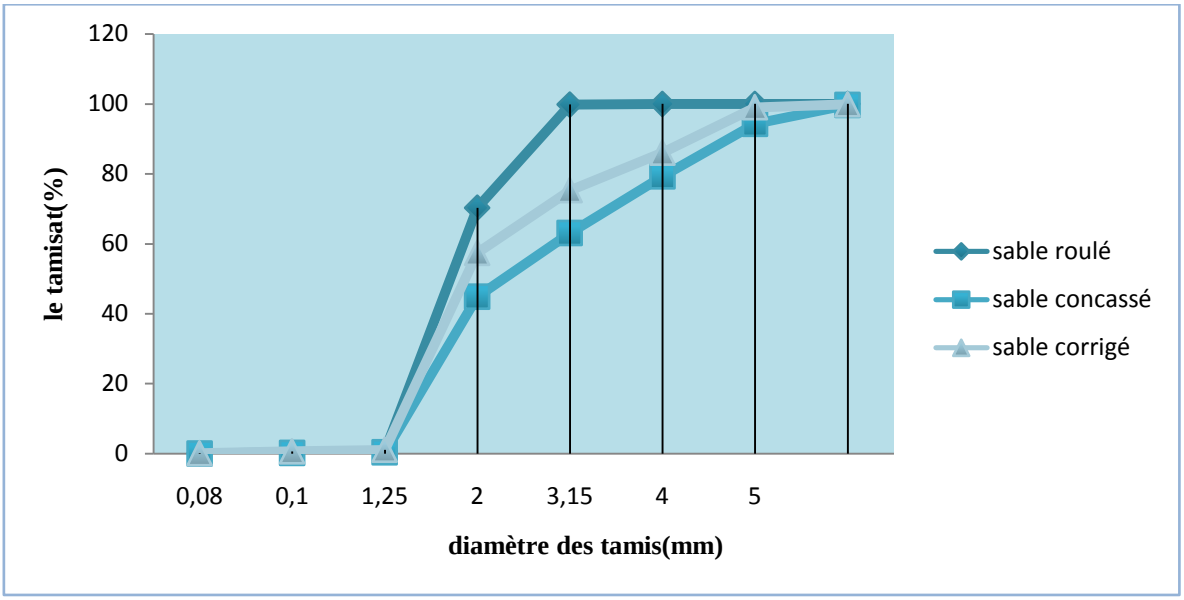


Figure IV.1 : La courbe granulométrique des granulats utilisée.

IV.2. Caractérisation des mortiers :

Les résultats données ci-après sont regroupés selon deux modes : à l'état frais et à l'état durci.

IV.2.1. Etat frais:

Tableau IV.2 : Caractéristiques des différents types des mortiers réalisés à l'Etat Frais.

	Temps d'écoulement(s)	**Air occlus (%)**	**Densité (kg/m^3)**	**Temps de prise (h)**
Type de mortier	**T $_{moyenne}$**	**Air occlus(%) $_{moyenne}$**	**Densité (kg/m^3) $_{moyenne}$**	**Temps de prise (h)$_{moyenne}$**
Mortier témoin	51	2.9	1.89	4
Mortier modifié au latex	75	5	1.6	2.5

A. Ouvrabilité :

Les résultats sont représentés sur un histogramme **(Figure IV.2)** et le **(Tableau IV.2)** nous permet de comparer les valeurs du temps d'écoulement des différentes mortiers réalisés.

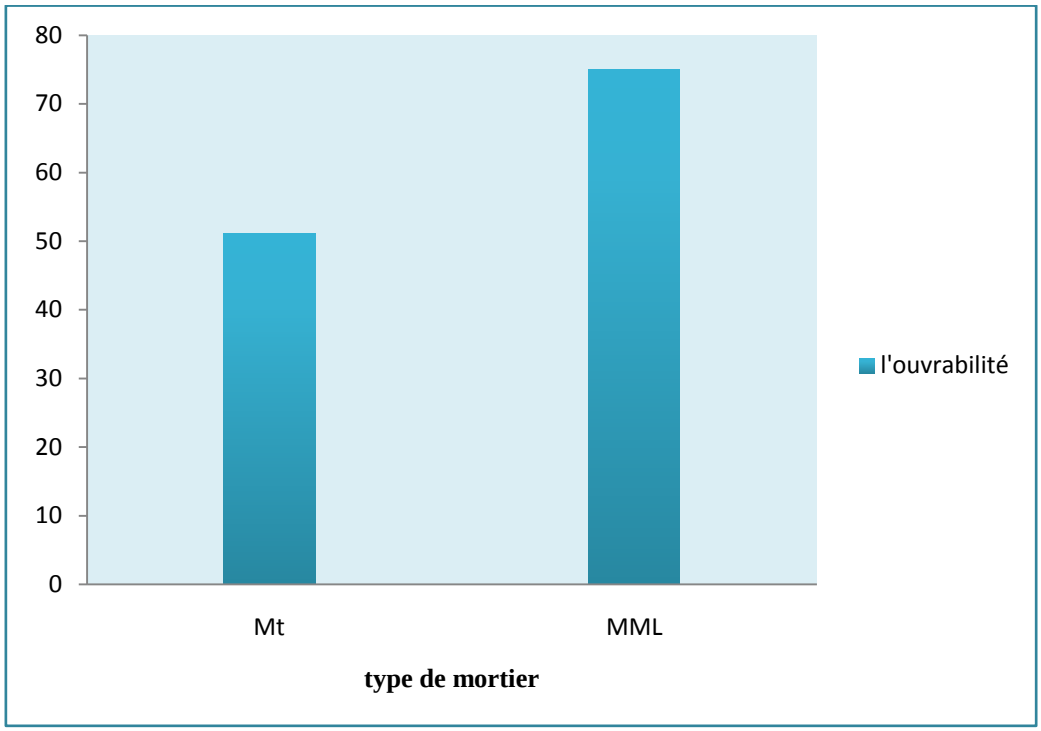


Figure IV.2 : Temps d'écoulement des différents mortiers réalisés.

Pour pouvoir comparer les résultats, on a fixé le rapport E/C égale à 0.50 pour tous nos mortiers réalisés, D'après la lecture de ce graphe on peut dire que le temps d'écoulement d'un mortier diminué lorsqu'on ajoute les résines de latex.

On constate alors que les mortiers au latex est plus ou moins ferme par rapport au mortier ordinaire.

B. Air occlus :

Dans cet essai on a mesuré l'air occlus en (%) pour chaque gâché de mortier réalisé, et les résultats obtenus sont résumés dans la **(Figure IV.3)** et le **(Tableau IV.3).** ces résultats sont représentés sur un histogramme qui permet de comparer les valeurs des différents familles de mortier.

Tableau IV.3 : l'air occlus de différent mortiers réalisés (MT ; ML).

Type de mortier réalisé	Air occlus (%)
MT témoin	2.9
ML latex	5

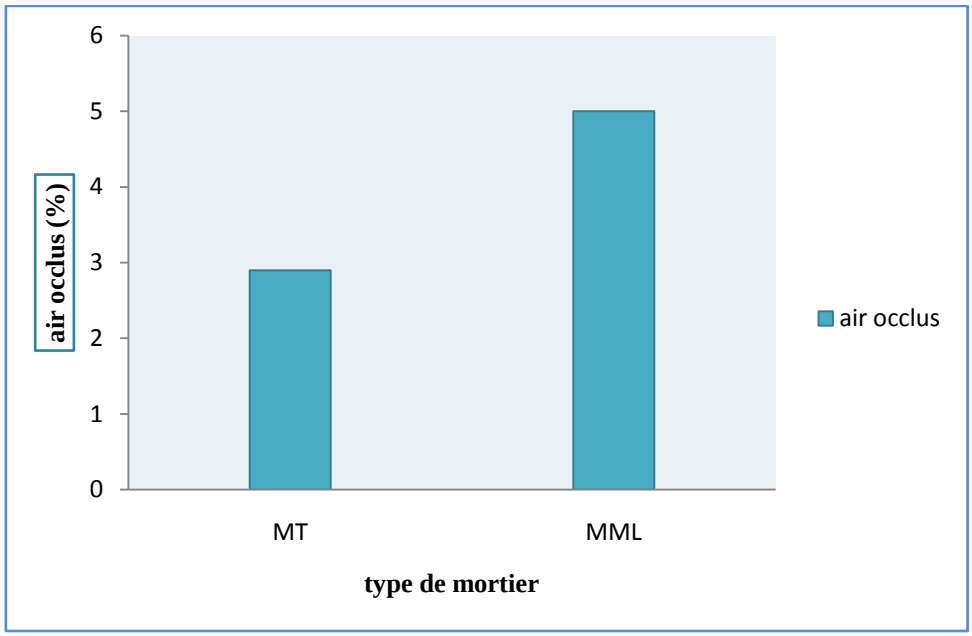


Figure IV.3 : Air occlus de différent mortiers réalisés (MT ; ML).

D'après cette figure (**IV.3**) et les résultats obtenus présenté sur le tableau**(IV.3)** on remarque que les résines de latex causent plus d'air occlus dans le mortier par rapport au mortier témoin.

Ceci est dû à l'action de latex qui joue un rôle d'émulsifiants au sein du mortier.

C. Densité :

La densité des différents mortiers réalisés est résumée dans l'histogramme suivant **(Figure IV.4)** et le **(Tableau IV.4):**

Tableau IV.4 : la densité des différent mortiers réalisés (MT ; ML).

Type de mortier	La densité
témoin	1.89
latex	1.6

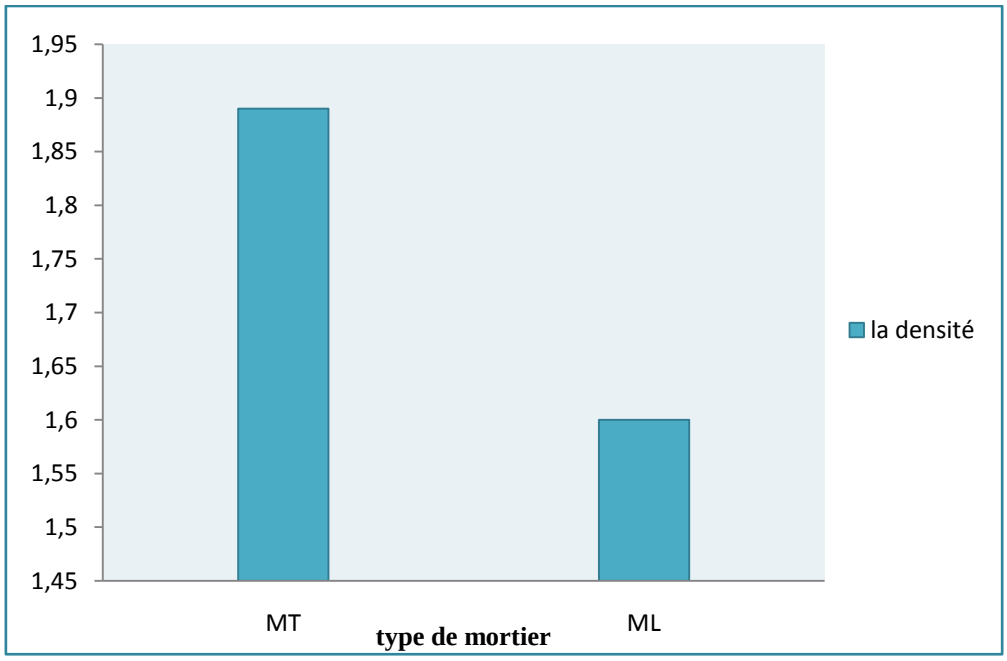


Figure IV. 4: Densité des différents mortiers réalisés (MT ; ML).

D'après la lecture de ce graphe (**Figure III.4)** et les résultats obtenue sur le **(Tableau III.4)** on remarque que l'utilisation des résines de latex réduit la densité du mortier, donc la présence de la résine de latex dans le mortier le rend plus léger.

D. le temps de prise :

D'après la lecture du graphe (figure III.5) et les résultats obtenue sur le tableau (III.4) on remarque que l'utilisation des résines de latex dans un mortier diminue le temps de prise jusqu'à 40% par rapport au mortier témoin et cela a cause du film de polymère créé autour des grains de ciment

Tableau IV.5 : le début et la fin du prise du différent mortier réalisé (MT ; ML).

Type de mortier	Début de la prise (h)	Fin de la prise (h)
Mortier témoin	1	4
Mortier latex	1	2.5

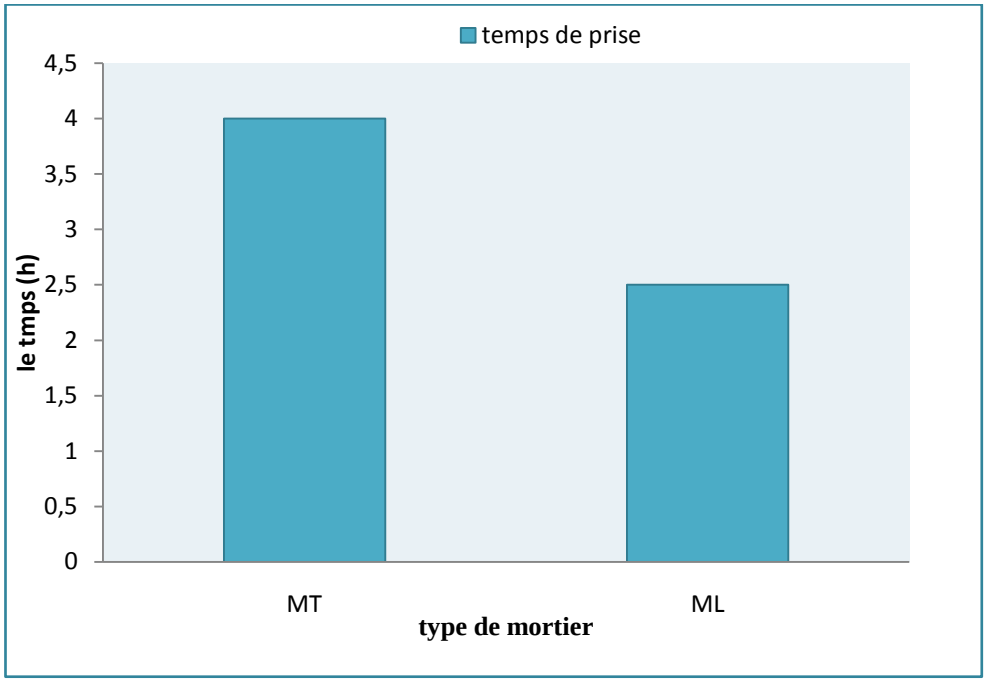


Figure IV.5 : Temps de prise des deux types de mortier (Témoin ; latex).

Ce retard de prise est probablement attribué à la formation des films de polymères et la création d'un réseau entremêlé de polymères et d'hydrates de ciment. En effet, ce rapide début de prise s'assimile au début de la filmification du polymère. Ce résultat est également observé par *[Barluenga 2004]*.

IV.2.2. Caractéristiques des mortiers à l'état durci :

Cette partie décrit les propriétés physico-mécaniques des deux types des mortiers réalisés. On commence a les propriétés mécaniques (résistance a la compressions ; traction et cisaillement) et on conclure par les propriétés physique (retrait, retrait empêché).

Pour chaque essai, les résultats est la moyenne de 3 mesures prisent sur 3 éprouvettes à l'âge de 3, 7,14 et 28j avec des dosages en latex de 2.77%, les résultats sont illustrés dans les **Figures (IV.6 IV.7 IV.11)** et les **Tableaux (IV.6 IV.7 IV.8 IV.9)** suivants :

Tableau IV.6 : Variation de la Resistance a la compression ; traction et le retrait des mortiers réalisé a 3j.

type de mortier	Rt	Rc	retrait
témoin	2,43	33,97	7,855
latex	2,86	25,87	8,039

Tableau IV.7 : Variation de la Resistance a la compression ; traction et le retrait des mortiers réalisé a 7j.

type de mortier	Rt	Rc	retrait
témoin	6,91	47,57	7,61
latex	7,26	32	8,044

Tableau IV.8 : Variation de la Resistance a la compression ; traction et le retrait des mortiers réalisé a 14j.

type de mortier	Rt	Rc	retrait
témoin	7,99	42,43	7,62
latex	6,19	31,8	8,03

Tableau IV.9 : Variation de la Resistance a la compression ; traction et le retrait des mortiers réalisé a 28j.

type de mortier	Rt	Rc	Retrait
témoin	4,21	51,4	7,55
latex	6,46	44,53	7,66

A. La Résistance à la compression :

Sur la figure **III-6**, on remarque que le mortier de latex suit la même cinétique de résistance que celle de mortier témoin. Aussi, On remarque une légère diminution de la résistance à la compression des mortiers de résine de latex par rapport au mortier témoin, mais reste toujours proche à ce dernier.

Car, on observe une chute de résistance à la compression à L'âge de 28 jours de 15%par apport au mortier témoin. Cette chute de résistance semble être logique est due principalement à : la dispersion de latex et a la création d'un film autour des grains de ciment, ce qui réduit le pourcentage de l'hydratation du ciment.

On déduit alors que l'introduction de latex réduit la résistance a la compression du mortier témoin. Mais ce la ne semblera important. Car, le mortier est destiner comme élément de jointement de maçonnerie.

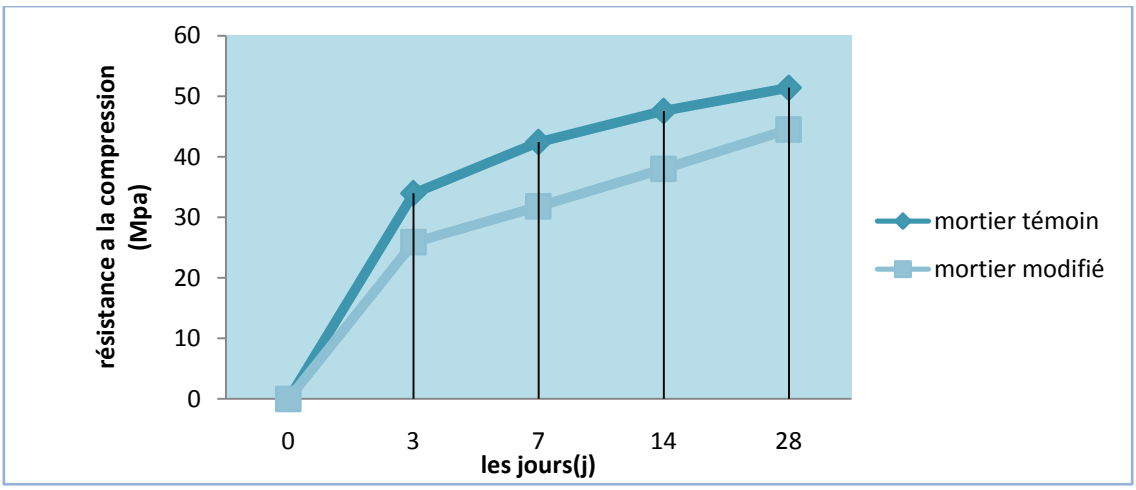


Figure IV.6 : Variation de la Résistance à la compression de défirent mortiers réalisé (témoin et modifier).

B. Résistance à la traction par flexion :

La figure **III- 7** illustre que la résistance a la traction des mortiers de latex est améliorée la résistance jusqu'à **(15 et 35 %)** respectivement pour le mortier témoin

La figure montre la présence des fibres synthétique dans la section de l'éprouvette où est survenue la rupture. Ces fibres limitent la progression de la fissure, ce qui pourrait entraîner une résistance à la rupture plus élevée, surtout en flexion.

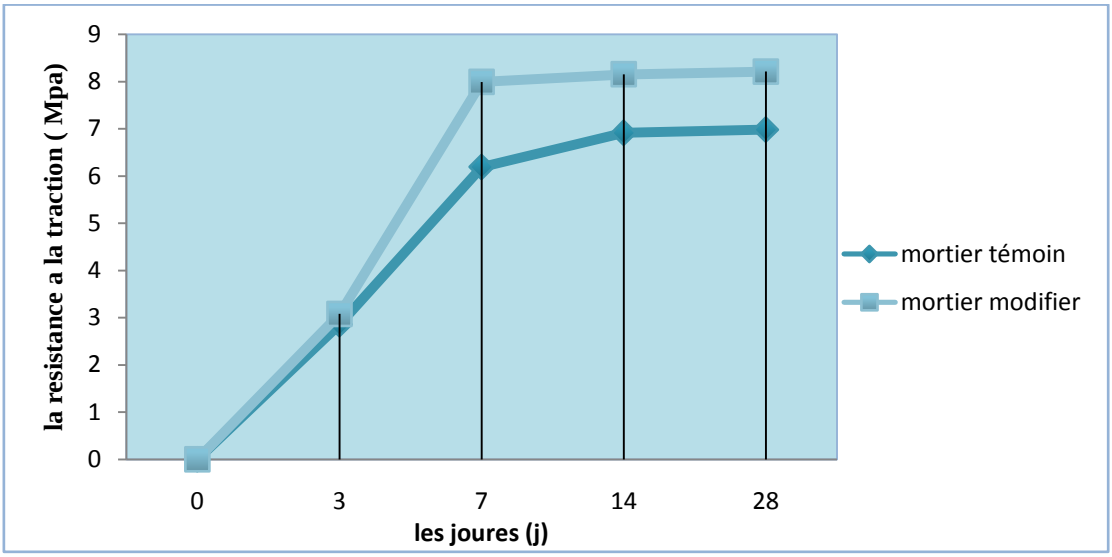


Figure IV.7 : Variation de la Résistance à la traction de défirent mortiers réalisé (témoin et modifier)

D. L'essai de retrait :

D'après la figure **III.8**, on remarque que les valeurs de retrait augmentent en fonction du temps pour les deux mortiers (mortier témoin ; mortier latex).

Par contre le retrait diminue dans le mortier témoin. Les courbes de la Figure permettent de mettre en lumière l'influence du dosage en latex.

Le retrait des mortiers de latex est après 28 jours du même ordre de grandeur que celui des mortiers non modifiés.

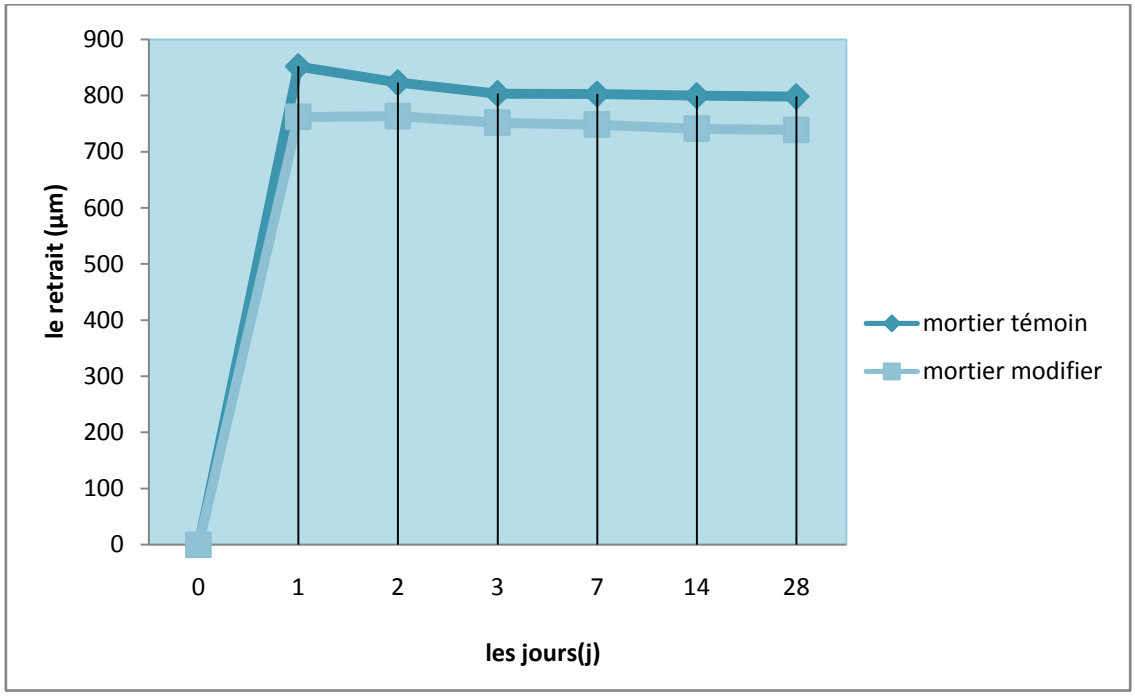


Figure IV.11 : Variation du retrait de défirent mortiers réalisé (témoin ; modifier).

Conclusion :

Dans le cadre de cette étude, l'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux Quelques conclusions suivantes :

- **A l'état frais :**
  - Une augmentation dans l'ouvrabilité pour le mortier modifié par contre le mortier témoin.

- Le mortier modifié comprise plus d'air que le mortier témoin.

- Une diminution marquante dans la densité de mortier modifié par contre le mortier témoin.

- Une accélération remarquable dans le temps de prise du mortier modifié par polymère par rapport au mortier témoin.

- **A l'état durci :**

  - On a remarqué une faible augmentation à la résistance à la compression dans le mortier modifié au polymère par rapport au mortier témoin, par contre une augmentation considérable à la résistance à la traction dans le mortier du polymère.

  - Aussi une faible augmentation dans le retrait libre était trouvée dans le mortier du polymère par contre dans le mortier témoin.

  - Une bonne adhérence dans le mortier modifié par polymère de latex trouvé dans l'essai du cisaillement par rapport le mortier témoin.

  - Le manque des fissures dans l'anneau au mortier modifié jusqu'à maintenant dans l'essai du retrait empêché.

Conclusion Général

Conclusion général

Une synthèse bibliographique a été réalisée sur le comportement du mortier à l'état frais et à l'état durci. L'objectif de notre étude était d'étudier le comportement des mortiers à base de résine latex (mortiers modifiés par des polymères). Ce mortier contient un type de polymères acrylique avec un rapport polymère/ciment de 12%. Parmi les conclusions qu'on a pu tirer de notre travail, on a :

- A l'état frais

  On a remarqué une certaine augmentation dans l'ouvrabilité pour le mortier modifié par contre le mortier témoin a cause de le remplacement du port d'eau par le latex lors l'hydratation.

  Le mortier modifié comprend plus d'air que le mortier témoin et cela a cause de leur rôle d'émulsifiant.

  Une diminution marquante dans la densité de mortier modifié par contre le mortier témoin.

  Une accélération remarquable dans le temps de prise du mortier modifié par polymère par rapport au mortier témoin a cause de la filmification des grains de ciment.

- A l'état durci l'ajout de polymère entraîne l'accroissement des propriétés mécaniques des mortiers.

  Dans tous les cas, les propriétés mécaniques des mortiers sont comparable lorsqu'ils sont modifiés par du polymère par rapport au mortier témoin. Cet effet est surtout visible en flexion car les polymères viennent renforcer l'interface granulat-liant. Aussi, par la formation d'un film de polymère entremêlé aux hydrates de ciment.

  Le polymère améliore également la résistance au cisaillement. Cela peut être dû à la quantité d'eau plus faible nécessaire pour ces mortiers ou à des interactions différentes entre le polymère, le sable et les granulats.

Ce travail a donc permis de confirmer l'effet positif de la présence de polymères dans les mortiers : ce qui est l’amélioration des propriétés mécaniques des mortiers.

RECOMMANDATION

Dans notre travail, on a remplacé12% du poids du ciment par la résine du latex, nous recommandons de

- varier le dosage du latex pour vérifié l'influence du son dosage sur les propriétés a l'état frais et a l'état durci sur le mortier;
- mettre les mortiers modifié dans différents conditions de cure;
- varier la nature du polymère (vynilique, styrène butadiène,polyvinyl acetate ..);
- Étudier le risque de fissuration des mortiers modifiés au latex;
- Étudier la rétention d'eau.

Réfirence bibliographique

[Acker.08] Acker P., Torrenti J.-M. and Guerinet M, "La maîtrise de la fissuration au jeune âge: condition de durabilité des ouvrages en béton", dans La durabilité des bétons, Ollivier .J.-P et Vichot .A, Presses de l'ENPC, pages : 217-246, 2008.

[Barluenga, 04] G. Barluenga, F. Hernandez-Olivares. SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour. Cement and Concrete Research, vol. 34, pages: 527-535, 2004.

[Barret . 86] P. Barret, D. Bertrandie. Fundamental hydration kinetic features of the major cement constituents: Ca_3SiO_5 and bCa1SiO_4. Journal de Chimie Physique, 83(11/12), pages: 765–775,1986.

[Bureau, 01] L. Bureau, A. Alliche, Ph. Pilvin, S. Pascal. Mechanical characterization of a styrene-butadiene modified mortar. Materials Science and Engineering, vol 308, pages: 233-240, 2001.

[Capener.05] C.M.J. Capener. Effect of admixtures on the fresh and hardened properties of modern rendering system. Thèse d'ingénieurie, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, pages:60 ,2004,

[Cherait.07] Dr. CHERAIT Yacine, Mr NAFA Zahredine : « Eléments de matériaux de construction et essais », Direction de la publication universitaire de Guelma, 2007.

[Damidot. 92] D. Damidot, A. Nonat. Investigation of the C3S hydration and setting of the cement. Rilem, , pages: 23-24,1992

[Dikeou.91] Dikeou J.T, "Radiation polymerization of monomers", U.S. Bureau of reclamation, Washington, Janvier, 1991.

[Dikeou.91]' Dikeou J.T, "Radiation polymerization of monomers", U.S. Bureau of reclamation, Washington, Janvier, 1991.

[Dugniolle.73] Dugniolle E., "Corrosion bioilogique des bétons au contacts avec les eaux résiduelles", Revue du CSTB, N°4, pages :26-28, 1973.

[Dupain.00] DUPAIN.R et all, « Granulats, sols, ciment et béton : Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire » ,2éme édition CASTEILLA, Paris, 2000.

[Durand.93] Durand B., " Revue des méthodes de prévention et de réfection utilisées à Hydro-Québec pour contrer les réactions alcalis-granulats dans les ouvrages de béton", Rapport IREQ-93-306, Hydro-Quebec, Montreal, Canada, 1993.

[Duval.92] Duval .R, " La durabilité des armatures et du béton d'enrobage ", dans la durabilité des bétons, Barron .J et Ollivier .J.P, Presses de l'ENPC, France, pages :173-225, 1992.

[Edvardsen.99] C. Edvardsen. « Water permeability and autogenouse healing of cracks in concrete ». ACI Materials Journal, V.96, N0. 4, pages.448-454, 1999.

[Emmons.94] Emmons P.H., "Concrete repair and maintenance illustrated", Means, Kingston, Massachusetts, USA, pages :295, 1994.

[Faley.84] Falvey H.T, "Cavitation in chutes and spillways", Engineering Monograph N°42, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, USA, 1984.

[Fowler.73] Fowler D.W, Houston J.T and Paul D.R, "Polymer impregnated concrete for highway applications", Research Report, N°1141, Center for Highway Research, Austin, Texas, 1973.

[Fowler. 99] D. Fowler, 1999. Polymers in concrete: a vision for the 21st century. Cement & Concrete Composites, pages :21:449–452.

[Gartner. 97] E.M. Gartner. A Proposed mechanism for the growth of C-S-H during the hydration of tricalcium silicate. Cement and Concrete Research, vol. 27, n°5, 1997, pages :665-672

[Garrault.98] S. Garrault-Gauffinet. Etude expérimentale et par simulation numérique de la cinétique de croissance et de la structure des hydrosilicates de calcium, produits d'hydratation des silicates tricalcique et dicalcique. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, France, 1998.

[Garrault et Nonat.01] S. Garrault, A. Nonat. Hydrated layer formation on C_3S and C_2S surfaces. Langmuir, 17 (26), pages : 8131–8138, 2001.

[Gemert 04] D. Van Gemert, E. Knapen. Recent Development of Concrete Polymer Composites in Belgium. 11th ICPIC Congress in Berlin, 2004.

[Giacco.86] Giacco G., Giovambattista A., "Bleeding: Evaluation of its effects on concrete behavior", Materials and Structures, Vol. 112, pages: 265-271, 1986.

[Goto.06] T. Goto. Influence des paramètres moléculaires du latex sur l'hydratation, la rh´eologie et les propriétés mécaniques des composites ciment/latex. Th`ese de doctorat, Universit´e Pierre et Marie Curie Paris VI, Paris, France, 2006.

[Gretz 2011] M. Gretz, J. Plank, An ESEM investigation of latex film formation in cement pore solution, Cement and Concrete Research 41, pages:184-190, 2011

[Grzybowski.90] Grzybowski M. and Shah S.P., "Shrinkage Cracking of Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, Vol. 87, N°2, pages:138-148, 1990

[Hannant.78] Hannant D.J., "Fibre Cements and Fibre Concretes", John Wiley & Sons Edition, Chichester, pages: 234, 1978.

[Hearn.98] N. Hearn. "Self-sealing, autogenous healing and continued hydration: what is the difference?". Materials and structures / Matériaux et constructions, Vol.31, pages :563-567, Octobre 1998.

[Hearn.98]' N. Hearn. "Self-sealing, autogenous healing and continued hydration: what is the difference?. Materials and structures / Matériaux et constructions, Vol.31, pages :563-567, Octobre 1998.

[Hearn.92] N. Hearn. « Saturated permeability of concrete as influenced by cracking and self-sealing ». Thesis, Cambridge University, 1992.

[Hearn.94] N. Hearn, R. J. Detwiler, C. Sframeli. « Water permeability and microstructure of three old concretes ». Cement and Concrete Research, Vol. 24, No. 4, pages :633-640, 1994.

[Holland.86] Holland T.C. Krysa A. , Luther M. and Liu T., "Use of silica-fume concrete

to repair abrasion-erosion damage in the kinzua dam stilling basin", Proceeding of the 2nd CANMET/ACI International Conference on the use of Fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete, SP-91,Vol.2, American Concrete Institute, Detroit, pages: 841-864, 1986

[Jacobsen.95] S. Jacobsen, J. Marchand, H. Hornain. «SEM observation of the microstructures of frost deteriorated and self-healing concretes ». Cement and Concrete research, Vol.25, No. 8, pages: 1781-1790, 1995.

[Jacobsen.96,b] S. Jacobsen, J. Marchand, L. Boisvert. « Effect of cracking and healing on chloride transport in OPC concrete ». Cement and Concrete research, Vol.26, No. 6, pages:869-881, 1996.

[Jacpbsen.98] S. Jacobsen, J. Marchand, B. Gérard, « Concrete crack I: Durability and self healing » Proceedings of Concrete Under Severe Conditions 2 Environment and Loading, O.E. Gjorv, K. Sakai and N. Banthia Editors, E&FN Spon, Tromso, , pages:217-231, June, 1998.

[Jae-Ho. 97] K. Jae-Ho, R.E. Robertson. Prevention of air void formation in polymer modified cement mortar by pre-wetting. Cement and Concrete Research, vol 27, pages :171-176, 1997.

[Jenni .05] A. Jenni, L. Holzer, R. Zurbriggen, M. Herwegh. Influence on microstructure andadhesive strength of cementitious tile adhesive mortars. Cement and Concrete Research, vol.35, 2005, pages :35-50.

[Jennings.89]. H. M. Jennings. Comment on the mechanism of C3S hydration. Advances in Cement Manufacture and Use, Ed. E. Gartner, Engineering foundation, New York, 79–88, 1989.

[Jennings .00] H.M. Jennings. A model for the microstructure of calcium silicate hydrates in cement paste. Cement and Concrete Research, vol.30, n°1, pages :920-925.2000

[Kettle.87] Kettle R. and Sadegzadeh M., "The Influence of construction procedures on abrasion resistance", Compte-rendus, Katherine and Bryant Mather International Conference on Concrete Durability, ACI SP-100, Vol.2,

American Concrete Institute, Detroit, USA, 1987.

[Kim. 97] J.H. Kim, R. Robertson. Prevention of air void formation in polymer modified cement mortar by pre-wetting. Cement and Concrete Research, vol 27, pages :171-176, 1997.

[Kraii.85] Kraii P.P., "A proposal Test to determine the Cracking Potential of Fiber reinforced Concrete", Concrete Construction, pages:775-778, 1985.

[Krukar.73] Krukar M. and Cook J.C., "The Effect of studded tires on different pavement and surface texture", Washington State University, Pullman, February, 1973.

[Langlois.94] Langlois M., Pigeon M., Bissonnette B. and Allard D., " *Durability of pavement repairs: A Field Experiment*", Concrete International, Vol. 16, N°8, pages :39-43, August, 1994.

[La plante.91] Laplante P.C., Aitcin P.C. and Vézina D., "Abrasion resistance of concrete", Journal of Civil Engineering Materials, Vol. 3, N°1, pages:19-28, 1991.

[Lauer.56] K.R. Lauer, F.O. Slate. « Autogenous healing of cement paste ». J. ACI, pages :1083-1097, 1956.

[le compte.01] Le compte A., De Larrard F. and Mechling J.M.,"Résistance à la compression de bétons hydrauliques au squelette granulaire non optimisé", Bulletins des LCPC, N° 234, Article Septembre-Octobre 4347, 2001.

[Litvan.80] Litvan G.G., "Freez-thaw durability of porous building material", in Durability of Building Materials and Component, ASTM, STP.691, Philadelphia, pages: 455-463, 1980.

[Loving.36] M.W. Loving. « Autogeneous healing of concrete ». Arlington, Amer. Conc. Pipe. Assoc., Bul. No. 13, pages: 3, 1936.

[Mehta.91] Mehta P.K., "Concrete: Structure, Properties and Materials", Second Edition, Prentice-Hall, Englewoods Cliffs, N.J., U.S.A, 1991.

[Meishan, 02] P. Meishan, W. Kima, W. Hyunga, A.J. Angoa, Y. Soh. Effects of emulsifiers on properties of poly (styrene-butyl acrylate) latex-modified mortars. Cement and Concrete Research, vol 32, pages: 837-841, 2002.

[Mirza.92] Mirza J.and Durand B., "Rapport intérimaire, Evaluation en chantier de matériaux de réparation destinés aux structures hydrauliques en béton endommagées par l'érosion", Rapport IREQ-92-154, Hydro-Québec, Montréal, juin, 1992.

[Mor.89] A. Mor, P. J. M. Monterio, W. T. Hester. « Observation of healing of cracks in high-strength lightweight concrete ». Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP, Vol. 11, No.2, pages: 121-125, 1989.

[Mosser.04] Mosser A.M.,"Outil d'aide à la gestion des interventions sur les barrages en béton", Thèse université de Laval, Faculté des sciences et de génie, pages : 127, 2004.

[Nicoleau.01] L.Nicoleau, S.Garrault, A.Nonat, S.Pourchet Interactions physico-chimiques entre le latex et les phases minérales constituant le ciment. Rapport de D.E.A., 2001.

[NF P 15-437] Normes AFNOR : « Liants hydrauliques –Techniques des Essais – Caractérisation des ciments par mesure de la fluidité sous vibration des Mortiers », Juin 1987.

[NF P 18-353] Normes AFNOR : « Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Mesure du pourcentage d'air occlus dans un béton frais à l'aéromètre à béton », 2007.

[NF EN 12350-6] 1999, << Essais pour béton frais .partie 6 : masse volumique >>AFNOR.

[NF EN 196-3+A1] Janvier 2009 : Méthodes d'essais des ciments - Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité

[CEN EN 196-1] , Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments -Partie 1 :

détermination des résistances mécaniques (indice de classement P15-471) », Aout 1995.

[NF EN 1052-3] Avril 2003 Méthodes d'essai de la maçonnerie - Partie 3 : détermination de la résistance initiale au cisaillement -

[NF P 18-404] Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules », Décembre 1989.

[NA 442] Normes Algérienne : « Ciment - Composition, spécifications et Critères de conformité des ciments courants », 1994, 2000.

[NF EN 1008] 2003, <<Eau de gâchage pour béton : Spécificationd'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude a l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton >>, AFNOR.

[XP P18-598] Norme françaises : Granulats équivalent de sable (indice de classement P18-3938), Octobre 1991.

[NA 2607] Normes Algérienne : « Granulats - Analyse granulométrique par tamisage », 1990.

[NF P 18- 452] Normes AFNOR : « Béton- mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètre », Mai 1988.

[NF P 15-437] Normes AFNOR : « Liants hydrauliques –Techniques des Essais – Caractérisation des ciments par mesure de la fluidité sous vibration des Mortiers », Juin 1987.

[NF P 18-412] 1981, << Essais pour béton frais .partie 6 : masse volumique >>.

[Nmai.98] Nmai C.K., Tomita R., Hondo F. and Bufferibarger J., "Shrinkage Reducing Admixtures", Concrete International, Vol. 20, N°4, pages:31-37, 1998.

[Ohama .87] Y. Ohama. Principle of latex modification and some typical properties of latex modified mortars and concretes, ACI Materials Journal, , pages: 511-518.1987.

[Ohama.et Ramachadran.91] Ramachadran V.S. et Ohama. Y. Concrete Admixtures Handbook Properties. Science and Technology, Chapter 7: Polymer Modified Mortars and Concretes, pages.337-429, Noyes Publications. E.U., 1991

[Ohama .95] Y. Ohama. Handbook of polymer-modified concretes and mortars. Noyes Publications, 1995.

[Ohama .97] Yoshihiko Ohama 1997, Recent Progress in Concrete-Polymer Composites, Advanced Cement Based Materials, Volume 5, Issue 2, March 1997, Pages: 31-40.

[Ohama .98] Y. Ohama. Polymer based admixtures. Cement and Concrete Composites, vol. 20, 1998, pages: 189-212.

[Ollitrault-Fiche.98] R. Ollitrault-Ficher, C. Gauthier, G. Clamen, P. Boch. Microstructralaspects in a polymer modified cement. Cement and Concrete Research, vol. 28 (12), 1998, pages: 1687-1693.

[Parrott.88] Parrott L.J., "Characteristics of surface layers that affect the durability of concrete", Proceedings of Engineering foundation Conference on Advance in Cement Manufacture and Use, Potosi, USA, pages: 137-142, 1988.

[Pascal. 02] S. Pascal. Comportement mécanique de composites mortier-polymère. Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, Ecole Centrale Paris, 2002, 206 pages.

[Pascal.03] S. Pascal, A. Alliche, Ph. Pilvin. Mechanical behaviour of polymer modified mortars. Materials Science and Engineering, vol 380, pages : 1-8, 2003.

[PowerS.49] Powers T.C., "The air requirement of frost-resistant concrete", Proceeding, Highway Research Board, Vol.29, pages: 184-211, 1949.

[Powers.53] Powers T.C. and Helmuth R.A., "Theory of volume changes in hardened Portland cement past during freezing", Proceeding, Highway Research Board, Vol. 32, pages: 285-297, 1953.

[Ramachandran .02] V.S. Ramachandran, R.M. Paroli, J.J. Beaudoin, A.H. Delgado. Handbook of thermal analysis of constructions materials. Institute for Research in Construction, National Research Concil of Canada. Noyes publications, William Andrew Publishing, Norwich, New-York, U.S.A, 2002, 680 pages, ISBN 0-8155-1487-5. Canada.Ctr. for Mineral and Energy Technol., 1994, pages: 839-890.11, 1949.

[Regourd.80] M. Regourd. Structure et comportement des hydrates de ciment au laitier. Proceeding, 7th International Symposium Chemical of Cement, Paris, 1[III], pages: 2 ~9–26, 1980.

[Reinhardet.03] H-W. Reinhardt, M. Joss. « Permeability and self healing of cracked concretes a function of temperature and crack width ». Cement and concrete research, Vol.33, pages: 981-985, 2003.

[Ru. 05] W. Ru, P.M, Wang, X.G. Li. Physical and mechanical properties ostyrene-butadiene rubber emulsion modified cement mortars. Cement and Concrete Research, vol 35, pages: 900- 906, 2005.

[Saija .95] L.M. Saija. Waterproofing of Portland cement mortars with a specially designed polyacrylic latex. Cement and Concrete Research, vol. 25 (3), , pages: 503-509,1995

[Sakai .95] E. Sakai & J. Sugita, Composite mechanism of polymer modified cement, Cement and Concrete Research 25, pages: 127-135, 1995

[Scrivener .89] K.L. Scrivener. The microstructure of the concrete. Materials Science of Concrete I, edited by J.P. Skalny. American Ceramic Society, Westerville.

[Silva .01] D.A. Silva, V.M. John, J.L.D. Ribeiro, H.R. Roman. Pore size distribution of hydrated cement pastes modified by polymers. Cement and Concrete Research, vol. 31, pages :1177-1184, 2001

[Skalny .80] J.P. Skalny, J.F. Young. Mécanismes d'hydratation du ciment Portland. Rapport général du thème II, 7ème congrès de ciments de Paris, 1980

[Su. 95] Z. Su. Microstructure of polymer cement concrete. PhD thesis. Delft University Press, The Netherlands, pages:189 ,1995.

[Su. 96] Z. Su, K. Sujata, J.M.J.M. Bijen, H.M. Jennings, A.L.A. Fraaij. The evolution of the microstructure in acrylate polymer-modified cement pastes at the early age of cement hydration. Advanced Cement Based Materials, vol. 3, pages :87-93,1996

[Shah.98] Shah S.P., Weiss W.J., Yang W., "Shrinkage Cracking - Can it be prevented? , Concrete International, Vol. 20, N°4, pages:51-55, 1998.

[soylev.05] Soylev T.A. and Francois R., "Corrosion of reinforcement in relation to presence of defects at the Interface between steel and concrete", Journal Material in Civil Engineering, Vol. 17, N° 4, pages:447-455, 2005.

[soylev.06] Soylev T.A. and Francois R., "Effects of bar-placement conditions on steel-concrete bond", Materials and Structures, Vol. 39, N° 2, pages: 211–220, March, 2006.

[Soroker.26] V. J. Soroker, A. J. Denson. « Autogenouse healing of concrete »; Zement 25 (30) ,1926.

[Sumathy .97] C.T. Sumathy, M. Dharakumar, M. Saraoja, S. Saccubai. Modification of cement mortar by polymer latex. Cement & Concrete Composite, vol. 21, , pages: 1251- 1257,1997

[Tanaka.97] Tanaka S., Hohjoh Y., Yamaguchi O. and Tomita R., "Long-termDurability of Concrete with organic Shrinkage Reducing Agent", 4th CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, SP-170, American Concrete Institute, Farmington Hills, pages:1577-1590, 1997.

[Taylor. 97] H.F.W. Taylor. Cement Chemistry, second edition, Thomas Telford Publishing; ISSBN 0 7277 2592 0.

[Turner.37] H. Turner. « The auto geneous healing of cement and concrete cores- its relation vibrated concrete and cracked concrete ». Proc. Int. Assoc., Testing Materials, London, 1937.

[Wagner.74] E.F. Wagner. « Autogenous healing of cracks in cement linings for grey-iron and ductile-iron watered pipes ». J. Am. Water Ass., V. 66, pages: 358-360, 1974.

[Wang. 11] R. Wang, P.M. Wang. Action of redispersible vinyl acetate and copolymer powder in cement mortar. Construction and Building Materials, vol 25, pages: 4210-4214, 2011.

[Weiss.99] Weiss W.J., "prediction of early-age shrinkage cracking in concrete ", Phd Thesis, Northwestern University, Evanston, Illinois, pages: 240,1999.

[Wittmann.76] Wittmann F., "On the action of capillary pressure in fresh concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 6, N° 1, pages: 49-56, 1976.

Annexes

Construction

Sika® Latex R

Latex acrylique, agent de liaisonnement et adjuvant pour mortiers et bétons de ciment Portland

Description

Le Sika® Latex R est une émulsion polymère à base acrylique. Non ré-émulsifiable et polyvalent, il sert d'adjuvant à la production des agents de liaisonnement, les bétons et les mortiers améliorés au latex.

Domaines d'application

- En tant qu'adjuvant liquide pour améliorer l'adhérence et la performance globale des mortiers et des bétons.
- Dans les coulis de liaisonnement à base de ciment et de sable.
- S'utilise avec le stuc et le laitance.
- Pour le ragréage et pour les couches superficielles.
- Combiné aux mortiers SikaRepair® pour améliorer davantage leur performance.

Avantages

- Les agents de liaisonnement, les mortiers et les bétons contenant du Sika® Latex R démontent une meilleure adhérence aux substrats préparés.
- Augmente la résistance à la compression ultime des bétons et mortiers.
- Augmente la résistance aux cycles de gel/dégel et à la pénétration de l'eau en général.
- Augmente la résistance à la traction et améliore le module d'élasticité des mortiers et du béton.
- Ne corrodiles pas un pare-vapeur.
- Agréé par le Ministère des Transports du Québec.

Données techniques

Conditionnement	Bidons de 1 L (0,3 gal US) et 3,5 L (0,92 gal US), 4 bidons par boîte, sac de 18,9 L (5 gal US)
Couleur	Blanc laiteux.
Conservation	2 ans dans l'emballage d'origine, non-ouvert. Entreposer entre 5 et 32 °C (41 et 89 °F). Protéger du gel. Jeter, si gelé.

Propriétés à 23°C (73°F) et 50 % H. R.

Agent de liaisonnement (2 parties de sable, 1 partie de ciment et Sika® Latex R ajouté au produit pour obtenir une consistance crémeuse)

Résistance du liaisonnement CAN/A23.3-04

28 jours	Résistance du substrat

Les données ci-dessus sont généralement du ressort exclusif du laboratoire. Certaines valeurs doivent se trouver à l'intérieur des limites de certaines spécifications ou de l'acceptation de la production, (tolérances) le reste relevant du service de mise au point.

Mode d'emploi

Préparation de la surface

Les surfaces en béton, mortier et maçonnerie doivent être propres et saines. Enlever la poussière, laitance, graisse, agents de démoulement, imprégnations, cires, pellicules étanches et substances désagrégées. Préparer les surfaces à l'aide d'un moyen mécanique approprié tel que burinage, grenaillage, sablage, hydrosablage ou par tout autre moyen convenable. Saturer la surface avec de l'eau potable pour obtenir une surface saturée superficiellement sec (SSS) et exempt d'eau stagnante de surface au moment de l'application.

Malaxage

Agent de liaisonnement : Ajouter 1 partie de ciment, et 2 parties de sable à une quantité suffisante de Sika® Latex R non-dilué pour arriver à une consistance semblable à un coulis.

Adjuvant pour mortier : Pendant que le malaxeur tourne, ajouter les matériaux dans l'ordre suivant : Sika® Latex R, agrégat, ciment ou mortier SikaRepair®. Rajouter de la solution Sika® Latex R au besoin. Se référer à la fiche technique du produit pour le dosage et l'utilisation lorsque utilisé avec l'un des mortiers SikaRepair®.

Application

Agent de liaisonnement : Appliquer avec une brosse ou un balai à poils raides sur la surface à recouvrir. S'assurer de bien enduire la totalité de la surface et des bords. Appliquer le mortier immédiatement sur le coulis avant que le coulis de liaisonnement ne sèche.

Mortiers modifiés : Une fois mélangé, appliquer immédiatement le mortier ou le béton modifié au Sika® Latex R à la main ou à la truelle sur les endroits à réparer ou resurfacer. Éviter un lissage excessif.

Construction

Mûrissement	Dès que la surface peut résister, procéder au mûrissement avec une toile de jute mouillée, un film de polyéthylène teinté blanc ou un agent de mûrissement Sika convenable (des recommandations spécifiques sont disponibles sur demande). Le mûrissement devrait durer au moins 24 heures.
Nettoyage	Nettoyer les outils et les équipements immédiatement avec de l'eau. Le produit durci ne peut être enlevé que mécaniquement ou mécaniquement. Se nettoyer les mains et la peau souillées avec de l'eau chaude savonneuse ou utiliser les serviettes Sika® Hand Cleaner.
Restrictions	▪ Ne pas utiliser d'agents antigivre d'air lorsque Sika® Latex R est employé comme adjuvant. ▪ Lorsque Sika® Latex R est ajouté à un mélange spécifique, il est recommandé de procéder à un essai préalable afin de s'assurer d'obtenir les résultats escomptés. ▪ Température d'application minimale : 5 °C (41 °F). ▪ Jeter le produit qui a gelé. ▪ Couler le mortier ou le béton immédiatement sur le coulis de boconnement lorsque celui-ci est encore humide (humide sur humide). ▪ Éviter de trop travailler ou de trop lisser la surface.
Avertissement	Irritant - peut causer une irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires. Éviter d'en respirer les vapeurs. Utiliser avec une ventilation adéquate. Éviter le contact avec la peau et les yeux. Il est recommandé de porter des lunettes de protection et des gants de caoutchouc. Pour plus d'information, consulter l'étiquette du produit.
Santé et sécurité	Pour plus de renseignements et conseils relatifs à la manipulation, l'entreposage et l'élimination des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter les riches signalétiques les plus récentes du produit contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données portant sur la sécurité. GARDER HORS DE LA PORTÉE DES ENFANTS POUR USAGE INDUSTRIEL SEULEMENT

Les renseignements et, notamment, les recommandations touchant l'application et l'utilisation finale des produits Sika sont communiqués de bonne foi, en fonction des connaissances et de l'expérience actuelles de Sika, à condition que les produits soient appliqués et entretenus dans des conditions normales, dans le cadre d'une utilisation prévue. Dans la pratique, les différences au niveau des conditions, matériaux et méthodes de travail sur le chantier sont si importantes que Sika ne peut donner aucune garantie quant à la qualité marchande ou à l'adéquation à un usage particulier et aucune responsabilité découlant de ces renseignements, ou de toute recommandation écrite ou de tout conseil donné. Les droits exclusifs de tiers doivent être respectés. Sika accepte toutes les commandes sous réserve que nos produits soient payés selon les modalités courantes. Les utilisateurs doivent toujours consulter la plus récente version de la Fiche technique du produit concerné, dont des exemplaires leur seront fournis sur demande.

Sika Canada Inc.

Québec
601, avenue Delmar
Pointe-Claire, QC H9R 4A9
Tél.: 514-697-2610
Fax : 514-697-387

Ontario
601 Delmar Drive
Hanburg, ON L8T 1L6
Tél.: 905-795-1177
Fax : 905-795-1192

Alberta
11111 - 178 Avenue N.W.
Edmonton, AB T5S 1M1
Tél.: 780-456-6111
Fax : 780-451-1468

1-800-933-7452
www.sikacanada.com

Une compagnie centenaire Sika
Pointe-Claire (SIKA centenaire Sika)